Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050

LES CONSÉQUENCES DE L'INACTION



OCDE

Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050

LES CONSÉQUENCES DE L'INACTION



Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Merci de citer cet ouvrage comme suit :
OCDE (2012), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 : Les conséquences de l'inaction*, Éditions OCDE.
http://dx.doi.org/10.1787/env_outlook-2012-fr

ISBN 978-92-64-12232-1 (imprimé)
ISBN 978-92-64-12233-8 (PDF)

Perspectives de l'environnement de l'OCDE
ISSN 1995-4131 (imprimé)
ISSN 1999-1568 (en ligne)

Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem-Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Crédits photo : Couverture © Subbotina Anna – Fotolia.com.

Les corrigenda des publications de l'OCDE sont disponibles sur : *www.oecd.org/editions/corrigenda*.

© OCDE 2012

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à *rights@oecd.org*. Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) *info@copyright.com* ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) *contact@cfcopies.com*.

Avant-propos

Avec ses 7 milliards d'habitants, le monde se trouve confronté en 2012 à des défis économiques et sociaux extrêmement complexes. Si la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles continuent de figurer parmi les grandes priorités de l'action publique, de nombreux pays doivent aussi faire face à une croissance économique en berne, des finances publiques sous haute tension et des taux de chômage élevés. Un changement culturel profond s'impose pour s'attaquer à ces défis qui ne sauraient attendre, et se réorienter vers des sources de croissance plus « vertes » et innovantes et des modes de consommation plus durables.

Les Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 *étudient les conséquences des évolutions démographiques et économiques des quarante prochaines années à l'aide de projections modélisées concernant quatre grands défis planétaires : le changement climatique, la biodiversité, l'eau et les impacts de la pollution de l'environnement sur la santé. Le fait est que si nous ne parvenons pas à transformer nos politiques et nos comportements, l'avenir s'annonce sous de sombres auspices.*

Selon les projections du scénario de référence, *si le mix énergétique mondial reste inchangé, les combustibles fossiles représenteront 85 % de la demande d'énergie en 2050, ce qui se traduira par une hausse de 50 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) et une aggravation de la pollution de l'air dans les villes. Les impacts sur la qualité de vie de la population seront catastrophiques. Le nombre de décès prématurés liés à l'exposition aux polluants particulaires pourrait doubler pour atteindre 3.6 millions chaque année. La demande d'eau mondiale devrait augmenter de 55 % d'ici à 2050. Selon les projections, la concurrence autour de l'eau devrait s'intensifier, et 2.3 milliards de personnes de plus pourraient vivre dans des bassins hydrographiques soumis à un stress hydrique grave. D'ici à 2050, la biodiversité terrestre mondiale devrait accuser un nouveau recul de 10 %.*

Les coûts et les conséquences de l'inaction sont considérables, en termes tant économiques qu'humains. Ces projections montrent qu'il est urgent de changer notre façon de penser. Si nous ne le faisons pas, l'érosion du capital environnemental dont nous disposons accroîtra le risque de modifications irréversibles qui pourraient annuler deux siècles d'amélioration du niveau de vie. Nous assistons dès à présent à l'effondrement catastrophique de certaines pêcheries en raison de la surpêche, et à de graves pénuries d'eau qui mettent en péril l'agriculture. Ces énormes défis environnementaux ne peuvent cependant pas être traités isolément. Ils doivent être gérés dans le contexte d'autres grands défis mondiaux, tels que la sécurité alimentaire et énergétique et la réduction de la pauvreté.

L'intégration des objectifs environnementaux dans les politiques économiques et sectorielles, notamment de l'énergie, de l'agriculture et des transports, présente d'importants avantages. Si elles sont bien conçues, les politiques mises en place pour traiter un problème d'environnement peuvent apporter des réponses à d'autres problèmes et contribuer à la croissance et au développement. La lutte contre la pollution atmosphérique locale, par exemple, peut faire baisser les émissions de GES tout en réduisant le poids économique de certaines pathologies chroniques coûteuses. Les politiques climatiques peuvent aussi contribuer à protéger la biodiversité, notamment en réduisant les émissions imputables à la déforestation.

Ces Perspectives *s'appuient sur le cadre d'action établi dans la* Stratégie *de l'OCDE* pour une croissance verte, *que les pays peuvent adapter en fonction de leur niveau de développement, de leurs richesses naturelles et des pressions environnementales. Cependant il existe aussi plusieurs approches communes qui consistent notamment à rendre la pollution plus chère que l'adoption d'options plus vertes (taxes environnementales et systèmes d'échange de droits d'émissions) ; évaluer et tarifier les actifs naturels et les services rendus par les écosystèmes (tarification de l'eau, paiements au titre des services écosystémiques, droits d'entrée dans les parcs naturels) ; supprimer les subventions préjudiciables pour l'environnement (aux combustibles fossiles, à l'électricité utilisée pour pomper l'eau d'irrigation) ; et encourager l'innovation verte (en rendant plus coûteux les modes de production et de consommation polluants, en apportant des aides publiques à la R-D fondamentale).*

Pour réussir la réforme, les gouvernements devront étudier de façon approfondie le rapport coût-efficacité de leurs politiques. Ces politiques seront bien acceptées par le public s'il existe des preuves tangibles de leur efficacité pour résoudre les problèmes d'environnement, de leur faisabilité budgétaire et de leur contribution à la création d'emplois et à la réduction de la pauvreté.

Les Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050 *et la* Stratégie pour une croissance verte *constituent à elles deux un viatique pratique et très complet pour aller de l'avant. À la Conférence Rio + 20, l'OCDE s'attachera à plaider la cause de politiques vertes efficaces dans le cadre de la mission qu'elle s'est donnée de promouvoir des politiques meilleures pour une vie meilleure.*



Angel Gurría
Secrétaire général de l'OCDE

Remerciements

Le rapport de l'OCDE sur les *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050* a été élaboré par une équipe associant la direction de l'environnement de l'OCDE et l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL). Le projet, piloté par Kumi Kitamori et Ton Manders (PBL), était encadré par Simon Upton (directeur), Helen Mountford (directrice adjointe) et Rob Visser (ancien directeur adjoint).

Le Comité des politiques d'environnement de l'OCDE (EPOC) a supervisé l'élaboration du rapport. Par ailleurs, certains chapitres de ces *Perspectives* ont été examinés et commentés par les organes compétents de l'OCDE : Groupe de travail sur le climat, l'investissement et le développement (GTCID) ; Groupe de travail sur la biodiversité, l'eau et les écosystèmes (GTBEE) ; Groupe de travail sur l'intégration des politiques environnementales et économiques (GTIPEE) ; Groupe de travail sur l'information environnementale (GTIE) ; Réunion conjointe du Comité sur les produits chimiques et du Groupe de travail sur les produits chimiques, les pesticides et la biotechnologie ; Groupe de travail mixte sur l'agriculture et l'environnement (GTMAE) ; et Comité des pêches (COFI).

Des représentants de pays non membres de l'OCDE – Afrique du Sud, Brésil, Chine, Colombie, Inde et Indonésie, en particulier – ont formulé des observations et prêté leur concours par le biais d'une réunion d'experts sur les travaux préparatoires de la nouvelle édition des *Perspectives de l'environnement* (en novembre 2010) et d'un Forum mondial sur l'environnement consacré à l'examen du projet de rapport sur les *Perspectives de l'environnement* (en octobre 2011). Des éléments utiles ont été apportés aux projets de chapitres par les représentants des acteurs concernés, à savoir les ONG environnementales (*via* le Bureau européen de l'environnement), les entreprises (*via* le Comité consultatif économique et industriel auprès de l'OCDE) et les syndicats (*via* la Commission syndicale consultative auprès de l'OCDE).

Les auteurs des *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050* sont récapitulés ci-dessous.

Résumé	Kumi Kitamori
Chapitre 1. Introduction	Kumi Kitamori, Ton Manders (PBL), Rob Dellink
Chapitre 2. Évolutions socio-économiques	Rob Dellink, Ton Manders (PBL), Jean Chateau, Bertrand Magné, Detlef van Vuuren (PBL), Anne Gerdien Prins (PBL)
Chapitre 3. Changement climatique	Virginie Marchal, Rob Dellink, Detlef van Vuuren (PBL), Christa Clapp, Jean Chateau, Bertrand Magné, Elisa Lanzi, Jasper van Vliet (PBL)
Chapitre 4. Biodiversité	Katia Karousakis, Mark van Oorschot (PBL), Edward Perry, Michel Jeuken (PBL), Michel Bakkenes (PBL), avec le concours de Hans Meijl et d'Andrzej Tabeau (LEI)
Chapitre 5. Eau	Xavier Leflaive, Maria Witmer (PBL), Roberto Martin-Hurtado, Marloes Bakker (PBL), Tom Kram (PBL), Lex Bouwman (PBL), Hans Visser (PBL), Arno Bouwman (PBL), Henk Hilderink (PBL), Kayoung Kim
Chapitre 6. Santé et environnement	Richard Sigman, Henk Hilderink (PBL), Nathalie Delrue, Nils-Axel Braathen, Xavier Leflaive
Annexe A sur le Cadre de modélisation	Rob Dellink, Tom Kram (PBL), Jean Chateau

La modélisation à l'appui des *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050* a été réalisée, pour le volet socio-économique, par l'équipe de l'OCDE à l'aide du modèle ENV-Linkages et, pour le volet environnemental, par la PBL au moyen de sa série IMAGE. Les travaux sur le changement climatique ont fait intervenir à la fois ENV-Linkages et IMAGE. L'utilisation par la PBL du modèle IMAGE et des modèles environnementaux connexes a notamment donné lieu à une collaboration avec l'Institut d'économie agricole (LEI) du Centre de recherche de l'université de Wageningen (Wageningen UR), pour les simulations agro-économiques, ainsi qu'avec le Centre mondial de surveillance continue de la conservation de la nature du PNUE.

Les équipes de modélisation étaient composées comme suit.

ENV-Linkages (OCDE)	IMAGE (PBL)	
Rob Dellink Jean Chateau Bertrand Magné Cuauhtemoc Rebolledo-Gómez	*Équipe de base :* Tom Kram Anne Gerdien Prins Elke Stehfest Mark van Oorschot Henk Hilderink Detlef van Vuuren Jasper van Vliet Rineke Oostenrijk	*Contributions spécifiques :* Hester Biemans Corjan Brink Frank De Leeuw (RIVM) Kathleen Neumann Sebastiaan Deetman Michel den Elzen Hans Eerens Jan Janse Angelica Mendoza Beltran Andrzej Tabeau (LEI) Hans van Meijl (LEI)

L'assistance en matière de statistique et de recherche a été assurée par Cuauhtemoc Rebolledo-Gómez, Rineke Oostenrijk (PBL) et Carla Bertuzzi. Pascaline Deplagne, Sarah Michelson, Bettina Huggard et Patricia Nilsson ont apporté un soutien administratif et technique au projet sur les *Perspectives* et à l'élaboration du rapport. Fiona Hall a prêté son concours pour la mise en forme. La publication a pu être menée à bien grâce aux efforts déployés par Janine Treves, Stéphanie Simonin-Edwards et la Division de l'édition de l'OCDE. L'équipe chargée des *Perspectives* tient à remercier tout particulièrement Helen Mountford et Simon Upton pour leurs précieux conseils et commentaires, ainsi que Shardul Agrawala, Dale Andrew, Gérard Bonnis, Peter Börkey, Nils-Axel Braathen, Dave Brooke (Building Research Establishment Ltd.), Andrea Cattaneo, Jan Corfee-Morlot, Anthony Cox, Guus de Hollander (PBL), Dimitris Diakosavvas, Jane Ellis, Christina Hood (AIE), Alistair Hunt (University of Bath), Hsin Huang, Nick Johnstone, Wilfrid Legg, Michael Mullan, Kevin Parris, Annette Prüss-Ustün (OMS), Ysé Serret, Kevin Swift (American Chemistry Council), Marie-Christine Tremblay, Frank van Tongeren, Dian Turnheim et Žiga Zarnic.

Plusieurs pays de l'OCDE ont soutenu par des contributions financières ou en nature les travaux de modélisation et l'élaboration des *Perspectives*, dont la Corée, le Japon, la Norvège et les Pays-Bas.

Table des matières

Acronymes et abréviations 16

Résumé 19
1. Introduction 19
2. À quoi pourrait ressembler l'environnement en 2050 ? 20
3. Quelles politiques sont susceptibles de modifier ces perspectives ? 29
4. Réussir la réforme et intégrer la croissance verte dans les priorités de l'action . . 32
5. Conclusion. 35

Chapitre 1. **Introduction** 37
1. Introduction 38
2. La méthodologie des *Perspectives* 40
3. Structure du rapport 46

Notes. 46

Références 47

Chapitre 2. **Évolutions socio-économiques** 49
1. Introduction 52
2. Grandes tendances et projections 53
3. Relations entre activité économique et pressions environnementales 65

Notes. 72

Références 72

Annexe 2.A. Informations relatives à la modélisation sur les évolutions socio-économiques 74

Chapitre 3. **Changement climatique** 77
1. Introduction 82
2. Grandes tendances et projections 83
3. Changement climatique : politiques actuelles 98
4. Les étapes à franchir demain : construire une économie sobre en carbone et résistante face au changement climatique 122

Notes. 155

Références 159

Annexe 3.A. Informations relatives à la modélisation sur le changement climatique 165

Chapitre 4. **Biodiversité** 173
1. Introduction 177
2. Grandes tendances et projections 180
3. Biodiversité : l'état des politiques aujourd'hui 198
4. La nécessité de poursuivre l'action 207

Notes 218

Références 220

Annexe 4.A. Informations relatives à la modélisation sur la biodiversité 227

Chapitre 5. **Eau** 233
1. Introduction 237
2. Grandes tendances et projections 239
3. Action publique : scénarios actuels et à venir 262
4. Face aux nouveaux enjeux des politiques de l'eau, de nouvelles mesures s'imposent 279

Notes 288

Références 289

Annexe 5.A. Informations relatives à la modélisation sur l'eau 295

Chapitre 6. **Santé et environnement** 309
1. Introduction 313
2. Pollution de l'air 316
3. Approvisionnement en eau non potable et défaut d'assainissement 334
4. Produits chimiques 340
5. Changement climatique 356

Notes 359

Références 361

Annexe 6.A. Modélisation des informations de référence relatives à la santé et à l'environnement 366

Annexe A. **Cadre de modélisation** 373

Liste des encadrés

1.1. La « signalétique » des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* 38
1.2. Des politiques cohérentes en faveur de la croissance verte 39
1.3. Importantes causes d'incertitude dans le contexte des modélisations 45
2.1. Une projection n'est pas une prévision 52
2.2. Chocs économiques et pressions environnementales : une relation complexe 59
2.3. Méthode de la convergence conditionnelle : hypothèses des projections réalisées à partir de modèles 62
2.4. Incertitudes concernant les projections relatives à l'énergie 66
2.5. Incertitudes concernant les projections d'utilisation des terres 69
3.1. Émissions calculées sur la base de la production ou sur la base de la demande 87

3.2. Émissions de CO_2 liées à l'utilisation des terres – évolutions passées et projections 90
3.3. Exemple d'actifs exposés au changement climatique : villes côtières 96
3.4. Le système communautaire d'échange de quotas d'émission : évolutions récentes 105
3.5. Croissance des centrales électriques à énergie renouvelable 111
3.6. Écologiser les comportements des ménages : le rôle des politiques publiques . . 114
3.7. Le rapport du PNUE sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction d'émissions 123
3.8. Incertitudes relatives aux coûts et cadres de modélisation 130
3.9. Et si… la charge de l'atténuation était répartie autrement ? Importance des règles d'attribution 131
3.10. Conséquences des choix technologiques 136
3.11. Des écarts à surveiller : les engagements de Copenhague sont-ils suffisants ? . . . 140
3.12. Et si… le marché du carbone ne prenait pas une envergure mondiale ? 146
3.13. Les bioénergies : panacée ou boîte de Pandore ? 150
3.14. Le cas du noir de carbone 152
3.15. Et si… la réduction des GES pouvait accroître le taux d'emploi ? 154
4.1. Les éléments de la valeur économique totale de la biodiversité 178
4.2. Prise en compte des seuils : éviter une dégradation irréversible des écosystèmes par une approche de précaution 193
4.3. Biodiversité et santé humaine 197
4.4. Le *Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 et les Objectifs d'Aichi* 206
4.5. Et si… la superficie des aires protégées terrestres était portée à 17 % des terres émergées du globe ? 208
4.6. Initiatives du secteur privé en faveur de la biodiversité 211
4.7. Comptabilité environnementale et économique intégrée : le SCEE 213
4.8. Améliorer les fondements des décisions économiques concernant les biens écosystémiques 214
4.9. Et si… une politique ambitieuse d'atténuation du changement climatique était conduite de telle manière qu'elle limite aussi la diminution de la biodiversité ? 215
4.10. Une stratégie pour une croissance verte et la biodiversité 218
5.1. Définitions clés 240
5.2. Incertitudes entourant la demande d'eau à usage agricole 244
5.3. Impact du changement climatique sur les ressources en eau douce : l'exemple du Chili 246
5.4. Pallier les risques liés aux micropolluants 252
5.5. Le programme ibéro-américain sur l'eau 260
5.6. Droits négociables destinés à réduire les flux d'éléments nutritifs : le cas du Lac Taupo en Nouvelle-Zélande 265
5.7. L'initiative nationale pour l'eau de l'Australie 268
5.8. Réaction des pouvoirs publics face au stress hydrique en Israël 269
5.9. La directive-cadre sur l'eau de l'UE, une approche par bassin hydrographique 270
5.10. Réforme du soutien agricole et des politiques de l'eau : le cas de l'Union européenne 272

5.11. Analyse économique des concepts d'eau virtuelle et d'empreinte eau appliqués aux politiques de l'eau . . . 273
5.12. Projet de réaménagement des quatre fleuves en Corée . . . 281
5.13. Priorité accordée à la santé écologique des cours d'eau dans deux pays de l'OCDE . . . 283
5.14. Production hydroélectrique, restauration des cours d'eau et investissement privé dans le *Land* allemand de Bavière . . . 284
5.A1. Le modèle LPJmL : calcul de la demande d'eau appliqué à l'irrigation . . . 297
6.1. Difficultés de mesure . . . 315
6.2. Facteurs expliquant l'augmentation du nombre de décès prématurés dus à l'exposition à la pollution de l'air par les particules en milieu urbain . . . 323
6.3. Polluants atmosphériques et gaz à effet de serre . . . 330
6.4. Assurer la cohérence des politiques de lutte contre le changement climatique et la pollution de l'air : le cas de la pollution de l'air intérieur . . . 331
6.5. Un mot sur l'analyse de l'eau dans les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* . . . 335
6.6. Surmonter les problèmes sanitaires entourant la réutilisation et le recyclage de l'eau . . . 339
6.7. Évaluer les émissions de substances chimiques : l'exemple des phtalates . . . 343
6.8. Relever certains défis de l'évaluation des risques chimiques . . . 346
6.9. SAICM : une gestion stratégique des produits chimiques . . . 349
6.10. Changement climatique, déterminants de la santé et impacts sur la santé : faits et chiffres . . . 356
6.A1. Hypothèses et incertitudes des modèles . . . 370

Liste des tableaux

0.1. Grands défis environnementaux : tendances et projections en l'absence de mesures nouvelles . . . 21
1.1. Exemples de politiques et de tendances existantes prises en compte dans le *scénario de référence* . . . 42
1.2. Simulations de politiques effectuées dans les *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050* . . . 43
1.3. Régions et regroupements de pays utilisés dans les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050* . . . 44
2.1. Taux de croissance annuels moyens du PIB réel (en %) : *scénario de référence*, 2010-2050 . . . 60
2.2. PIB annuel et consommation annuelle des ménages par habitant : *scénario de référence*, 2010-2050 . . . 61
3.1. Quelques moyens d'action pour atténuer le changement climatique . . . 101
3.2. Législations climatiques nationales : portée et champ couvert . . . 102
3.3. Statut des systèmes d'échange de droits d'émission . . . 104
3.4. Options et instruments d'adaptation envisageables . . . 117
3.5. Aperçu des scénarios d'atténuation des *Perspectives de l'environnement* . . . 124
3.6. Interprétation des objectifs et mesures annoncés pour 2020 au titre des engagements pris dans le cadre des Accords de Copenhague/Cancún, en termes de variation des émissions par rapport à 1990 dans le scénario *450 action tardive* . . . 138

3.7. Influence de différents éléments des engagements des Accords de Cancún et Copenhague sur les émissions et le revenu réel : scénario 450 *action tardive* (écart par rapport au *scénario de référence*) 140
3.8. Effets sur la compétitivité du scénario 450 *action tardive*, 2020 et 2050 : variation en % par rapport au *scénario de référence* 142
3.9. Impacts sur le revenu réel d'une réforme des subventions aux combustibles fossiles associée ou non au scénario 450 *base*, 2020 et 2050 149
3.10. Impact économique d'un système d'échange de quotas d'émission à l'échelle de la zone OCDE, pour des marchés du travail rigides, dans l'hypothèse d'une redistribution des recettes sous forme forfaitaire, 2015-2030 154
3.11. Impact économique d'un système d'échange de quotas d'émission à l'échelle de la zone OCDE pour différentes options de recyclage des recettes, dans l'hypothèse d'une rigidité moyenne du marché du travail, 2015-2030 154
4.1. Pressions sur la biodiversité modélisées pour les *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050* 186
4.2. Moyens d'action en faveur de la conservation et de l'utilisation durable de la biodiversité 198
5.1. Principaux instruments de gestion des ressources en eau 263
5.A1. Hypothèses du *scénario de référence* et réduction des quantités provenant de sources ponctuelles dans le scénario de *recyclage et de réduction des éléments nutritifs* 303
6.1. Pourcentage de décès imputables aux quatre risques environnementaux, par région, 2004 313
6.2. Lignes directrices de l'OMS pour la qualité de l'air et objectifs intermédiaires de concentration annuelle de particules 317
6.3. Quelques démarches publiques adoptées pour gérer la pollution de l'air 325
6.4. Impacts du scénario de *réduction de 25 % de la pollution atmosphérique*, 2030 et 2050 333
6.5. Impacts d'un accès plus rapide à l'approvisionnement en eau et à l'assainissement, 2030 et 2050 340
6.6. Exemples d'effets sur la santé associés à l'exposition à certaines substances chimiques 341
6.7. Émissions aux différentes étapes du cycle de vie du phtalate de diéthylhexyle 343
6.8. Exemples d'outils utilisés par les pouvoirs publics pour gérer les substances chimiques 350
6.A1. Indices d'adéquation au paludisme – déterminants climatiques 368
A.1. Secteurs et produits du modèle ENV-Linkages 374

Liste des graphiques

0.1. Émissions de GES par région : *scénario de référence*, 2010-2050 22
0.2. Effets de différentes pressions sur l'AME terrestre : *scénario de référence*, 2010 à 2050 24
0.3. Demande mondiale d'eau : *scénario de référence*, 2000 et 2050 25
0.4. Décès prématurés liés à certains risques environnementaux dans le monde : *scénario de référence*, 2010 à 2050 26
0.5. Scénario 450 *base* : émissions et coûts de l'atténuation au niveau mondial 28

1.1. Principe de modélisation des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* 41
2.1. Population mondiale par grandes régions, 1970-2050 54
2.2. Population mondiale par classe d'âge, 1970-2050 55
2.3. Population urbaine par région, 1970-2050 55
2.4. Répartition de la population urbaine mondiale selon la taille des villes, 1970-2025 56
2.5. Produit intérieur brut réel par habitant et total, 1970-2008 58
2.6. Projections du produit intérieur brut réel : *scénario de référence*, 2010-2050 59
2.7. Taux de croissance annuels moyens de la population et de l'emploi, 2010-2050 . . . 63
2.8. Part des secteurs dans la valeur ajoutée totale, 1970-2008 64
2.9. Part des secteurs dans le PIB réel, par région : *scénario de référence*, 2010-2050 . . 64
2.10. Consommation mondiale d'énergie primaire : *scénario de référence*, 1980-2050. . . 66
2.11. Production d'énergie commerciale par combustible : *scénario de référence*, 2010-2050 67
2.12. Utilisation des terres dans le monde : *scénario de référence*, 1970 et 2010 68
2.13. Superficies agricoles dans le monde : comparatif des estimations, 1980-2050 . . 70
2.14. Croissance projetée des principales utilisations de la terre : *scénario de référence* 71
2.A1. Décomposition par région des facteurs de croissance du PIB, en pourcentage : *scénario de référence* 74
3.1. Émissions de GES, 1970-2005 83
3.2. Découplage des évolutions tendancielles : émissions de CO_2 et PIB, OCDE/BRIICS, 1990-2010 85
3.3. Émissions par habitant de CO_2 d'origine énergétique, OCDE/BRIICS : 2000 et 2008 85
3.4. Évolution des émissions de CO_2 sur la base de la production et sur la base de la demande, 1995-2005 87
3.5. Émissions de GES : *scénario de référence*, 2010-2050 88
3.6. Émissions de GES par habitant : *scénario de référence*, 2010-2050 89
3.7. Émissions mondiales de CO_2 par source : *scénario de référence*, 1980-2050 89
3.8. Émissions de CO_2 liées à l'utilisation des terres : *scénario de référence*, 1990-2050 90
3.9. Concentrations de CO_2 et élévation de la température à long terme : *scénario de référence*, 1970-2100 91
3.10. Modification de la température annuelle : *scénario de référence* et scénario à 450 ppm, 1990-2050 93
3.11. Modification des précipitations annuelles : *scénario de référence* et scénario à 450 ppm, 1990-2050 94
3.12. Principaux impacts de l'élévation de la température mondiale. 95
3.13. Actifs exposés à une élévation du niveau de la mer dans les villes côtières en 2070 96
3.14. Dépenses publiques de RDD énergétique dans les pays membres de l'AIE : 1974-2009 110
3.15. Entrée de nouvelles centrales par types d'énergie renouvelable en Amérique du Nord, dans la zone Pacifique et dans l'UE15, 1978-2008. 111
3.16. Évolution des émissions dans différents scénarios, 2010-2100 126

3.17. Évolution des concentrations dans les quatre scénarios des *Perspectives* compte tenu de tous les facteurs de forçage climatique, 2010-2100 127
3.18. Scénario *450 base* : émissions et coût d'atténuation, 2010-2050. 128
3.19. Impact des systèmes d'attribution des permis sur les quotas d'émission et sur le revenu réel en 2050 131
3.20. Réduction des émissions de GES dans les scénarios *450 action accélérée* et *450 base* par rapport au *scénario de référence*, 2020 et 2030. 134
3.21. Choix technologiques dans le scénario *450 action accélérée*. 137
3.22. Impacts régionaux sur le revenu réel dans les scénarios *450 base* et *450 action tardive* 139
3.23. Évolution des émissions mondiales de GES en 2050 par rapport à 2010 : scénarios *450 action tardive* et *550 ppm* 144
3.24. Évolution du revenu réel dans les scénarios *450 action tardive* et *550 base* par rapport au *scénario de référence*, 2050 145
3.25. Impact sur les revenus de la fragmentation des systèmes d'échanges de quotas d'émission dans le scénario *550* par rapport au *scénario de référence*, 2050. 146
3.26. Impact sur les émissions de GES de la suppression des subventions aux combustibles fossiles, 2050 148
3.A1. Systèmes d'attribution de droits, 2020 et 2050 167
3.A2. Puissance nucléaire installée dans le scénario *de sortie progressive du nucléaire*, 2010-2050 168
4.1. Les quatre composantes de la biodiversité et des services écosystémiques 178
4.2. Rapport entre zones de biodiversité et développement humain 180
4.3. Abondance moyenne des espèces dans le monde par biome, 1970-2010. 181
4.4. Indice planète vivante, 1970-2007. 182
4.5. Espèces menacées : l'indice liste rouge 182
4.6. Évolution du couvert forestier dans le monde, 1990-2010. 183
4.7. État des stocks halieutiques marins, 1974-2008 184
4.8. Abondance moyenne des espèces terrestres par biome : *scénario de référence*, 2000-2050 185
4.9. Abondance moyenne des espèces terrestres par région du monde : *scénario de référence*, 2010-2050. 186
4.10. Effets de différents facteurs de pressions sur l'abondance moyenne des espèces terrestres : *scénario de référence*, de 2010 à 2050 187
4.11. Contribution relative de chaque facteur de pressions au recul de l'abondance moyenne des espèces terrestres : *scénario de référence*, 2010-2030 et 2030-2050. 188
4.12. Variation de la superficie forestière mondiale : *scénario de référence*, 2010-2050 . . . 189
4.13. Évolution de la superficie des forêts de production : *scénario de référence*, 2010-2050 190
4.14. Évolution de la superficie consacrée à la production de cultures vivrières dans le monde : *scénario de référence*, 2010-2050 190
4.15. Évolution de la superficie mondiale des pâturages (herbe et fourrage) : *scénario de référence*, 2010-2050. 191
4.16. Projections de l'abondance moyenne des espèces aquatiques en milieu dulcicole : *scénario de référence*, 2000-2050 196

4.17. Évolution de la superficie mondiale des aires protégées, 1990-2010 199
4.18. Aires protégées supplémentaires nécessaires pour atteindre l'Objectif d'Aichi de 17 % au niveau mondial 208
4.19. APD liée à la biodiversité, 2005-2010 209
4.20. Incidence sur la biodiversité de différents scénarios d'atténuation du changement climatique 216
4.A1. Superposition des cartes des priorités concernant la biodiversité mondiale . . . 229
5.1. Prélèvements d'eau douce, principales utilisations et PIB dans la zone OCDE, 1990-2009 241
5.2. Prélèvements annuels d'eau douce par habitant, pays de l'OCDE 242
5.3. Stress hydrique, pays de l'OCDE 242
5.4. Demande mondiale d'eau : *scénario de référence*, 2000 et 2050 243
5.5. Stress hydrique par bassin hydrographique : *scénario de référence*, 2000 et 2050 245
5.6. Les catastrophes météorologiques dans le monde, 1980-2009 249
5.7. Effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées : *scénario de référence*, 1970-2050 253
5.8. Excédents d'éléments nutritifs liés à l'agriculture, par hectare : *scénario de référence*, 1970-2050 255
5.9. Éléments nutritifs rejetés par les cours d'eau dans les mers : *scénario de référence*, 1950-2050 257
5.10. Taux de raccordement aux stations d'épuration dans la zone OCDE, 1990-2009 258
5.11. Part de la population raccordée à une station d'épuration publique dans les pays de l'OCDE 259
5.12. Nombre de personnes n'ayant pas accès à une source d'eau améliorée : *scénario de référence*, 1990-2050 260
5.13. Nombre de personnes n'ayant pas accès à des installations sanitaires de base : *scénario de référence*, 1990-2050 261
5.14. Prix unitaire des services d'eau et d'assainissement fournis aux ménages dans l'OCDE (taxes comprises), 2007/08 266
5.15. Perspectives de la consommation d'eau en Israël à l'horizon 2050 269
5.16. Nombre de personnes vivant dans un bassin hydrographique en situation de stress hydrique en 2000 et en 2050 275
5.17. Rejets par les cours d'eau d'éléments nutritifs dans la mer : *scénario de référence* et scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*, 1950-2050 277
5.18. Nombre de personnes supplémentaires bénéficiant d'un approvisionnement en eau et de l'assainissement dans le scénario d'*accès accéléré* par rapport au *scénario de référence*, 2030 et 2050 278
5.A1. Total mondial des surfaces arables équipées pour l'irrigation, 1900-2050 299
6.1. Émissions de SO_2, de NO_x et de carbone noir (CN) par région : *scénario de référence*, 2010-2050 319
6.2. Concentrations de PM_{10} dans les grandes villes : *scénario de référence*, 2010-2050 320
6.3. Population urbaine et concentrations moyennes annuelles de PM_{10} : *scénario de référence*, 2010-2050 321

6.4. Concentrations d'ozone troposphérique dans les grandes villes : *scénario de référence*, 2010-2050 321
6.5. Décès prématurés dans le monde imputables à l'exposition aux particules : *scénario de référence* 322
6.6. Décès prématurés liés à l'ozone troposphérique, monde entier : *scénario de référence* 324
6.7. Normes applicables aux émissions HC et NO_x des véhicules à essence aux États-Unis, au Japon et dans l'UE, 1970-2010 326
6.8. Taxation des émissions de NO_x dans quelques pays de l'OCDE, 2010 327
6.9. Taxation de l'essence et du gazole dans les pays de l'OCDE, 2000 et 2011 328
6.10. Utilisation de combustibles solides et nombre de décès prématurés correspondants : *scénario de référence*, 2010-2050 331
6.11. Décès prématurés d'enfants dus à l'insalubrité de l'eau ou à un défaut d'assainissement : *scénario de référence*, 2010-2050 337
6.12. Progression des ventes de produits chimiques, 2000-2009 348
6.13. Prévisions de production de produits chimiques par région (ventes) : *scénario de référence*, 2010-2050 349
6.14. Population potentiellement exposée au paludisme : *scénario de référence*, 2010-2050 358
6.15. Décès dus au paludisme : *scénario de référence*, 2010-2050 359
6.A1. Modélisation de la santé – vue d'ensemble 367
A.1. Structure de production schématique du modèle ENV-Linkages 377
A.2. Vue d'ensemble du cadre de modélisation IMAGE 380

Ce livre contient des...



StatLinks

Accédez aux fichiers Excel®
à partir des livres imprimés !

En bas à droite des tableaux ou graphiques de cet ouvrage, vous trouverez des *StatLinks*. Pour télécharger le fichier Excel® correspondant, il vous suffit de retranscrire dans votre navigateur Internet le lien commençant par : ***http://dx.doi.org***.
Si vous lisez la version PDF de l'ouvrage, et que votre ordinateur est connecté à Internet, il vous suffit de cliquer sur le lien.
Les *StatLinks* sont de plus en plus répandus dans les publications de l'OCDE.

Acronymes et abréviations

AEE	Agence européenne pour l'environnement
AELE	Association européenne de libre-échange
AIE	Agence internationale de l'énergie
AMD	Acceptation mutuelle des données
AME	Abondance moyenne des espèces
AMP	Aire marine protégée
APD	Aide publique au développement
AVCI	Années de vie corrigées de l'incapacité
AVP	Années de vie perdues
BECCS	Bioénergie avec capture et stockage géologique du carbone
BPCO	Bronchopneumopathie chronique obstructive
BRIICS	Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CDB	Convention sur la diversité biologique
CdP	Conférence des Parties
CEE-ONU	Commission économique pour l'Europe des Nations Unies
CO	Monoxyde de carbone
CO_2	Dioxyde de carbone
COV	Composés organiques volatils
COVNM	Composés organiques volatils non méthaniques
CSC	Capture et stockage du carbone
DCPP	Projet sur les priorités en matière de lutte contre les maladies
DJA	Dose journalière admissible
EIE	Étude d'impact sur l'environnement
EM	Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire
EPA	Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis
ESD	Scénario d'émission
ESE	Évaluation stratégique environnementale
ESP	Estimation du soutien aux producteurs
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FEM	Fonds pour l'environnement mondial
FSC	*Forest Stewardship Council*
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GISMO	*Global Integrated Sustainability Model*
Gt	Gigatonnes
GUAM	*Global Urban Air quality Model*
HC	Hydrocarbure

IETMP	Inventaires des émissions et transferts de matières polluantes
IFI	Institutions financières internationales
IMAGE	Modèle intégré d'évaluation de l'environnement mondial
IPBES	Plateforme scientifique intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques
IPV	Indice planète vivante
MDP	Mécanisme pour un développement propre
NM	Nanomatériaux manufacturés
NO_x	Oxydes d'azote
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMD	Objectif du Millénaire pour le développement
OMS	Organisation mondiale de la Santé
ONU	Organisation des Nations Unies
PBL	Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas
PCB	Polychlorobiphényles
PE	Perturbateur endocrinien
PFC	Composés perfluorés
PIB	Produit intérieur brut
PM	Particules
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PPM	Parties par million
PPP	Partenariats public privé
PSE	Paiements pour services écosystémiques
QIT	Quotas individuels transférables
R-D	Recherche-développement
RDD	Recherche, développement et démonstration
RdM	Reste du monde
REACH	Système d'enregistrement, d'évaluation, d'autorisation et de restrictions en matière de produits chimiques
REDD	Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts
RSPO	Table ronde pour une huile de palme durable
SAICM	Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques
SCEE	Système de comptabilité économique et environnementale intégrée
SCEQE	Système communautaire d'échange de quotas d'émissions
SCN	Système de comptabilité nationale
SIE	Systèmes d'information sur l'eau
SO_x	Oxydes de soufre
Tep	Tonnes d'équivalent pétrole
TNC	The Nature Conservancy
TSCA	Toxic Substance Control Act
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources
USD	Dollar des États-Unis
UTCATF	Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie
VVS	Valeur de la vie statistique

Résumé

1. Introduction

Durant les dernières décennies, les activités humaines ont engendré une croissance économique sans précédent qui a favorisé l'élévation du niveau de vie. Alors que la population mondiale augmentait de plus de 3 milliards de personnes, la taille de l'économie mondiale a plus que triplé depuis 1970. Si cette croissance a permis à des millions de personnes de sortir de la pauvreté, elle a été inégalement répartie et s'est révélée très dommageable pour l'environnement. Le patrimoine naturel s'est appauvri et continue de s'appauvrir, et la pollution de l'environnement porte déjà atteinte aux services qu'il fournit. Pour répondre aux besoins de 2 milliards de personnes supplémentaires d'ici à 2050 et améliorer le niveau de vie de tous, il nous faudra être capable de gérer et de restaurer le patrimoine naturel dont dépend toute vie. Si nous n'y parvenons pas, les conséquences seront lourdes, en particulier pour les populations défavorisées, et compromettront à terme la croissance économique et le développement des générations futures.

Les pays de l'OCDE ont relevé un certain nombre de défis environnementaux en mettant en place des politiques visant à protéger la santé humaine et les écosystèmes des effets de la pollution, à utiliser les ressources de manière plus efficiente et à empêcher que se poursuive la dégradation de l'environnement. Or, de par son ampleur, la croissance économique et démographique compense largement les progrès réalisés dans la réduction des pressions environnementales. **Les améliorations incrémentales et fragmentaires qu'apporterait la continuation des politiques actuelles au cours des décennies à venir ne seront pas suffisantes.**

« Que réservent les quatre décennies à venir ? » : telle est la question posée par les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050*. Cette étude, qui s'appuie sur les travaux de modélisation menés conjointement par l'OCDE et l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), se projette dans l'année 2050 pour comprendre quelles répercussions les tendances économiques et démographiques pourraient avoir sur l'environnement si l'humanité ne prend pas de mesures plus ambitieuses pour mieux gérer les ressources naturelles. Elle passe ensuite en revue certaines des politiques susceptibles d'améliorer ces perspectives. Les ressources de la planète seront-elles à même de répondre à une demande sans cesse croissante d'énergie, de nourriture, d'eau et d'autres ressources naturelles tout en absorbant nos flux de déchets ? Ou le processus de croissance va-t-il saper ses propres bases ? Comment pouvons-nous équilibrer les objectifs environnementaux, économiques et sociaux ? Comment prendre soin de l'environnement et améliorer les moyens de subsistance et les conditions de vie des pauvres ?

Ces *Perspectives* portent sur quatre domaines : le changement climatique, la biodiversité, l'eau et les effets de la pollution sur la santé. Ces quatre défis environnementaux majeurs ont été identifiés dans les *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2030* (OCDE, 2008) comme des « feux rouges » nécessitant une attention urgente (voir chapitre 1). L'étude conclut que

les **perspectives sont plus alarmantes que la situation décrite dans l'édition précédente**, et qu'il est **nécessaire et urgent d'engager dès à présent une action globale de manière à éviter les coûts et les conséquences considérables de l'inaction**. Les décideurs publics doivent faire des choix, malgré les incertitudes. Les *Perspectives* présentent des solutions réalistes ; elles mettent en lumière les liens entre différents problèmes d'environnement et certains des défis et arbitrages qui résultent de demandes concurrentes.

2. À quoi pourrait ressembler l'environnement en 2050 ?

Faute de nouvelles politiques, les progrès réalisés pour réduire les pressions sur l'environnement continueront d'être largement compensés par l'ampleur même de la croissance.

D'ici à 2050, la population de la planète devrait passer de 7 milliards à plus de 9 milliards de personnes. Cet accroissement, conjugué aux perspectives d'amélioration du niveau de vie à l'échelle mondiale, devrait se traduire par un quasi-quadruplement du PIB mondial, et ce malgré la récente récession (voir chapitre 2). Selon les projections, le taux de croissance moyen du PIB diminuera progressivement en Chine et en Inde au cours des décennies à venir. En revanche, même si elle demeure le continent le plus pauvre, l'Afrique devrait afficher le taux de croissance économique le plus élevé du monde entre 2030 et 2050. La population des pays de l'OCDE devrait vivre plus longtemps : plus d'un quart de leurs habitants auront plus de 65 ans contre 15 % environ aujourd'hui. La Chine et l'Inde doivent, elles aussi, s'attendre à un important vieillissement démographique avec, dans le cas de la Chine, une diminution de la population active d'ici à 2050. En revanche, les populations plus jeunes d'autres parties du monde, notamment de l'Afrique, devraient augmenter rapidement. Ces évolutions démographiques et la hausse des niveaux de vie impliquent une modification des modes de vie, des habitudes de consommation et des préférences alimentaires, ce qui aura des conséquences non négligeables pour l'environnement et pour les ressources et les services qu'il fournit. Il est probable que les villes absorberont la totalité de l'accroissement de la population mondiale entre 2010 et 2050 (ONU, 2010). En 2050, près de 70 % de la population de la planète vivra en zone urbaine. Cela amplifiera des problèmes tels que la pollution de l'air, la congestion des transports et la gestion des déchets et de l'eau dans les bidonvilles, avec de sérieuses conséquences pour la santé humaine.

Faute de politiques nouvelles, et dans une économie mondiale quatre fois plus importante qu'aujourd'hui, il faut s'attendre à une augmentation de l'ordre de 80 % de la consommation d'énergie à l'horizon 2050 (voir chapitre 2). En outre, le bouquet énergétique à l'échelle mondiale ne devrait pas être sensiblement différent de celui d'aujourd'hui. La part des énergies fossiles devrait demeurer aux environs de 85 %, tandis que celle des énergies renouvelables, biocombustibles compris, serait d'un peu plus de 10 %, le reste étant d'origine nucléaire. Les économies émergentes que sont le Brésil, la Russie, l'Inde, l'Indonésie, la Chine et l'Afrique du Sud (ci-après désignées par le sigle BRIICS) devraient devenir de gros consommateurs d'énergie, de plus en plus dépendants des combustibles fossiles. Pour nourrir une population croissante dont les préférences alimentaires évoluent, la superficie des terres agricoles devrait augmenter à l'échelle mondiale au cours de la prochaine décennie, mais à un rythme toujours plus lent, afin de répondre à la demande alimentaire. La concurrence pour des ressources en terres limitées s'en trouvera nettement exacerbée. Cette superficie devrait culminer en 2030 puis diminuer par la suite, sous l'effet du ralentissement de la croissance démographique et de l'amélioration continue des rendements agricoles dans les pays de

Tableau 0.1. **Grands défis environnementaux : tendances et projections en l'absence de mesures nouvelles**

	Feu rouge 	Feu orange 	Feu vert 
Changement climatique	■ Augmentation des émissions de GES (notamment CO_2 lié à l'énergie) ; hausse des concentrations atmosphériques. ■ Preuves de plus en plus nombreuses de la réalité du changement climatique et de ses effets. ■ Engagements de Copenhague/Cancún insuffisants pour limiter le réchauffement à 2 °C de manière efficace par rapport aux coûts.	■ Diminution des émissions de GES par unité de PIB (découplage relatif) dans les pays de l'OCDE et les BRIICS. ■ Baisse des émissions de CO_2 liées aux changements d'utilisation des terres (principalement déforestation) dans les pays de l'OCDE et les BRIICS. ■ Stratégies d'adaptation élaborées dans de nombreux pays mais pas encore largement mises en œuvre.	
Biodiversité	■ Perte continue de biodiversité sous l'effet de pressions croissantes (dues, par exemple, aux changements d'utilisation des terres et à l'évolution du climat). ■ Diminution progressive de la superficie des forêts primaires (vierges). ■ Surexploitation ou épuisement des stocks halieutiques. ■ Propagation d'espèces exotiques envahissantes.	■ Expansion des zones protégées, mais sous-représentation de certains biomes et des aires marines protégées. ■ Expansion des zones forestières principalement due au reboisement (par exemple plantations) ; les taux de déforestation diminuent mais restent élevés.	■ Progrès dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique avec l'adoption en 2010 du Plan stratégique pour la biodiversité 2011-20 et du protocole de Nagoya.
Eau	■ Augmentation du nombre de personnes vivant dans des bassins hydrographiques soumis à un stress hydrique élevé. ■ Aggravation de la pollution et épuisement accéléré des ressources en eaux souterraines. ■ Détérioration de la qualité des eaux de surface dans les pays non membres de l'OCDE ; augmentation de la charge d'éléments nutritifs à l'échelle mondiale et des risques d'eutrophisation. ■ Populations urbaines augmentant plus vite que le nombre de foyers raccordés aux services d'eau ; nombreux habitants toujours dépourvus d'accès à une eau potable dans les zones rurales et urbaines ; OMD sur l'assainissement non atteint. ■ Augmentation du volume d'eaux usées non traitées rendues au milieu naturel.	■ Augmentation de la demande d'eau et de la concurrence entre utilisateurs, et nécessité d'une réallocation de l'eau entre les utilisateurs. ■ Augmentation du nombre de personnes exposées aux inondations.	■ Diminution de la pollution de l'eau par des sources ponctuelles (industrie, municipalités) dans les pays de l'OCDE. ■ Réalisation probable de l'OMD sur l'accès à des sources d'approvisionnement améliorées dans les BRIICS.
Santé et environnement	■ Augmentation sensible des émissions de SO_2 et NO_x dans les grandes économies émergentes. ■ Augmentation du nombre de décès prématurés liés à la pollution de l'air urbain (particules et ozone troposphérique. ■ Forte charge de morbidité liée à l'exposition à des substances chimiques dangereuses, en particulier dans les pays non membres de l'OCDE.	■ Diminution de la mortalité infantile causée par le manque d'accès à une eau potable et un assainissement amélioré. ■ Amélioration, encore insuffisante cependant, de l'information sur l'exposition aux produits chimiques dangereux dans l'environnement et dans les produits, sur les effets sanitaires de cette exposition, ainsi que sur les effets d'expositions combinées. ■ Les gouvernements de nombreux pays de l'OCDE ont modifié ou sont en passe de modifier leur législation afin d'élargir la couverture réglementaire des produits chimiques, mais la mise en application reste incomplète. ■ Diminution du nombre de décès prématurés dus à la pollution de l'air intérieur liée à l'utilisation de combustibles solides traditionnels, mais arbitrages possibles si les politiques d'atténuation du changement climatique augmentent les prix de l'énergie. ■ Malgré le changement climatique, baisse du nombre de décès prématurés liés au paludisme.	■ Diminution des émissions de dioxyde de soufre (SO_2), d'oxydes d'azote (NO_x) et de carbone noir dans les pays de l'OCDE.

Notes : Sauf indication contraire, les évolutions signalées sont de portée mondiale.
Feu vert = problèmes d'environnement bien pris en charge, ou dont la gestion s'est sensiblement améliorée ces dernières années, mais à propos desquels les pays doivent rester vigilants.
Feu orange = problèmes d'environnement qui demeurent épineux mais dont la gestion s'améliore, ou pour lesquels la situation actuelle est incertaine, ou qui ont été bien pris en charge dans le passé mais le sont moins bien aujourd'hui.
Feu rouge = problèmes d'environnement qui ne sont pas bien pris en charge, pour lesquels la situation est mauvaise ou s'aggrave, et qui nécessitent une attention urgente.

l'OCDE et les BRIICS. Dans le reste du monde (RdM), cependant, l'expansion des terres agricoles devrait se poursuivre. Les taux de déforestation ont déjà amorcé un recul et cette tendance devrait se confirmer. En Chine, par exemple, la réduction du territoire agricole devrait entraîner une augmentation des superficies forestières, ne serait-ce que pour faire face à la demande mondiale grandissante de bois et autres produits forestiers.

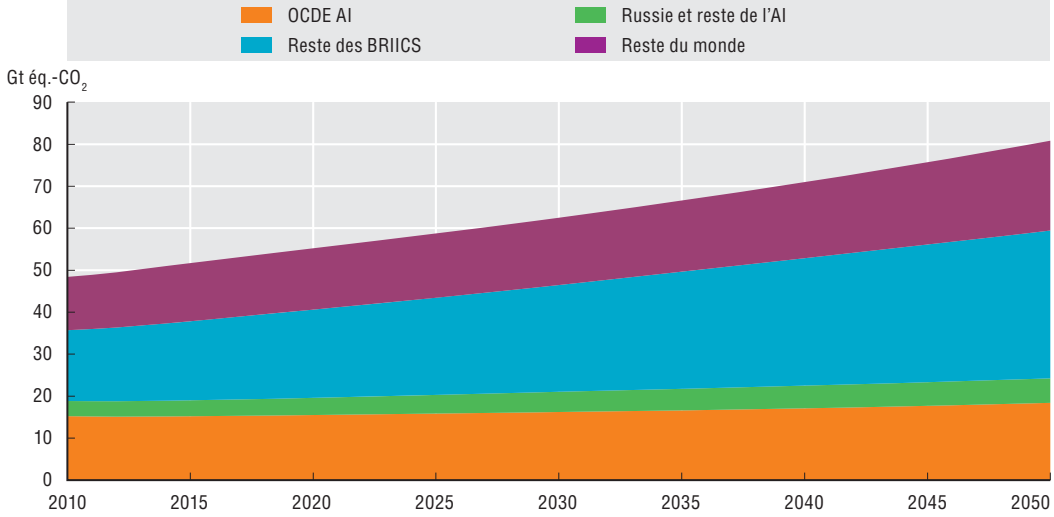
L'absence de politiques nouvelles conjuguée au prolongement des tendances socio-économiques constitue le « *scénario de référence* » de la présente étude (voir chapitres 1 et 2). Selon ce scénario, les pressions que font peser sur l'environnement la croissance démographique et la hausse des niveaux de vie compenseront largement les progrès réalisés en matière de lutte contre la pollution et d'amélioration du rendement d'utilisation des ressources. **La dégradation et l'érosion de notre capital environnemental naturel risquent donc de se poursuivre jusqu'en 2050 et au-delà, entraînant des changements irréversibles qui pourraient mettre en péril les acquis de deux siècles d'amélioration des niveaux de vie.** D'après le *scénario de référence* des *Perspectives*, les coûts et les conséquences de l'inaction seront considérables, tant du point de vue économique que sur le plan humain.

Les principaux défis environnementaux qui ressortent des présentes *Perspectives* pour les décennies à venir sont récapitulés à l'aide du système des « feux de signalisation » (tableau 0.1). Dans l'ensemble, malgré quelques améliorations ponctuelles, les évolutions probables dans les quatre domaines abordés sont plus alarmantes que dans la précédente édition des *Perspectives*. En particulier, aucun « feu vert » n'est recensé au chapitre du changement climatique.

Faute de politiques plus ambitieuses, d'ici à 2050 :

- **Les perturbations liées au changement climatique vont sans doute s'aggraver et devenir irréversibles,** puisqu'on prévoit une augmentation de plus de 50 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES), essentiellement imputable à un accroissement de 70 % des émissions de CO_2 liées à l'utilisation d'énergie (graphique 0.1). Si la récente crise

Graphique 0.1. **Émissions de GES par région : *scénario de référence*, 2010-2050**



Note : « OCDE AI » correspond au groupe des pays de l'OCDE qui font aussi partie de l'annexe I du protocole de Kyoto. Gt éq.-CO_2 = gigatonnes d'équivalent CO_2.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593876

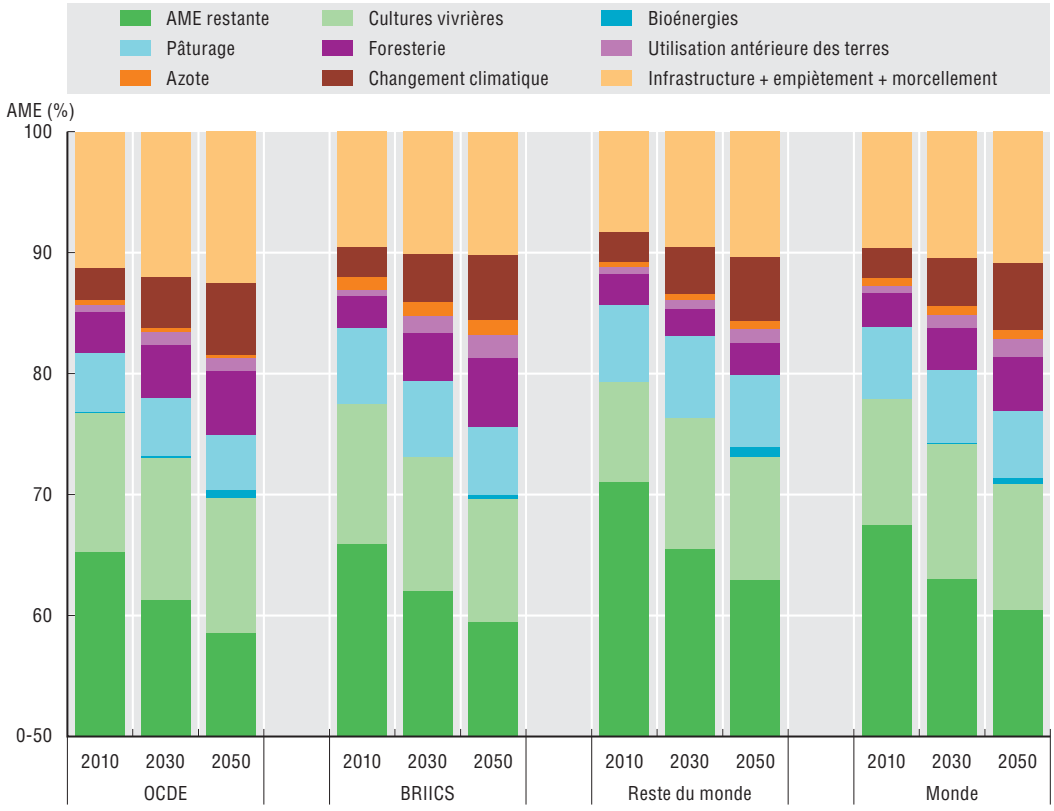
économique a effectivement ralenti quelque peu la croissance des émissions, la reprise a déjà inversé cette tendance temporaire et, au rythme actuel, la concentration atmosphérique de GES pourrait atteindre près de 685 parties par million (ppm) d'ici à 2050 (voir chapitre 3). La température moyenne mondiale dépasserait alors de 3 °C à 6 °C les niveaux préindustriels, excédant l'objectif convenu à l'échelle internationale, à savoir une limitation du réchauffement global à 2 °C.

Il existe un écart sensible entre l'objectif de 2 °C et les engagements de réduction des émissions de GES des pays développés et des pays en développement dans les Accords de Cancún. Même si ces engagements sont pleinement respectés, ils ne seront pas suffisants pour empêcher que la hausse de la température moyenne mondiale dépasse le seuil de 2 °C, à moins d'une baisse très rapide et coûteuse des émissions après 2020. Si le réchauffement dépassait les 2 °C, il entraînerait une altération des régimes pluviométriques ; une fonte accrue des glaciers et du permafrost ; une montée du niveau de la mer et une augmentation de l'intensité et de la fréquence d'événements météorologiques extrêmes tels que les vagues de chaleur, les inondations et les ouragans ; il deviendrait en outre le plus important moteur de la perte de biodiversité. Le rythme du changement et les autres pressions environnementales identifiées dans ce rapport nuiront à la capacité d'adaptation des populations et des écosystèmes. L'inaction face au changement climatique pourrait se traduire par la perte définitive de plus de 14 % de la consommation moyenne mondiale par habitant.

- **L'appauvrissement de la biodiversité devrait se poursuivre,** surtout en Asie, en Europe et en Afrique australe. À l'échelle mondiale, la biodiversité terrestre (mesurée par l'abondance moyenne des espèces – ou AME – un indicateur de l'intégrité des écosystèmes naturels) devrait enregistrer un recul supplémentaire de 10 % d'ici à 2050 (voir chapitre 4). La superficie des forêts primaires, riches en biodiversité, devraient diminuer de 13 %, malgré l'augmentation de la superficie forestière totale pendant cette période. Les principaux facteurs d'appauvrissement de la biodiversité sont notamment les changements dans l'utilisation et la gestion des sols (agriculture), l'expansion de la sylviculture commerciale, le développement des infrastructures, l'empiètement des activités humaines et la fragmentation des habitats naturels, ainsi que la pollution et le changement climatique (graphique 0.2). D'ici à 2050, le changement climatique sera devenu, selon les projections, le principal facteur d'appauvrissement de la biodiversité, suivi par la sylviculture commerciale et le développement des cultures bioénergétiques.

  Un tiers environ de la biodiversité dulcicole mondiale a déjà disparu, et il est prévu que cette tendance se poursuive jusqu'en 2050, notamment en Afrique, en Amérique latine et dans certaines régions de l'Asie. Si les perturbations affectant les écosystèmes dépassent un certain seuil, les dommages pourraient devenir irréversibles. L'actuelle tendance à l'appauvrissement de la biodiversité constitue une menace pour le bien-être humain, et sera très coûteuse. On estime que cet appauvrissement et la perte des avantages liés aux services écosystémiques, sous l'effet de la diminution des superficies forestières mondiales par exemple, représentent globalement entre 2 000 et 5 000 milliards USD par an. L'appauvrissement de la biodiversité aura des conséquences graves pour les populations rurales pauvres et les communautés autochtones, dont les moyens de subsistance sont souvent directement dépendants de la biodiversité et des écosystèmes, ainsi que des services qu'ils fournissent.

Graphique 0.2. **Effets de différentes pressions sur l'AME terrestre : *scénario de référence*, 2010 à 2050**



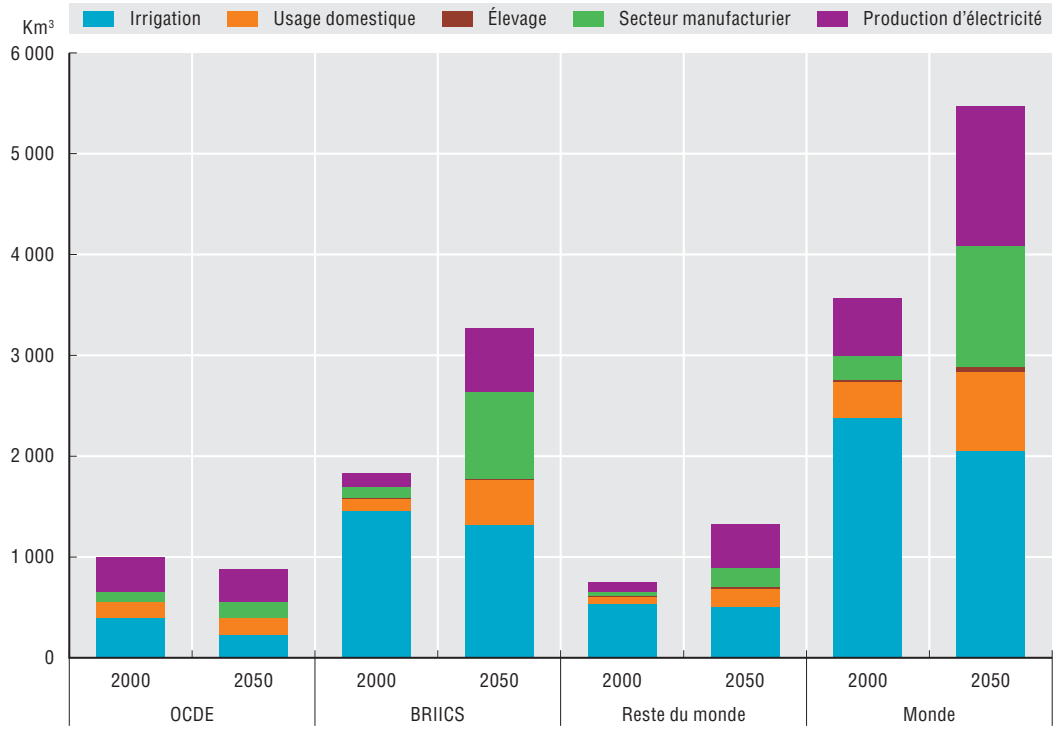
Note : Une AME de 100 % équivaut à un état intact ; des explications complémentaires sont présentées au chapitre 4, tableau 4.1.

Source : *Scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594313

- **Les ressources disponibles en eau douce subiront des pressions accrues dans de nombreuses régions,** 2.3 milliards de personnes de plus qu'aujourd'hui étant appelés à vivre dans des bassins hydrographiques soumis à un stress hydrique élevé. Cela signifie qu'au total, plus de 40 % de la population mondiale vivra dans des zones marquées par le stress hydrique, notamment en Afrique du Nord et en Afrique australe, ainsi qu'en Asie du Sud et en Asie centrale (voir chapitre 5). Globalement, la demande d'eau devrait augmenter de quelque 55 % compte tenu des besoins croissants des industries manufacturières (+400 %), de la production d'électricité thermique (+140 %) et des ménages (+130 %) (graphique 0.3). Face à ces demandes concurrentes, il ne sera guère possible d'accroître les quantités d'eau consacrées à l'irrigation dans le *scénario de référence*. Ce dernier table sur une baisse de la demande d'eau d'irrigation, qui correspond à une augmentation nulle de la superficie des terres irriguées et à des gains d'efficacité sensibles. Si ces hypothèses ne se vérifient pas, l'eau fera l'objet d'une concurrence encore plus vive. Les effets combinés de ces pressions pourraient se traduire par des pénuries d'eau qui freineraient l'essor de nombreuses activités économiques. La préservation des flux environnementaux sera fragilisée, mettant en danger les écosystèmes. Dans plusieurs régions l'épuisement des eaux souterraines pourrait devenir la plus grande menace pesant sur l'agriculture et sur l'approvisionnement en eau des zones urbaines.

Graphique 0.3. **Demande mondiale d'eau : *scénario de référence*, 2000 et 2050**



Note : Ce graphique ne mesure que la demande d'« eau bleue » (voir encadré 5.1) et ne tient pas compte de l'agriculture pluviale.

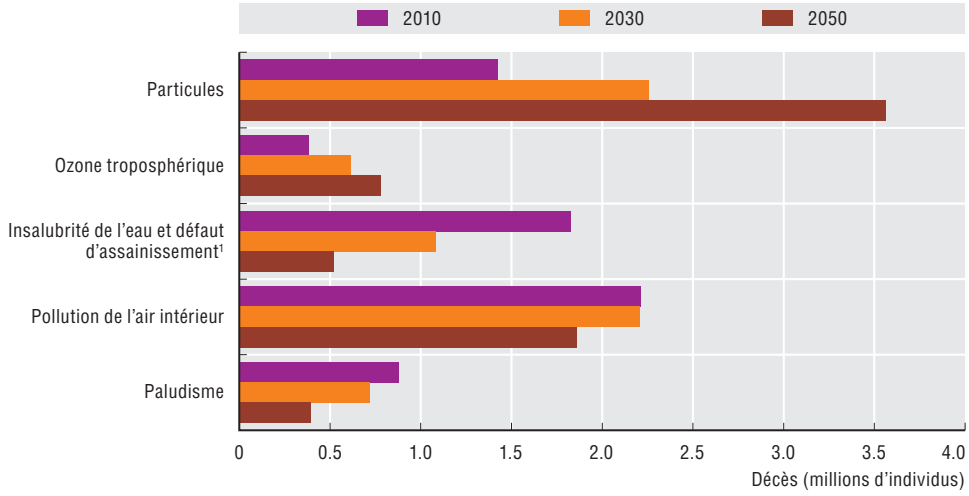
Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594541

La pollution de l'eau par des éléments nutritifs provenant de sources ponctuelles (eaux urbaines résiduaires) et de « sources diffuses » (principalement agriculture) devrait s'aggraver dans la plupart des régions, intensifiant l'eutrophisation et portant atteinte à la biodiversité aquatique. Quoi qu'il en soit, le nombre de personnes ayant accès à une source d'eau améliorée devrait augmenter, essentiellement dans les BRIICS. À l'échelle mondiale, on prévoit cependant que plus de 240 millions de personnes (essentiellement dans les zones rurales) seront dépourvues d'accès à une source d'eau améliorée en 2050. Il est peu probable que l'Afrique subsaharienne atteigne l'Objectif du Millénaire pour le développement (OMD) consistant à diviser par deux d'ici 2015 le nombre d'individus qui n'avaient pas accès à un approvisionnement en eau amélioré en 1990. Globalement, les citadins dépourvus d'accès à une source d'eau améliorée étaient plus nombreux en 2008 qu'en 1990, l'urbanisation ayant progressé à un rythme supérieur à celui des raccordements aux infrastructures de l'eau. Par ailleurs, accéder à un approvisionnement en eau *amélioré* ne signifie pas nécessairement accéder à une eau propre à la consommation humaine. On prévoit que l'OMD relatif à l'assainissement ne sera pas atteint en 2015, et qu'en 2050, 1.4 milliard de personnes seront toujours privées d'accès à un assainissement de base, essentiellement dans les pays en développement.

- **Les répercussions sanitaires de la pollution de l'air urbain** continueront de s'aggraver dans ce scénario, la pollution atmosphérique devenant la principale cause environnementale de décès prématurés à l'échelle mondiale (graphique 0.4). Parallèlement, le nombre des décès prématurés provoqués par la pollution de l'air intérieur liée à l'utilisation de combustibles

Graphique 0.4. **Décès prématurés liés à certains risques environnementaux dans le monde : *scénario de référence*, 2010 à 2050**



1. Mortalité infantile uniquement.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594807

« sales » devrait diminuer, de même que la mortalité infantile imputable à l'insalubrité de l'eau et au défaut d'assainissement, essentiellement sous l'effet de l'augmentation globale du niveau de vie de base et du vieillissement de la population (qui implique une moindre proportion d'enfants, lesquels sont les plus vulnérables). Les concentrations de polluants atmosphériques dans certaines villes, en particulier en Asie, sont déjà bien supérieures aux niveaux préconisés par l'Organisation mondiale de la Santé, avec des conséquences meurtrières : il faudrait que ces concentrations soient réduites très fortement pour que les bénéfices sur la santé soient sensibles (voir chapitre 6). Avec l'essor des transports et l'augmentation des émissions atmosphériques industrielles, le nombre global de décès prématurés associés aux particules en suspension dans l'air devrait plus que doubler pour atteindre 3.6 millions par an, la plupart de ces décès se produisant en Chine et en Inde. Compte tenu de leur vieillissement démographique et de leurs populations très urbanisées, les pays de l'OCDE vont sans doute enregistrer l'un des plus forts taux de décès prématurés liés à l'ozone troposphérique, après l'Inde mais avant tous les autres pays.

- **La morbidité relative à l'exposition aux produits chimiques dangereux** est importante dans le monde entier mais pèse plus lourd sur les pays non membres de l'OCDE qui n'ont pas encore mis en place de mesures satisfaisantes en matière de sécurité chimique. Or, on prévoit que les pays non membres de l'OCDE assureront une part croissante de la production mondiale de substances chimiques, les seuls BRIICS devançant les pays de l'OCDE dans les ventes mondiales en 2050 d'après le *scénario de référence*. Si les gouvernements des pays de l'OCDE affichent des progrès dans la collecte et l'évaluation de données sur l'exposition humaine aux substances chimiques tout au long de leur cycle de vie, les effets sanitaires des substances chimiques présentes dans les produits et dans l'environnement, et en particulier les effets de l'exposition à des combinaisons de substances chimiques, restent mal connus.

Les projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* font apparaître la nécessité urgente d'agir dès à présent pour modifier le cours de notre développement futur. Tarder à alléger ces pressions environnementales se traduira par des coûts substantiels, compromettra la croissance et le développement et risquerait d'entraîner à plus longue échéance des changements irréversibles et potentiellement catastrophiques. L'évolution des systèmes naturels n'est pas linéaire. **Des données scientifiques convaincantes montrent qu'au-delà de certains « points de basculement » ou limites biophysiques, les modifications rapides et préjudiciables subies par les systèmes naturels deviennent irréversibles** (disparition d'espèces, changement climatique, épuisement des ressources en eaux souterraines ou dégradation des terres et des sols, par exemple). Or, dans bien des cas on n'appréhende pas encore pleinement ces points de basculement ou seuils, ni les conséquences environnementales, sociales et économiques qu'entraînerait leur franchissement.

Tarder à relever ces défis environnementaux risque de se traduire à l'avenir par des changements potentiellement irréversibles – et dans certains cas très coûteux voire catastrophiques.

Et si…

… les émissions de NO_x, de SO_2 et de carbone noir diminuaient de 25 % d'ici à 2050 ? Ce *scénario de réduction de la pollution de l'air* aboutirait à une diminution supplémentaire de 5 % des émissions mondiales de CO_2, mais ne contribuerait guère à empêcher le doublement attendu des décès prématurés. Étant donné que dans le *scénario de référence*, la pollution est bien supérieure aux seuils d'innocuité dans de nombreuses villes asiatiques, il faudrait que les objectifs de réduction de la pollution soient encore plus ambitieux pour donner des résultats positifs en termes de santé.

Tandis que la communauté scientifique continue d'enrichir la base de connaissances nécessaire à l'élaboration de politiques fondées sur des données factuelles, les décideurs sont amenés à évaluer les coûts de l'action et de l'inaction dans un contexte d'incertitude considérable. Quoi qu'il en soit, les coûts et les conséquences de l'inaction face aux défis environnementaux ne seront assurément pas négligeables, même si nous ne pouvons pas les évaluer avec précision. Il serait sage d'agir avec précaution, car s'ils se poursuivent, l'appauvrissement des actifs naturels et les atteintes aux services qu'ils fournissent pourront avoir de profondes conséquences économiques et sociales, en particulier dans les pays en développement et pour les populations rurales pauvres. Les pouvoirs publics vont donc devoir trouver un compromis entre l'émission de signaux clairs à l'intention des utilisateurs et des consommateurs de ressources, et la nécessité de conserver une marge de manœuvre et d'adaptation compte tenu des incertitudes qui entourent la résilience des écosystèmes et les conséquences socio-économiques de leur déstabilisation.

Les *Perspectives* font ressortir les liens entre les différents problèmes d'environnement. Par exemple, le changement climatique peut affecter les cycles hydrologiques et accentuer les pressions exercées sur la biodiversité et la santé humaine. La biodiversité et les services écosystémiques sont intimement liés à l'eau, au climat et à la santé humaine : les zones marécageuses purifient l'eau, les mangroves protègent contre les inondations côtières, les forêts contribuent à la régulation du climat et la diversité génétique est nécessaire aux découvertes pharmaceutiques. Il importe d'accorder une attention particulière à ces fonctions

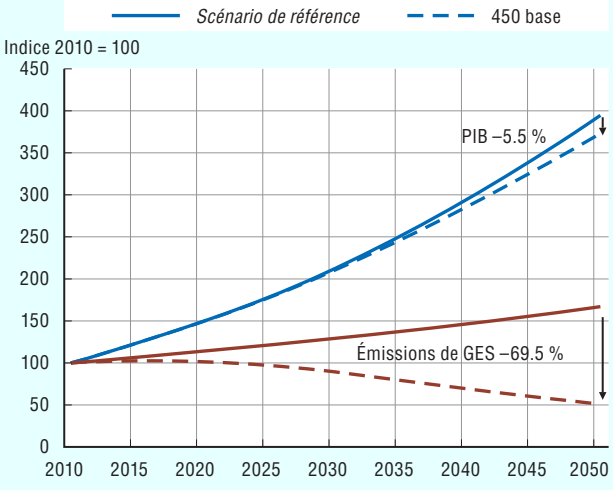
environnementales interdépendantes car elles ont des répercussions économiques et sociales plus larges, et témoignent de la nécessité d'améliorer le rendement d'utilisation des ressources et l'utilisation des terres.

Une action précoce est rationnelle non seulement du point de vue environnemental, mais aussi sur le plan économique. Par exemple, les *Perspectives* suggèrent que si les pays agissent dès à présent, il reste une chance – certes de plus en plus mince – de voir les émissions de GES atteindre leur maximum avant 2020 et de limiter l'augmentation moyenne de la température mondiale à 2 °C (voir encadré ci-dessous). Les coûts d'adaptation et d'atténuation seraient alors beaucoup plus abordables. Or, à moins que des décisions plus ambitieuses ne soient prises prochainement, l'occasion qui nous est offerte va passer. Les décisions d'investissement qui sont prises aujourd'hui entraîneront des choix d'infrastructures qui nous engagent pour les années ou les décennies à venir. Les investissements à forte intensité d'émissions auront des conséquences durables pour l'environnement. Cependant, d'autres investissements environnementaux peuvent se révéler payants. D'après les *Perspectives*, par exemple, les bénéfices découlant d'une réduction supplémentaire de la pollution atmosphérique dans les BRIICS pourraient se révéler dix fois plus importants que les coûts (voir chapitre 6). S'agissant des investissements consacrés à l'amélioration des systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement dans les pays en développement, le rapport entre bénéfices et coûts peut atteindre 7 pour 1 (voir chapitre 5).

Et si...

... nous commencions aujourd'hui à limiter les concentrations de GES à 450 ppm par le biais de la tarification du carbone afin de respecter l'objectif de 2 °C ? D'après le scénario *450 base*, il en résulterait un ralentissement de la croissance économique de 0.2 point de pourcentage par an en moyenne, soit quelque 5.5 % du PIB mondial en 2050. C'est bien peu comparé au coût potentiel de l'inaction qui, selon certaines estimations, pourrait atteindre pas moins de 14 % de la consommation moyenne mondiale par habitant. Il se peut que le coût de l'action climatique soit surestimé dans les *Perspectives*, qui ne tiennent pas compte des avantages de l'atténuation.

Graphique 0.5. **Scénario *450 base* : émissions et coûts de l'atténuation au niveau mondial**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593496

3. Quelles politiques sont susceptibles de modifier ces perspectives ?

Des politiques bien conçues peuvent contribuer à inverser les tendances prévues par le *scénario de référence* des *Perspectives* et à sauvegarder la croissance économique à long terme ainsi que le bien-être des générations futures. Compte tenu de la complexité des défis environnementaux et des liens d'interdépendance qui les unissent, il est indispensable de faire appel à un large éventail d'instruments d'action, souvent utilisés en combinaison, pour intégrer les considérations environnementales dans les décisions économiques. Les interventions des pouvoirs publics doivent aussi pouvoir étayer une croissance et un développement durables. La *Stratégie de l'OCDE pour une croissance verte* offre un cadre cohérent permettant d'assembler une panoplie de mesures optimale. Dans ce contexte, et selon les *Perspectives*, les mesures suivantes doivent être prises en priorité pour faire face au changement climatique, à l'appauvrissement de la biodiversité, aux défis de l'eau et aux effets de la pollution sur la santé.

Faire de la pollution une activité coûteuse

Des instruments économiques comme les écotaxes et les systèmes d'échange de permis d'émission confèrent un prix à la pollution, afin que les activités polluantes soient plus coûteuses que les solutions plus vertes (voir, par exemple, chapitre 3, section 3). Ils peuvent donc contribuer à écologiser les chaînes d'approvisionnement et de valeur mondiales, grâce à l'innovation dans les pratiques commerciales et les technologies vertes. De surcroît, les instruments de marché peuvent générer un surcroît de recettes budgétaires permettant de desserrer les strictes contraintes budgétaires auxquelles doivent faire face les gouvernements. Un certain nombre de pays ont engagé des réformes fiscales vertes, et utilisent souvent les nouvelles recettes perçues pour réduire les impôts sur les revenus du travail, ce qui pourrait stimuler l'emploi et favoriser la croissance verte.

Et si...

... les engagements de réduction d'émissions annoncés par les pays industrialisés dans le contexte des Accords de Cancún étaient mis en œuvre sous la forme de taxes sur le carbone ou de systèmes de plafonnement et d'échange associés à une mise aux enchères intégrale des permis ? Les recettes budgétaires pourraient représenter plus de 0.6 % du PIB de ces pays en 2020, soit plus de 250 milliards USD.

Veiller à ce que les prix reflètent mieux la véritable valeur du patrimoine naturel et des services écosystémiques

Déterminer correctement la valeur et le prix des ressources et des services écosystémiques qu'elles fournissent peut contribuer à une utilisation plus durable de ces ressources. Par exemple, la tarification est un moyen efficace d'assurer une bonne allocation des ressources en eau, en particulier lorsqu'elles sont rares, et d'encourager une consommation plus durable. Les tarifs de l'eau peuvent aussi procurer des recettes permettant de couvrir le coût des infrastructures de l'eau, essentielles pour assurer le maintien et l'expansion de l'accès à l'eau et à l'assainissement (voir chapitre 5, section 3). Les instruments économiques apparaissent aussi prometteurs s'agissant de la biodiversité et des autres services écosystémiques. Estimer la valeur monétaire des services fournis par les écosystèmes et la biodiversité peut rendre plus visibles leurs avantages, et permettre

d'aboutir à de meilleures décisions, plus efficaces par rapport à leur coût (voir chapitre 4, section 1). Il est aussi nécessaire de créer des marchés permettant de tirer parti de ces avantages, en recourant par exemple à des droits sur l'eau négociables, à des paiements au titre des services écosystémiques fournis par les forêts et les bassins hydrographiques ou à des systèmes d'éco-certification. La Convention sur la diversité biologique et l'OCDE s'efforcent toutes deux de promouvoir l'utilisation d'instruments économiques pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité.

Concevoir des réglementations et des normes volontaristes et efficaces

Les approches réglementaires sont une pierre angulaire de la politique de l'environnement et peuvent être associées à des instruments économiques, en particulier lorsque les marchés ne sont pas en mesure d'émettre des signaux de prix clairs. Par exemple, la seule tarification du carbone risque de ne pas permettre d'exploiter pleinement les possibilités d'amélioration de l'efficience énergétique (chapitre 3, section 3). Des réglementations sont aussi nécessaires lorsque des mesures de contrôle rigoureuses s'imposent pour sauvegarder la santé humaine ou l'intégrité de l'environnement, par exemple par le biais de limites ou de normes quantitatives (voir chapitre 6, sections 2 et 4). Parmi ces approches réglementaires, on peut citer les normes (normes de qualité de l'air ambiant ou de rejets d'effluents, normes applicables aux émissions des véhicules, plus normes d'efficacité énergétique des bâtiments) ; l'interdiction pure et simple (de l'exploitation illégale des forêts et du commerce d'espèces menacées, de l'aménagement des zones naturelles protégées, du plomb dans l'essence et de certains pesticides toxiques, par exemple) ; et l'utilisation d'outils de planification (comme l'aménagement du territoire et les études d'impact sur l'environnement).

Supprimer les subventions préjudiciables à l'environnement

De nombreuses activités préjudiciables à l'environnement sont subventionnées par les contribuables. De nombreux pays, par exemple, continuent de subventionner dans une certaine mesure la production ou la consommation de combustibles fossiles (voir chapitre 3, section 3). Ce faisant, ils favorisent de fait les émissions de carbone, compromettant les efforts déployés pour lutter contre le changement climatique et contribuant à pérenniser les technologies énergétiques du passé. L'élimination progressive ou la réforme de ces subventions peuvent amener une réduction des émissions de GES liées à l'énergie, inciter à améliorer l'efficacité énergétique et accroître la compétitivité des énergies renouvelables. Elles permettent aussi de disposer de nouvelles sources de financement public pour soutenir l'action climatique. De la même façon, la sous-tarification ou le subventionnement de l'eau ainsi que certaines aides accordées aux secteurs de l'agriculture et de la pêche, si elles ne sont pas bien conçues, sont de nature à accentuer les pressions exercées sur les terres, les ressources en eau et les écosystèmes (voir chapitre 4, section 4). La suppression ou la réforme de ces subventions peuvent adresser des signaux indispensables sur le véritable coût de la pollution et la valeur des actifs naturels. Elles peuvent aussi être un moyen

La production et l'utilisation de combustibles fossiles ont bénéficié, ces dernières années, de 45 à 75 milliards USD par an de subventions dans les pays de l'OCDE. Les économies émergentes et en développement ont quant à elles accordé en 2010 plus de 400 milliards USD de subventions à la consommation de combustibles fossiles.

d'économiser l'argent des contribuables ou des consommateurs. Il est essentiel de tenir compte des éventuelles répercussions dommageables de la réforme des subventions si l'on veut pouvoir déterminer véritablement le coût de la pollution et la valeur des ressources.

Encourager l'innovation

Il nous faut accélérer considérablement le développement et la diffusion des améliorations technologiques qui atténueront les pressions croissantes exercées sur l'environnement et maintiendront le coût des actions futures à un niveau acceptable. Par exemple, des technologies telles que la bioénergie avec capture et stockage du carbone (BECCS) sont à même d'abaisser le coût futur de la réduction des émissions de GES (voir chapitre 3, section 4). L'innovation dans de nouveaux modèles économiques et de nouvelles technologies peut aussi jouer un rôle important dans la recherche de solutions aux principaux défis environnementaux et dans la promotion de la croissance verte. Par exemple, des techniques améliorées de gestion des exploitations agricoles peuvent contribuer à augmenter la productivité de l'eau, à réduire la pollution et à protéger la biodiversité. La promotion de la chimie verte ou durable peut permettre de concevoir, fabriquer et utiliser des produits chimiques plus respectueux de l'environnement tout au long de leur cycle de vie (voir chapitre 6, section 4). La tarification et les instruments de marché peuvent offrir des incitations à l'innovation dans les technologies permettant de réduire la pollution et d'économiser les ressources. D'autres mesures sont cependant indispensables, telles que les politiques de soutien à la R-D, les normes, les réglementations et les programmes volontaires visant à encourager l'innovation, ainsi que des mécanismes efficaces de transfert de technologies vertes à destination des pays en développement. L'innovation n'est pas uniquement une affaire de technologie. Les pouvoirs publics, les entreprises et les organisations sociales ont aussi besoin d'innovations pratiques favorisant une production et une consommation plus respectueuses de l'environnement.

La décarbonation de l'économie ne se fera pas toute seule. Faute de mesures nouvelles et plus efficaces, la palette des technologies énergétiques ne va pas évoluer sensiblement d'ici à 2050, et la part des énergies fossiles restera de 85 %.

Trouver le bon dosage des politiques

Compte tenu de l'éventail des pressions et de la complexité des interactions, toute une panoplie d'instruments d'action soigneusement choisis devra être déployée pour faire face à la plupart des principaux défis environnementaux. Les aides publiques en faveur de comportements « verts » comme les pratiques agricoles écologiques pourraient en faire partie, mais il faudrait revoir périodiquement ces dispositifs et les supprimer à terme une fois que les pratiques écologiques seront bien acceptées. La panoplie d'instruments pourrait aussi comporter : des outils d'information tels que l'éco-étiquetage afin de sensibiliser les consommateurs et de promouvoir des modes de consommation durables ; des activités de recherche fondamentale et de développement ; et des initiatives volontaires prises par les entreprises pour expérimenter des approches nouvelles et novatrices. Il importera cependant de veiller à ce que les instruments d'action utilisés soient complémentaires, ne se chevauchent pas, et ne soient pas mutuellement incompatibles (voir ci-dessous). Il faudrait évaluer systématiquement l'ensemble des coûts et avantages des panoplies d'instruments sous l'angle de l'efficacité environnementale, de l'équité sociale et de l'efficience-coût. Il n'existe pas de prescription universelle quant au dosage des mesures à prendre pour favoriser la croissance verte, lequel doit être adapté aux spécificités de chaque pays.

4. Réussir la réforme et intégrer la croissance verte dans les priorités de l'action

Favoriser la cohérence des politiques entre secteurs

Il est indispensable de faire en sorte que les politiques économiques et sectorielles (par exemple énergie, agriculture, transports) intègrent des objectifs environnementaux, car elles ont un impact plus grand que celui des seules politiques environnementales. C'est là un aspect central de la recherche d'un sentier de croissance plus respectueux de l'environnement. **Les défis environnementaux ne peuvent être relevés séparément, et il convient de les replacer dans le contexte d'autres défis mondiaux comme la sécurité alimentaire et énergétique et la lutte contre la pauvreté.** Les *Perspectives de l'environnement* mettent par exemple en lumière le besoin grandissant de cohérence entre les politiques de l'eau, de l'agriculture et de l'énergie dans les décennies à venir (voir par exemple chapitre 5, section 4). Il est indispensable que des mesures visant à améliorer l'adaptation au changement climatique ou à protéger la biodiversité fassent partie des politiques en matière d'aménagement du territoire, d'urbanisme, de gestion de l'eau et d'agriculture, et inversement. Il est vital de faire en sorte que les populations rurales défavorisées aient intérêt à protéger les forêts plutôt qu'à les détruire, en intégrant pleinement des objectifs de biodiversité dans les programmes de réduction de la pauvreté et les stratégies de développement économique, ainsi que dans les politiques forestières et agricoles (voir par exemple chapitre 4, section 4). De nombreux pays ont mis en œuvre ou envisagé des réformes budgétaires « vertes » destinées à intégrer des objectifs environnementaux dans les systèmes budgétaires nationaux, et notamment la fiscalité. Assurer la cohérence des politiques de manière à répondre efficacement aux multiples priorités de l'action des pouvoirs publics suppose de renforcer la capacité des gouvernements d'améliorer la coopération entre différents ministères et organismes ainsi qu'à différents niveaux de l'administration.

Et si...

... les mesures d'atténuation du changement climatique évitaient que l'expansion des zones cultivées n'empiète sur les écosystèmes naturels ? D'après les *Perspectives*, un tel scénario réduirait de 12.7 GtC les émissions de GES liées aux forêts et contribuerait à 7 % de l'objectif de réduction des émissions à l'horizon 2050. Dans le même temps, il contribuerait à protéger la biodiversité en réduisant la superficie des terres cultivées de quelque 1.2 million de km^2 et celle des terres consacrées au pâturage de 1 million de km^2 en 2050 par rapport au *scénario de référence*.

Optimiser les synergies

Il existe de nombreux liens d'interdépendance entre les quatre grands défis environnementaux étudiés dans les présentes *Perspectives de l'environnement*. **Les politiques conçues pour renforcer au maximum les synergies et les avantages connexes peuvent abaisser le coût de la réalisation des objectifs environnementaux.** Par exemple, certaines stragégies de lutte contre la pollution atmosphérique locale peuvent aussi réduire les émissions de GES (voir chapitre 6, encadré 6.3, et chapitre 3, section 4). Les politiques d'atténuation du changement climatique peuvent englober des mesures permettant également de protéger la biodiversité. Ainsi, un mécanisme bien conçu de financement de la réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (« REDD-plus ») peut atténuer le changement climatique tout en procurant des avantages supplémentaires

sur le plan de la biodiversité puisque le recul du déboisement et de la dégradation des forêts implique une moindre destruction des habitats (chapitre 4, encadré 4.9). Les *Perspectives* mettent aussi en avant les possibilités qu'offrent les efforts engagés pour faire face à ces défis environnementaux sur le plan de la croissance verte, notamment la réduction de la pauvreté, l'assainissement des finances publiques et la création d'emplois.

Et si…

… les mesures prises pour faire face aux répercussions sociales des politiques d'atténuation du changement climatique n'étaient pas suffisantes ? Selon le scénario d'atténuation présenté dans les *Perspectives*, faute de mesures d'accompagnement visant l'accès à l'énergie, l'augmentation des coûts de l'énergie pourrait priver 300 millions de personnes supplémentaires d'accès à des sources d'énergie propres mais plus coûteuses en 2050, d'où 300 000 décès prématurés de plus que dans le *scénario de référence*. Des mesures ciblées doivent donner aux ménages pauvres accès à d'autres solutions énergétiques propres.

Les contradictions entre les politiques pouvant nuire aux progrès, il est nécessaire de les examiner avec soin et d'y remédier. Dans le secteur de l'eau, par exemple, de grands projets d'infrastructure tels que les barrages destinés à améliorer la sécurité hydrique et énergétique et à mieux réguler le débit des cours d'eau peuvent perturber les habitats d'espèces sauvages et l'équilibre des écosystèmes, nuisant aussi bien à la biodiversité qu'à la qualité de l'eau en aval (voir chapitre 5, sections 2 et 4). Le recours accru aux biocombustibles pour atteindre les objectifs climatiques pourrait avoir des effets dommageables sur la biodiversité (chapitre 4, encadré 4.9). Pour les ménages les plus pauvres dans les pays en développement, les biocombustibles solides (par exemple bouse de vache, bois de feu) qui polluent l'air à l'intérieur des bâtiments resteront attractifs pour la cuisine et le chauffage si les taxes sur le carbone renchérissent les combustibles plus propres (chapitre 6, encadré 6.4).

Œuvrer en partenariat

Les gouvernements doivent coopérer plus efficacement avec des acteurs non gouvernementaux tels que les entreprises, les organisations de la société civile, les milieux de la recherche scientifique et les détenteurs de savoirs traditionnels. En particulier lorsque les ressources publiques sont limitées, forger des partenariats stratégiques et capitaliser sur le dynamisme de la société en général peut contribuer à la concrétisation de la croissance verte. **L'expérience des pays de l'OCDE montre que les réformes de la politique de l'environnement fonctionnent mieux lorsque les hauts responsables politiques et toutes les parties prenantes sont mobilisés.** En particulier, les entreprises et les institutions de recherche apportent une contribution essentielle à la mise au point de technologies vertes et à la mise en œuvre de pratiques agricoles durables. Il est indispensable d'associer plus avant le secteur privé à la gestion de la biodiversité et des écosystèmes, ainsi qu'aux investissements visant le développement des énergies propres et des infrastructures de l'eau. Des financements innovants, aux niveaux national et international, seront nécessaires pour y parvenir.

Intensifier la coopération internationale

Bon nombre des problèmes environnementaux étant d'ampleur mondiale (comme l'appauvrissement de la biodiversité et le changement climatique) ou liés aux effets internationaux de la mondialisation économique (par exemple, échanges, investissement international), **la coopération internationale à tous les niveaux (bilatéral, régional et**

multilatéral) est indispensable pour assurer un partage équitable du coût de l'action. Ainsi, les zones du monde caractérisées par une « méga-diversité biologique » sont principalement situées dans des pays en développement, mais le poids des mesures de conservation de la biodiversité doit être plus largement partagé car les avantages de la biodiversité se font sentir à l'échelle mondiale (voir chapitre 4, section 1). Il faut donc mettre en place des stratégies permettant de trouver des financements internationaux (y compris la REDD) pour soutenir les efforts de conservation et de gestion durable de la biodiversité dans ces régions, ainsi que pour suivre les progrès réalisés sur la voie de la mise en œuvre. Ces efforts peuvent aussi contribuer à la lutte contre la pauvreté et à la promotion du développement durable. De même, le financement international des mesures à prendre pour parvenir à une croissance sobre en carbone et résiliente au changement climatique devra être sensiblement accru au cours des années à venir. D'après les *Perspectives*, les mesures d'atténuation du changement climatique faisant appel aux mécanismes de marché peuvent procurer d'importantes recettes supplémentaires ; il suffirait de mobiliser une faible partie de ces recettes pour apporter une contribution appréciable au financement nécessaire de l'action climatique (voir chapitre 3, encadré 3.11). La coopération internationale est aussi indispensable pour que les ressources financières et le savoir-faire nécessaires en matière de distribution d'eau et d'assainissement puissent assurer un accès universel à une eau potable et des systèmes d'assainissement appropriés, un objectif beaucoup plus ambitieux que les OMD (chapitre 5, section 3). Les *Perspectives* montrent que les avantages l'emportent largement sur les coûts.

Et si...

... la communauté internationale décidait de promouvoir l'accès universel à une source d'eau améliorée et à un assainissement de base d'ici à 2050, en deux étapes ? Selon les *Perspectives*, il faudrait pour cela investir 1.9 milliard USD de plus par an entre 2010 et 2030, puis 7.6 milliards USD par an jusqu'en 2050, par rapport au *scénario de référence*.

Une coopération internationale plus ambitieuse en matière de changement climatique nécessite de mobiliser tous les grands secteurs et pays émetteurs. La fragmentation des marchés du carbone et la disparité des efforts d'atténuation sont susceptibles de poser des problèmes de compétitivité et de « fuites de carbone ».

Les accords internationaux permettent de jeter les bases juridiques et institutionnelles de la coopération internationale dans le domaine de l'environnement. Par exemple, les *Perspectives* soulignent les progrès récents réalisés dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique avec l'adoption en 2010 du Plan stratégique pour la biodiversité 2011-20 (les objectifs d'Aichi pour la biodiversité, la Stratégie de mobilisation des ressources, etc.) et du Protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation. L'engagement des gouvernements nationaux à l'égard de l'Approche stratégique de l'ONU sur la gestion internationale des produits chimiques (SAICM) favorise la coopération internationale en matière de gestion sécurisée des produits chimiques afin de préserver la santé humaine et l'environnement (voir chapitre 6, encadré 6.9). Il est essentiel de mettre en place à l'échelle internationale des cadres d'action ambitieux visant l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, auxquels participent les principaux pays et secteurs émetteurs, ainsi que ceux qui sont les plus vulnérables au

réchauffement planétaire. En l'absence d'une action coordonnée à l'échelle internationale et d'un prix mondial du carbone, les préoccupations relatives aux pertes de compétitivité et aux fuites de carbone feront obstacle à la mise en œuvre des politiques d'atténuation nationales. Dans le domaine de l'eau, des mécanismes robustes sont indispensables pour assurer la gestion des bassins hydrographiques transfrontaliers. En outre, les échanges, l'investissement direct étranger et les entreprises multinationales peuvent être mobilisés pour favoriser la coopération internationale. Il conviendrait d'explorer de manière systématique d'autres mécanismes propres à dynamiser et développer les marchés de l'éco-innovation.

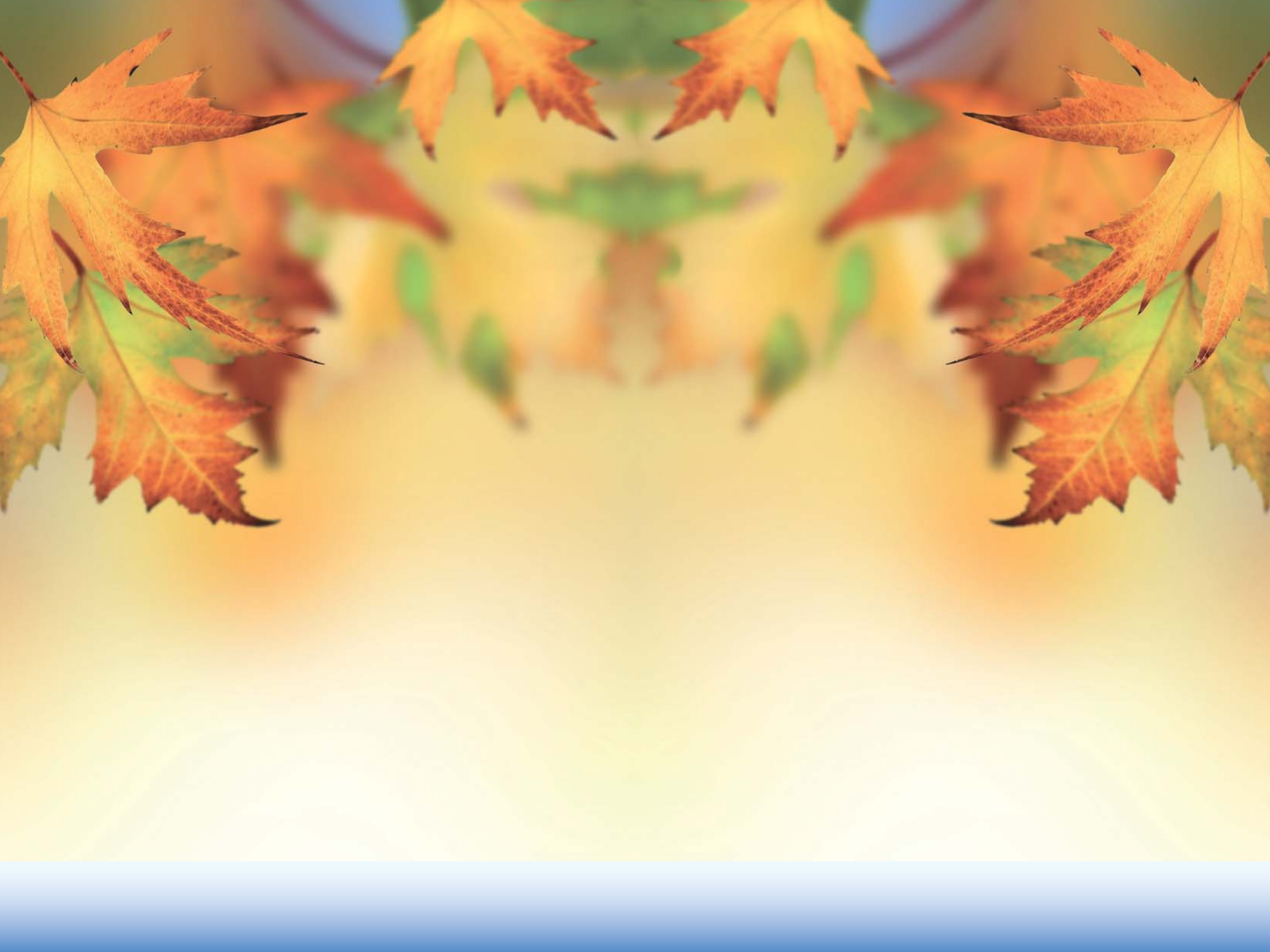
Améliorer nos connaissances

Une meilleure information permet de mener de meilleures politiques. Les politiques et projets devraient systématiquement être soumis à des évaluations permettant d'en mesurer les répercussions environnementales et sociales. Des réseaux améliorés de surveillance hydrologique sont nécessaires pour observer les tendances à long terme et évaluer l'effet des mesures prises. Des progrès s'imposent également en ce qui concerne les données et les indicateurs de la biodiversité, ce qui permettrait de mettre en place des politiques mieux coordonnées et plus complètes à l'échelle locale, nationale et internationale. Il conviendrait en outre de disposer d'informations supplémentaires sur les rejets de substances chimiques contenues dans les produits et dans l'environnement et sur l'exposition à ces substances, ainsi que sur d'autres problèmes sanitaires et environnementaux encore mal compris. Il faudra par ailleurs renforcer le suivi des effets du changement climatique afin de déterminer les mesures à prendre en priorité et d'éclairer la planification des mesures d'adaptation. **Dans de nombreux domaines, l'évaluation économique devrait être améliorée, notamment en ce qui concerne les avantages de la biodiversité et des services écosystémiques, ainsi que les coûts sanitaires associés à l'exposition aux produits chimiques.** On pourra ainsi mieux mesurer les aspects de l'amélioration du bien-être humain et du progrès dont le seul PIB est incapable de rendre compte. Une meilleure information sur les coûts et avantages aidera à mieux cerner les coûts de l'inaction et à justifier de manière convaincante les réformes en faveur de la croissance verte et la mise au point d'indicateurs.

La biodiversité et les écosystèmes rendent des services inestimables, mais largement sous-évalués, aux êtres humains et au milieu naturel. On estime par exemple que la valeur économique des services de pollinisation assurés par les insectes à l'échelle mondiale atteint quelque 192 milliards USD par an.

5. Conclusion

La mise en œuvre de panoplies de mesures efficaces en faveur de la croissance verte ne sera possible que si les décideurs font preuve d'une détermination politique suffisante, et si le public est largement convaincu que les changements sont à la fois nécessaires et d'un coût raisonnable. Ces solutions ne seront pas toutes bon marché, c'est pourquoi il importe de chercher celles qui sont les plus efficaces au regard de leurs coûts. Il est essentiel de mieux comprendre les défis et arbitrages auxquels nous sommes confrontés. Ces *Perspectives* s'efforcent d'apporter les éclairages indispensables à une meilleure prise de décisions, et espèrent proposer aux responsables de l'élaboration des politiques des moyens d'action pouvant être mis en œuvre dès à présent afin de placer le monde sur la voie d'un développement plus durable.



© OCDE 2012

Chapitre 1

Introduction

Ce chapitre décrit le contexte dans lequel s'inscrivent les Perspectives de l'environnement de l'OCDE, *explique la méthode utilisée – en particulier le système des feux de signalisation – et décrit la structure du rapport. Il est axé sur les quatre défis environnementaux repérés par des « feux rouges » – le changement climatique, la biodiversité, l'eau et les effets de la pollution sur la santé – désignés comme les enjeux les plus pressants dans les prochaines décennies. Les* Perspectives de l'environnement *présentent une analyse d'envergure mondiale, mais les recommandations d'action s'adressent surtout aux pays de l'OCDE et aux grandes économies émergentes que sont le Brésil, la Russie, l'Inde, l'Indonésie, la Chine et l'Afrique du Sud (les BRIICS). Elles effectuent des projections pour analyser les tendances économiques et environnementales des prochaines décennies, en associant un cadre de modélisation économique d'équilibre général (le modèle ENV-Linkages de l'OCDE) et un cadre de modélisation complète de l'environnement (suite de modèles IMAGE de l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas, PBL). Le* scénario de référence *des* Perspectives de l'environnement *indique au moyen de projections simplifiées à quoi pourrait ressembler le monde en 2050 si les évolutions socio-économiques et environnementales et les politiques actuelles étaient maintenues et qu'aucune politique nouvelle n'était adoptée pour protéger l'environnement. Pour procéder à des comparaisons avec le* scénario de référence, *les* Perspectives *présentent aussi les résultats de simulations (« et si… ») qui modélisent les effets potentiels des politiques mises en place face aux grands problèmes d'environnement. Cette édition des* Perspectives *a été établie pour la réunion des ministres de l'Environnement qui s'est tenue à l'OCDE en mars 2012 et constitue la contribution de l'Organisation à la Conférence des Nations Unies sur le développement durable (Rio + 20)* en juin 2012. *Elle doit être lue en parallèle avec la Stratégie de l'OCDE pour une croissance verte,* Vers une croissance verte.

1. Introduction

Depuis 2001, l'OCDE a publié plusieurs éditions des *Perspectives de l'environnement* pour aider les décideurs à cerner l'ampleur et le contexte des grands problèmes d'environnement auxquels ils devront faire face dans les prochaines décennies, ainsi que les conséquences économiques et environnementales des politiques qui pourraient être appliquées pour répondre à ces problèmes (OCDE, 2001; 2008). Les *Perspectives* se servent de modèles pour établir des projections qui indiquent à quoi pourrait ressembler le monde à l'avenir. Elles présentent aussi les résultats de simulations (« et si… ») qui indiquent les effets potentiels des politiques mises en place face aux grands problèmes environnementaux.

Ces *Perspectives de l'environnement* s'appliquent jusqu'à l'horizon 2050, et parfois jusqu'en 2100. Elles mettent l'accent sur quatre grands défis environnementaux, repérés par des « feux rouges » – le changement climatique, la biodiversité, l'eau et les effets de la pollution sur la santé – désignés par les ministres de l'Environnement de l'OCDE en 2008[1] comme les problèmes d'environnement les plus pressants et les plus persistants des prochaines décennies (encadré 1.1).

Encadré 1.1. **La « signalétique » des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE***

Les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* empruntent à la signalisation routière – feu rouge, feu orange, feu vert – pour symboliser l'ampleur et l'orientation des pressions exercées sur l'environnement, ainsi que l'évolution de l'action des pouvoirs publics face à ces problèmes. Leur couleur a été déterminée par les experts qui ont rédigé chaque chapitre, puis confirmée ou affinée par les délégués auprès du Comité des politiques d'environnement de l'OCDE et de ses organes subsidiaires à la lumière du rapport. Leur signification est la suivante :



Les feux rouges indiquent les problèmes d'environnement ou les pressions exercées sur l'environnement qui nécessitent une attention urgente, soit parce que la situation s'est aggravée récemment et qu'aucune amélioration n'est à prévoir si de nouvelles mesures ne sont pas prises, soit parce que la situation est restée stable récemment mais qu'une aggravation est à prévoir.



Les feux orange indiquent les pressions ou les conditions environnementales dont l'impact est incertain ou changeant (par exemple une situation favorable ou stable susceptible de se détériorer) ; qui ont été bien gérées dans le passé mais sont moins bien gérées aujourd'hui ; ou qui demeurent épineux mais présentent des potentialités d'évolution plus favorable si des politiques appropriées sont mises en place.



Les feux verts indiquent les pressions qui se maintiennent à un niveau acceptable ou diminuent ; les conditions environnementales pour lesquelles les perspectives à l'horizon 2050 sont encourageantes ; ou l'évolution favorable de l'action publique face à ces pressions ou conditions.

Le système des feux tricolores a le mérite d'être simple et de permettre une communication claire. Il faut rappeler cependant qu'il s'agit d'une simplification des pressions, des situations et des actions environnementales souvent complexes examinées dans les *Perspectives*.

Cette édition des *Perspectives* a été établie pour la réunion des ministres de l'Environnement qui s'est tenue à l'OCDE en mars 2012, et constitue la contribution de l'Organisation à la Conférence des Nations Unies sur le développement durable (Conférence Rio + 20) qui se tiendra en juin 2012. Elle doit être lue en parallèle avec la Stratégie de l'OCDE pour une croissance verte, *Vers une croissance verte* (OCDE, 2011), qui expose un cadre analytique destiné à servir de base à l'élaboration de politiques économiques et environnementales qui se renforcent mutuellement, afin de prévenir le risque de voir une mauvaise gestion des actifs naturels compromettre tôt ou tard la poursuite du développement humain. La Stratégie pour une croissance verte fournit une « panoplie d'instruments » générique, qui s'applique à des pays et à des enjeux différents, alors que les *Perspectives de l'environnement* recommandent des mesures spécifiques face au changement climatique, au recul de la biodiversité, aux problèmes de qualité et de quantité des eaux et aux effets de la pollution sur la santé, en se fondant sur des projections et des analyses des effets environnementaux et économiques de politiques particulières, et sur les synergies et les arbitrages nécessaires entre elles (encadré 1.2). Les *Perspectives* visent ainsi à étayer les discussions internationales sur ces questions spécifiques. Elles présentent une analyse d'envergure mondiale, mais les recommandations d'action s'adressent surtout aux pays de l'OCDE et aux grandes économies émergentes que sont le Brésil, la Russie, l'Inde, l'Indonésie, la Chine et l'Afrique du Sud (les BRIICS), et mettent l'accent sur la nécessité de continuer de progresser vers les objectifs mondiaux de développement durable et de réduction de la pauvreté.

Encadré 1.2. **Des politiques cohérentes en faveur de la croissance verte**

Les objectifs environnementaux examinés séparément dans les différents chapitres des *Perspectives* sont souvent en corrélation ; le changement climatique peut porter préjudice à la biodiversité et à la santé de l'homme, par exemple. L'une des fonctions essentielles des *Perspectives* consiste à faire ressortir ces corrélations et à mettre en évidence les synergies et les arbitrages nécessaires entre les mesures prises face à un problème environnemental particulier. Des exemples montrent que les politiques qui permettent de résoudre au moins deux problèmes simultanément en profitant des effets de synergie peuvent abaisser le coût de réalisation de certains objectifs environnementaux (les mesures relatives au changement climatique peuvent aussi réduire la pollution par exemple ; chapitre 3). D'autres exemples témoignent des effets néfastes que peuvent avoir les contradictions entre les politiques sur les progrès : ainsi, le recours accru aux biocombustibles pour atteindre les objectifs climatiques peut porter atteinte à la biodiversité (chapitre 4). Les *Perspectives* mettent aussi en avant les possibilités qu'offrent les efforts engagés pour faire face à ces défis environnementaux sur le plan de la croissance verte, notamment la réduction de la pauvreté, l'assainissement des finances publiques et la création d'emplois.

Les *Perspectives de l'environnement* visent aussi un public plus large que le cercle des responsables des politiques de l'environnement. Les grands problèmes d'environnement étudiés ici ne peuvent être réglés par les seuls ministères de l'Environnement. Des stratégies permettant de créer les conditions d'une croissance verte doivent faire partie intégrante des politiques économiques et sectorielles. Les entreprises, la communauté scientifique, les consommateurs et la société civile au sens large ont également un rôle important à jouer dans la mise en place d'une croissance verte.

2. La méthodologie des *Perspectives*

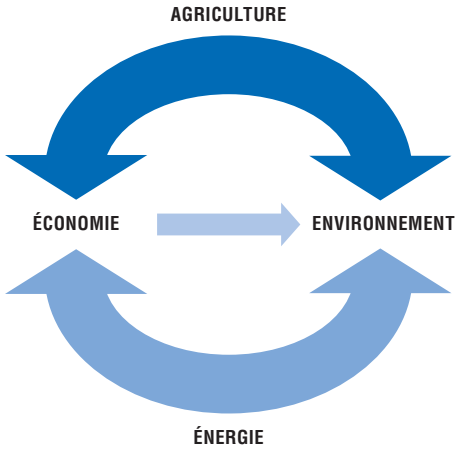
Intégration des modélisations économiques et environnementales

Les *Perspectives de l'environnement* analysent les évolutions économiques et environnementales des prochaines décennies. Ces projections sont rendues possibles par l'application d'un cadre de modélisation économique en équilibre général (le modèle ENV-Linkages de l'OCDE) en association avec un cadre de modélisation complète de l'environnement (la suite de modèles IMAGE de l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas, PBL). Pour plus de détails sur ENV-Linkages et la suite de modèles IMAGE, de même que sur les sources de données et d'informations, voir l'annexe A sur le cadre de modélisation à la fin de ce rapport :

- Le modèle ENV-Linkages mis au point par la direction de l'environnement de l'OCDE est un modèle dynamique d'équilibre général calculable (EGC) qui décrit les interactions entre les activités économiques des différents secteurs et régions, ainsi que les liens entre ces activités et les pressions environnementales, en particulier les émissions de gaz à effet de serre (GES). Ces liens entre activités économiques et émissions font l'objet de projections sur plusieurs décennies et mettent ainsi en lumière les incidences des politiques environnementales à moyen et à long terme. Le modèle ENV-Linkages a servi à produire des projections des principaux déterminants socio-économiques comme les évolutions démographiques, la croissance économique et le développement des secteurs économiques (voir le chapitre 2)[2].
- La suite de modèles IMAGE (*Integrated Model to Assess the Global Environment*) gérée par l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas est un cadre d'évaluation intégré dynamique servant à modéliser les changements au niveau mondial. Elle s'appuie sur une modélisation de l'utilisation des terres et des émissions au niveau mondial qui est rapportée à une grille du monde constituée de mailles géographiques de 0.5×0.5 degré[3] (par conséquent, les résultats concernant des territoires peu étendus ou des pays particuliers sont moins solides que ceux relatifs à des régions ou des pays de vaste superficie). La suite IMAGE est composée de modèles qui sont également cités en tant que modèles à part entière dans les publications, et elle a servi à produire d'autres évaluations environnementales importantes comme les rapports sur les perspectives mondiales en matière d'environnement (*Global Environment Outlooks* – GEO) du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Elle a aussi été développée et affinée depuis les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030* (OCDE, 2008), de sorte qu'elle est aujourd'hui mieux adaptée à l'analyse d'aspects comme les problèmes liés à l'eau, les zones protégées et le milieu marin.

Les grandes tendances socio-économiques à l'horizon 2050 (« Économie ») qui se dégagent du modèle ENV-Linkages ont servi à établir des projections des conséquences environnementales biophysiques (« Environnement ») à l'aide des modèles IMAGE, comme le montre le graphique 1.1. Des corrélations sont ainsi établies entre l'économie et l'environnement à travers l'énergie, l'agriculture et l'utilisation des terres. La modélisation de l'utilisation des terres et de la consommation d'énergie assure les principales connexions entre les modèles économique et biophysique. Puis, les projections biophysiques issues d'IMAGE sont utilisées dans ENV-Linkages pour définir les politiques et évaluer leurs conséquences économiques. Sur la base des flux de données entre ENV-Linkages et la suite IMAGE, on a établi les projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, ainsi que les simulations de politiques évoquées ci-après.

Graphique 1.1. **Principe de modélisation des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE***



Un seul scénario de référence, *des simulations multiples*

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* indique à partir de projections simplifiées à quoi pourrait ressembler le monde en 2050 si les évolutions et les politiques actuelles étaient maintenues et qu'aucune politique nouvelle n'était adoptée pour protéger l'environnement. Il ne prévoit pas d'évolution majeure des politiques qui influent sur les déterminants de la modification de l'environnement ou des pressions environnementales. Soulignons que le *scénario de référence* ne vise pas à donner une image du monde de demain (car de nouvelles politiques seront probablement adoptées dans les décennies à venir), mais à fournir une projection hypothétique des tendances en cours en l'absence de politiques nouvelles (voir le chapitre 2, encadré 2.1) qui permette de comparer différents scénarios.

Le *scénario de référence* reflète les tendances actuelles et les politiques en vigueur, par exemple les mesures relatives aux combustibles fossiles et aux énergies renouvelables, les programmes de soutien aux biocarburants ou encore les politiques de soutien à l'agriculture. Il suppose en outre la poursuite des tendances existantes en termes d'amélioration de l'efficience ou de la productivité, qui sont parfois le résultat de politiques et mesures antérieures. Différents exemples des types de tendances et de politiques pris en compte dans le *scénario de référence* sont présentés dans le tableau 1.1 et examinés plus avant dans les chapitres correspondants.

Comme le *scénario de référence* ne prévoit aucune mesure nouvelle, c'est celui qu'utilisent les *Perspectives* pour comparer des simulations sur modèle de nouvelles politiques. Les différences entre les projections du *scénario de référence* et ces simulations ont été analysées afin de mettre en lumière l'impact économique et environnemental des politiques en question. Les simulations effectuées ont un caractère illustratif plutôt que prescriptif. Elles indiquent le type et l'ampleur des réponses qui pourraient être attendues des politiques examinées, mais ne constituent pas nécessairement des recommandations en faveur de mesures spécifiques à entreprendre. Les lignes d'action simulées dans le cadre des présentes *Perspectives* sont récapitulées dans le tableau 1.2 et décrites de façon plus détaillée dans les chapitres correspondants et leurs annexes.

Tableau 1.1. **Exemples de politiques et de tendances existantes prises en compte dans le *scénario de référence***

Politiques actuelles susceptibles de se poursuivre jusqu'en 2050	Indicateurs du maintien des conditions existantes jusqu'en 2050
Évolutions socio-économiques (chapitre 2, et tous chapitres)	
■ Toutes les politiques influençant la croissance économique, dont les politiques du travail, les politiques budgétaires, les politiques commerciales, etc.	■ Démographie (accroissement de la population, vieillissement, urbanisation). ■ Amélioration de la productivité des facteurs. ■ PIB par habitant. ■ Modes d'utilisation des terres.
Changement climatique (chapitre 3)	
■ Politiques à l'égard des énergies fossiles et renouvelables, programmes de soutien aux biocarburants. ■ Systèmes d'échange de droits d'émission[1].	■ Émissions des activités industrielles, énergétiques et agricoles. ■ Concentration atmosphérique de gaz à effet de serre.
Biodiversité (chapitre 4)	
■ Désignation et conception des zones protégées. ■ Politiques de soutien à l'agriculture.	■ Perte d'abondance des espèces. ■ Rejets des activités industrielles, énergétiques et agricoles et des stations d'épuration.
Eau (chapitre 5)	
■ Investissement dans l'amélioration des infrastructures et de l'efficience de l'irrigation. ■ Investissement dans les infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement.	■ Cycles hydrologiques. ■ Rejets des activités industrielles, énergétiques et agricoles et des stations d'épuration.
Santé et environnement (chapitre 6)	
■ Investissement dans les infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement.	■ Charge de morbidité. ■ Rejets des activités industrielles, énergétiques et agricoles et des stations d'épuration.

1. À titre d'exemple, la phase 2 du Système européen d'échange de quotas d'émission (jusqu'en 2012) est en cours et donc incluse dans le *scénario de référence*. En revanche, la phase 3 n'est pas encore mise en œuvre et n'y figure donc pas, mais elle est prise en compte dans les simulations relatives aux futures politiques de lutte contre le changement climatique.

Portée géographique et temporelle

Ces *Perspectives* s'appuient sur une analyse des tendances mondiales à long terme (2050), mais visent aussi à indiquer les tendances et les mesures envisageables dans les pays de l'OCDE et les BRIICS. Les projections issues des modèles sont présentées à des niveaux d'agrégation ou pour des groupes de pays différents, selon l'intérêt qu'elles présentent pour les aspects étudiés. Les principaux groupes utilisés dans le rapport sont les pays de l'OCDE, les BRIICS, le reste du monde (RdM) et 15 regroupements régionaux. Ils figurent dans le tableau 1.3 qui montre aussi que les regroupements de pays dans les différents modèles sont équivalents. D'autres regroupements sont également utilisés dans différents chapitres pour illustrer des tendances particulières. Dans le chapitre sur le changement climatique, par exemple, les pays « de l'annexe 3.A » sont des pays industrialisés dont la liste est donnée à l'annexe I du protocole de Kyoto au titre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (voir le chapitre 3).

Diverses échéances se rapportant à des buts et des objectifs particuliers sont néanmoins présentées (2015, 2020, 2030, 2050, etc.). En ce qui concerne les projections relatives aux impacts du changement climatique et l'analyse des lignes d'action envisageables, l'horizon temporel passe à 2100. Dans certains chapitres, des mesures gouvernementales à moyen terme (par exemple, entre « aujourd'hui » et 2020 ou 2030) et à long terme (entre 2020 ou 2030 et 2050) sont comparées pour fournir des indications supplémentaires. Sauf mention contraire, l'année de référence est 2010.

Tableau 1.2. **Simulations de politiques effectuées dans les *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050***

Scénario et lieu	Variation des principales hypothèses par rapport au scénario de base
Tous chapitres	
450 base	■ Concentrations de GES limitées à 450 parties par million (ppm) à la fin du XXIe siècle. ■ Premières mesures d'atténuation en 2013, mais avec une flexibilité complète dans le temps et entre les sources et les gaz ; marché mondialisé du carbone.
Chapitre 3. Changement climatique	
450 action accélérée	■ Identique au scénario *450 base*, mais avec d'importants efforts de lutte contre le changement climatique entrepris avant 2030 (efforts « concentrés en début de période »).
450 action tardive	■ Identique au scénario *450 base*, mais les mesures d'atténuation sont limitées jusqu'en 2020 aux engagements pris par les pays à Copenhague et à Cancùn ; fragmentation des marchés du carbone jusqu'en 2020.
Réforme des subventions aux énergies fossiles seule	■ Élimination des subventions aux combustibles fossiles dans les pays en développement et émergents d'ici à 2020.
Réforme des subventions aux énergies fossiles plus 450	■ Combinaison du scénario *450 base* et du scénario de réforme isolée des subventions aux combustibles fossiles.
Chapitres 3 et 4. Changement climatique et biodiversité	
550 base	■ Identique au scénario *450 base*, sauf que l'objectif est fixé à 550 ppm à la fin du siècle.
550 bioénergies faibles	■ Stabilisation du climat, comme dans le scénario *550 base*, mais avec une plus faible part de bioénergies dans le bouquet énergétique.
450 base + utilisation des terres réduite	■ Stabilisation du climat comme dans le scénario *450 base*, mais en ajoutant l'amélioration de l'utilisation des terres, REDD comprise, aux options de lutte contre le changement climatique.
Chapitre 4. Biodiversité	
Expansion des zones terrestres protégées	■ Réalisation de l'objectif de 17 % de zones protégées pour chacune des 65 écorégions par souci de représentativité écologique
Chapitre 5. Eau	
Efficience des ressources	■ Identique au scénario *450 base*, mais avec une baisse de la demande d'eau pour la production hydroélectrique et une augmentation de la part des énergies renouvelables. ■ Hausse de 15 % supplémentaires de l'efficience de l'irrigation dans les pays non membres de l'OCDE. ■ Amélioration modeste de l'efficience de l'eau dans le secteur domestique et les industries manufacturières dans le monde.
Recyclage et réduction des nutriments	■ Baisse de 20 % des excédents d'azote (N) et de phosphore (P) de l'agriculture mondiale d'ici à 2050. ■ Baisse de 35 % de la teneur en éléments nutritifs des effluents d'ici à 2050
Chapitres 5 et 6. Eau, santé et environnement	
Accès accéléré	■ Scénario en deux étapes : *i)* réduire de moitié, d'ici 2030, le nombre de personnes n'ayant pas accès à une eau salubre et à un assainissement suffisant, en prenant pour année de référence l'année 2005, puis ; *ii)* parvenir à l'accès universel à une eau de meilleure qualité et à un assainissement suffisant en 2050.
Chapitre 6. Santé et environnement	
Réduction de 25 % de la pollution atmosphérique	■ Réduction de 25 % des oxydes d'azote (NO_x), du dioxyde de soufre (SO_2) et du carbone noir.

Note : Des explications plus détaillées sur les principales hypothèses qui sous-tendent les simulations de politiques figurent dans les chapitres correspondants et leurs annexes.

Tableau 1.3. **Régions et regroupements de pays utilisés dans les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050***

IMAGE 24 régions	ENV-Linkages 15 régions	Grandes régions
Canada	Canada	OCDE
États-Unis	États-Unis	
Mexique	Mexique	
Japon	Japon et Corée	
Corée		
Océanie	Océanie	
OCDE Europe	UE27 et AELE	
Europe centrale		
Brésil	Brésil	BRIICS
Inde[1]	Inde	
Indonésie	Indonésie	
Chine	Chine	
Afrique du Sud[1]	Afrique du Sud	
Russie	Russie	
Turquie	Reste de l'Europe	Reste du monde
Ukraine		
Afrique du Nord	Moyen-Orient et Afrique du Nord	
Moyen-Orient		
Afrique de l'Ouest	Reste du monde	
Afrique de l'Est		
Asie – pays en « -stan »		
Asie du Sud-Est		
Autres Amérique centrale		
Autres Amérique du Sud		

Note : Pour plus d'informations sur les régions et regroupements de pays, voir *www.oecd/environnement/perspectives2050*.

1. Dans le modèle IMAGE et dans le contexte de l'utilisation des terres, de la biodiversité, de l'eau et de la santé, l'Inde désigne la « région Inde », qui comprend aussi l'Afghanistan, le Bangladesh, le Bhoutan, les Maldives, le Népal, le Pakistan et le Sri Lanka. Pour les modélisations liées à l'énergie, cette région a en revanche été divisée, avec d'un côté l'Inde (le pays) et, de l'autre, le « reste de l'Asie du Sud ». Dans le même ordre d'idées, l'Afrique australe englobe la République sud-africaine et dix autres pays de cette région dans le cadre du traitement de l'utilisation des terres, de la biodiversité, de l'eau et de la santé, mais la région a été divisée entre l'Afrique du Sud et le « reste de l'Afrique australe » pour les modélisations liées à l'énergie.

Prise en compte des incertitudes

Toute démarche qui consiste à établir des projections à l'aide de modèles doit être empreinte d'une bonne dose d'humilité, notamment lorsqu'il s'agit de projections sur plusieurs décennies. Cela vaut bien évidemment aussi pour ces *Perspectives de l'environnement*. Beaucoup de mécanismes qui déterminent la croissance économique et les pressions environnementales à long terme sont encore mal connus. De ce fait, des incertitudes entourent les données de base et les liens entre facteurs de modification et pressions environnementales retenus dans les hypothèses de modélisation (encadré 1.3). Il peut aussi se produire des chocs, par exemple des crises économiques profondes ou prolongées (voir chapitre 2, encadré 2.2) ou des catastrophes naturelles qui ne peuvent être prévus ou pris en compte dans ces projections à long terme. D'autres incertitudes ont trait aux connaissances scientifiques, en particulier concernant de possibles seuils écologiques ou seuils de basculement, dont on ignore où ils se situent.

Cela étant, ces incertitudes ne doivent pas forcément être envisagées comme un handicap. Dans ces *Perspectives*, on s'efforce au contraire de les accepter pleinement en sachant qu'elles peuvent contribuer à mieux mettre en lumière les interactions entre l'économie et l'environnement et à repérer les domaines qui appellent de nouvelles études

Encadré 1.3. **Importantes causes d'incertitude dans le contexte des modélisations**

Incertitude inhérente aux paramètres des modèles. Les paramètres des modèles sont estimés ou étalonnés sur la base de sources empiriques. Il existe donc une incertitude statistique concernant leur valeur. Pour traiter cette incertitude, on examine fréquemment l'impact de faibles variations des paramètres sur les résultats du modèle en procédant à des analyses de sensibilité. Celles-ci montrent souvent que, si les résultats *quantitatifs* du modèle peuvent varier en cas de révision des paramètres, les résultats *qualitatifs* et les conclusions qui en sont tirées sont beaucoup plus difficiles à infirmer.

Incertitude inhérente aux déterminants. Les résultats d'un modèle se fondent nécessairement sur des projections des déterminants futurs, comme les évolutions démographiques et les progrès technologiques. L'incertitude inhérente aux déterminants est une cause directe d'incertitude des projections issues du modèle. Pour l'étude d'un programme particulier de politiques publiques, on peut restreindre la fourchette d'incertitude en se focalisant sur les variantes clés d'une situation de base (le *scénario de référence*) qui sont les plus importantes pour les enjeux à analyser. Un point de départ consisterait à examiner les variations des principaux déterminants du *scénario de référence*. Par exemple, l'édition 2008 des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* a examiné les variations de la productivité globale des pays. Si l'on se concentre sur les différences ou les variations relatives entre les projections de référence et les simulations de politiques, plutôt que sur les niveaux absolus, les résultats sont moins sensibles aux projections de référence effectives.

Incertitude inhérente à la structure du modèle. De nombreuses théories peuvent servir à construire la structure d'un modèle. Un choix est fait parmi des paradigmes analytiques qui correspondent à différentes écoles de pensée. Le modèle d'équilibre général calculable (MEGC) utilisé ici est un outil analytique couramment employé pour appréhender les phénomènes économiques. Dans la pratique, une validation en bonne et due forme représente un travail considérable qu'il n'est pas possible de mener dans le cadre de ces *Perspectives*. Les projections sont subordonnées à ces choix de modèle. Cette source d'incertitude est plus susceptible de modifier les résultats qualitatifs : des modèles différents donnent des résultats différents.

pour étoffer les connaissances. Tous les chapitres thématiques de ces *Perspectives* présentent les incertitudes en rapport avec le thème correspondant et leurs implications possibles sur l'action des pouvoirs publics.

Lorsqu'il y a lieu, les projections de référence des *Perspectives de l'environnement* sont comparées à d'autres scénarios établis à l'aide de modèles qui sont présentés dans les publications spécialisées. Lorsque les différents modèles utilisés dans les *Perspectives* ont traité les mêmes questions (les émissions de GES par exemple, modélisées dans ENV-Linkages et IMAGE), les résultats de chaque modèle sont comparés et examinés. La comparaison des résultats de différents cadres de modélisation permet de mieux cerner les différences entre modèles et de déterminer des fourchettes d'estimations. Par ailleurs, pour traiter les incertitudes au sujet de la faisabilité de certaines lignes d'action possibles (en termes de soutien politique et d'adhésion du public, de possibilités technologiques ou de coûts), différentes variantes de ces lignes d'action sont simulées, comme dans le chapitre 3 sur le changement climatique.

3. Structure du rapport

Le chapitre 2 qui suit cette introduction présente les facteurs économiques sous-jacents des modifications de l'environnement, examinées ensuite dans les chapitres thématiques. Il commence par décrire les principaux déterminants socio-économiques du développement économique et de l'évolution de l'environnement jusqu'en 2050, parmi lesquels la dynamique des populations, les marchés du travail, l'urbanisation et la croissance économique. Il analyse aussi les évolutions économiques qui se répercutent le plus directement sur l'environnement, à savoir celles qui touchent le secteur de l'énergie et l'utilisation des terres.

Les quatre chapitres suivants sont consacrés aux grands défis environnementaux : changement climatique (chapitre 3), biodiversité (chapitre 4), eau (chapitre 5), et santé et environnement (chapitre 6). Chacun d'eux examine les grandes tendances environnementales et les projections de référence à l'horizon 2050, c'est-à-dire ce que l'avenir pourrait nous réserver en l'absence de nouvelles politiques. Certains aspects font l'objet de modélisations, d'autres d'un traitement qualitatif. Le rapport entre traitement quantitatif et traitement qualitatif varie selon les chapitres, en fonction de la disponibilité de données et des limites inhérentes au cadre de modélisation. Lorsque c'est possible, les coûts de l'inaction face aux problèmes d'environnement considérés sont analysés sur la base des informations disponibles dans les publications spécialisées.

Chaque chapitre fait ensuite le point des solutions possibles et des progrès accomplis récemment dans le domaine en question, avant d'indiquer les mesures complémentaires requises et les éventuels enjeux nouveaux. Les résultats des simulations de politiques sont présentés à l'appui de la description des lignes d'action envisageables. Des exemples précis par pays sont également donnés lorsque c'est possible. Au début de chaque chapitre, un encadré contenant les messages clés résume les principaux résultats et les lignes d'action envisageables.

En fin de rapport, l'annexe A sur le cadre de modélisation complète les explications sur la méthodologie employée pour établir ces *Perspectives de l'environnement*, présentant d'autres précisions techniques sur le cadre de modélisation appliqué. Pour une description détaillée des hypothèses de modélisation retenues dans les simulations de politiques, on se reportera aussi à l'annexe de chaque chapitre. En outre, des rapports techniques accompagnent ces *Perspectives* sous la forme de *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*.

Notes

1. L'édition 2008 des *Perspectives de l'environnement* (OCDE, 2008) avait pour horizon 2030 et abordait un plus large éventail de questions environnementales et de facteurs de modification de l'environnement que la présente édition. Cependant, les ministres de l'Environnement de l'OCDE lui ont demandé de se concentrer sur les quatre défis signalés comme des « feux rouges ». En outre, les projections s'étendent dans cette édition jusqu'en 2050 et tiennent compte des progrès récents de l'action face à ces quatre défis aux niveaux international et national. Les modèles utilisés pour les analyses présentées dans ces *Perspectives* ont été affinés et actualisés.
2. Depuis l'édition 2008 des *Perspectives de l'environnement* (OCDE, 2008), le modèle ENV-Linkages a été développé et affiné dans l'optique de l'analyse présentée dans l'ouvrage *Économie de la lutte contre le changement climatique* (OCDE, 2009), qui évalue l'efficacité et les coûts économiques de différentes mesures et panoplies de mesures destinées à réduire les émissions mondiales de gaz à effet de serre. Plus récemment, il a été de nouveau affiné à l'appui des travaux de modélisation de l'élimination des combustibles fossiles, demandés en 2009 à l'issue du Sommet du G20 à

Pittsburgh. Pour ces *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050*, ENV-Linkages a été encore développé, affiné et actualisé (par exemple au moyen de données plus récentes sur l'activité économique et la consommation énergétique, et par la prise en compte de la crise économique de 2008-09, voir le chapitre 2).

3. Degrés de latitude et de longitude à la surface de la Terre.

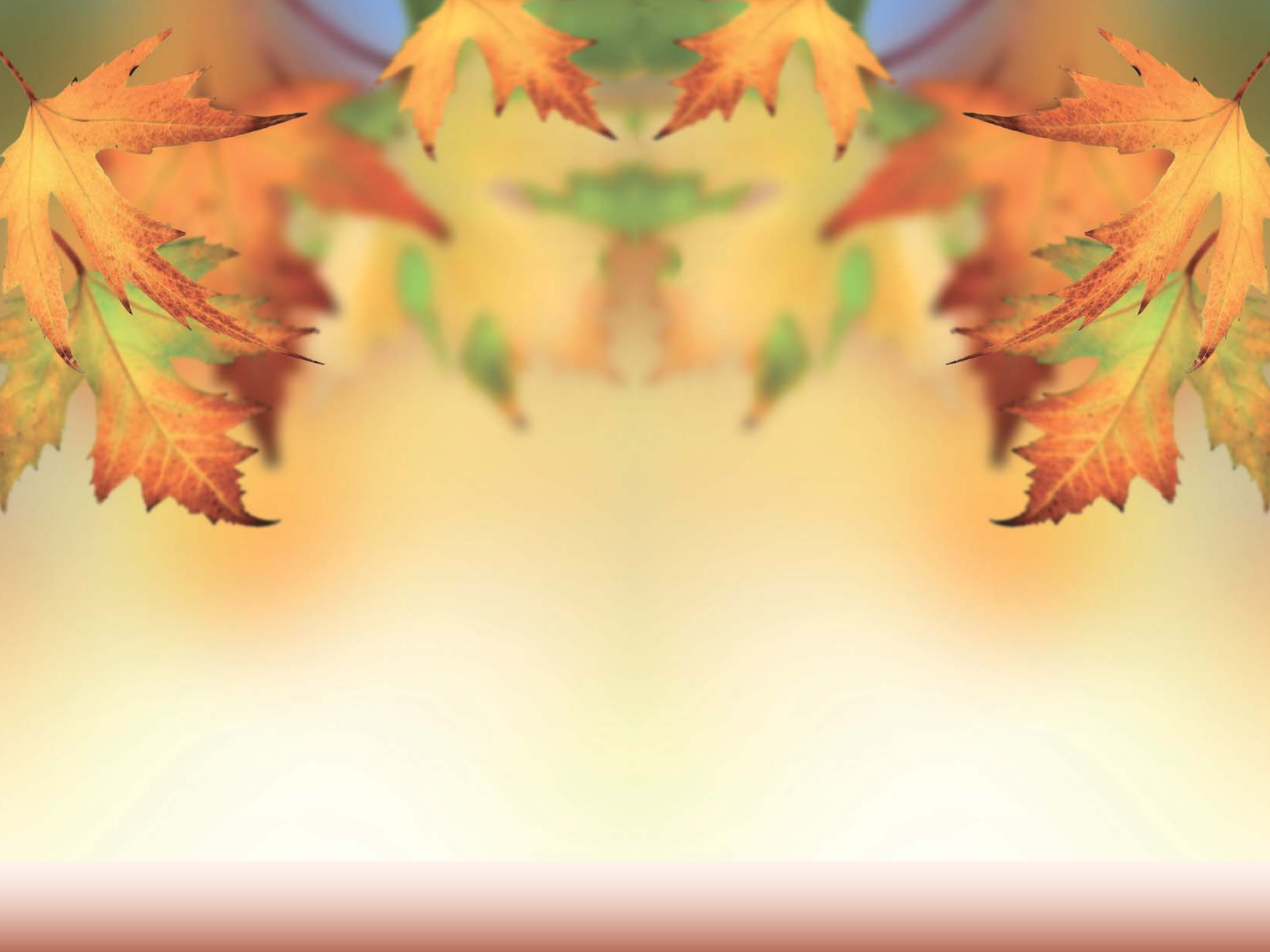
Références

OCDE (2001), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264288560-fr*.

OCDE (2008), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264040502-fr*.

OCDE (2009), *Économie de la lutte contre le changement climatique : Politiques et options pour une action globale au-delà de 2012*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264073913-fr*.

OCDE (2011), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264111332-fr*.



© OCDE 2012

Chapitre 2

Évolutions socio-économiques

par
Rob Dellink, Ton Manders (PBL), Jean Chateau, Bertrand Magné,
Detlef van Vuuren (PBL), Anne Gerdien Prins (PBL)

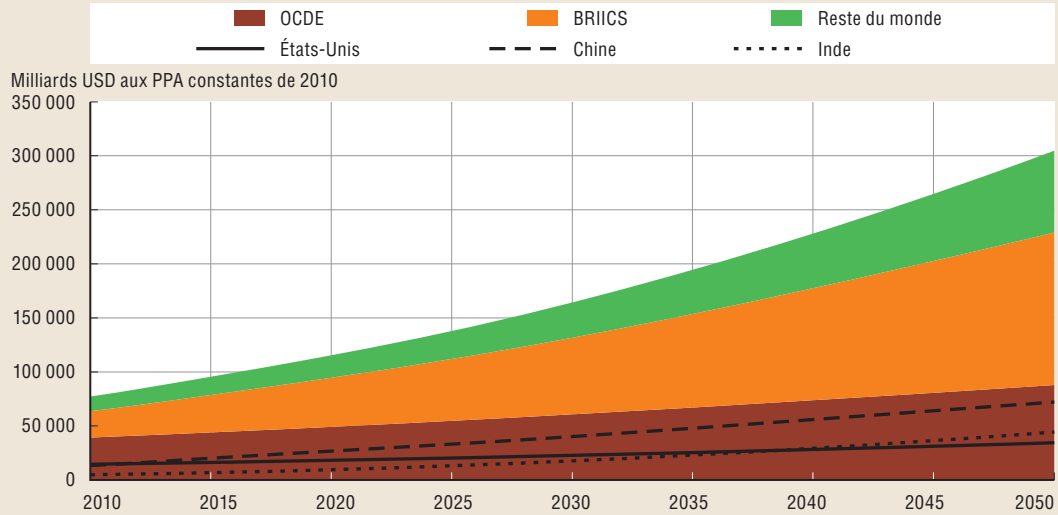
Après une description des évolutions démographiques actuelles et des projections correspondantes du scénario de référence *(concernant notamment la croissance et la structure de la population, y compris le vieillissement, et l'urbanisation), ce chapitre expose les tendances et les projections économiques, en particulier la croissance économique (PIB, consommation, composition sectorielle) et ses facteurs que sont le travail et le capital. Ces projections tablent sur une convergence conditionnelle progressive des niveaux de revenu par tête des différents pays. Dans la dernière section sont examinés deux aspects qui relient directement les tendances économiques aux pressions environnementales : l'utilisation de l'énergie (mix énergétique entre énergies fossiles, renouvelables et nucléaire) et l'utilisation des terres (en particulier agricoles). Les principales évolutions socio-économiques projetées dans ce* scénario de référence *des* Perspectives de l'environnement *servent de base aux projections environnementales des autres chapitres. Dans ce chapitre, les projections mondiales sont organisées par grands ensembles géographiques, ou régions : les pays de l'OCDE, les économies émergentes – à savoir le Brésil, la Russie, l'Inde, l'Indonésie, la Chine et l'Afrique du Sud (les BRIICS) – et le reste du monde.*

MESSAGES CLÉS

Ce chapitre décrit l'évolution probable de la démographie, du taux d'activité, de l'urbanisation, de l'énergie et de l'utilisation des terres d'ici à 2050 à politiques inchangées. Les principales évolutions socio-économiques projetées dans ce *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* servent de base aux projections environnementales des autres chapitres des *Perspectives*. Le constat global est que le *scénario de référence* (le « *statu quo* ») n'est pas une trajectoire de développement viable à long terme : les pressions sur l'environnement sont très fortes, et les coûts considérables.

- Le **produit intérieur brut (PIB) mondial**, selon les projections, devrait pratiquement quadrupler au cours des quarante prochaines années, dans le prolongement de la tendance des quarante dernières années. En 2050, la part de la zone OCDE dans l'économie mondiale devrait tomber à moins de 32 % contre 54 % en 2010, alors que celle du Brésil, de la Russie, de l'Inde, de l'Indonésie et de l'Afrique du Sud (les BRIICS) devrait dépasser les 40 %. Les États-Unis, jusqu'ici première puissance économique mondiale en PIB mesuré en parité de pouvoir d'achat (PPA), devraient être devancés par la Chine aux alentours de 2012. Le PIB de l'Inde devrait dépasser celui des États-Unis avant 2040. La croissance moyenne du PIB de la Chine et de l'Inde, les deux actuels « moteurs » de la croissance mondiale, devrait ralentir d'ici à 2050, tout en restant cependant bien supérieure à celle de la zone OCDE. D'après le *scénario de référence*, l'Afrique affichera des taux de croissance économique élevés entre 2030 et 2050, mais demeurera néanmoins le continent le plus pauvre.

Projections du produit intérieur brut réel : *scénario de référence*, 2010-2050



Note : Calculé sur la base des parités de pouvoir d'achat (PPA) constantes de 2010.

Source : *Scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593610

- La démographie connaîtra des évolutions très variables selon les régions et les pays. En 2050, la **population mondiale** devrait compter 2.2 milliards de personnes de plus et s'établir à pratiquement 9.2 milliards. Cette croissance sera principalement le fait de l'Asie du Sud, du Moyen-Orient et de l'Afrique. Le vieillissement de la population concerne toutes les régions du monde, et surtout la Chine et les pays de l'OCDE.
- **L'urbanisation** va s'accentuer. En 2050, les zones urbaines devraient compter 2.8 milliards d'habitants supplémentaires et abriter ainsi près de 70 % de la population mondiale. La population rurale devrait, selon les projections, diminuer de 0.6 milliard. L'urbanisation présente à la fois des avantages et des

inconvénients : la concentration de la population permet d'assurer plus facilement l'accès aux infrastructures modernes d'eau et d'énergie, mais elle s'accompagne aussi d'une augmentation des niveaux d'exposition à la pollution atmosphérique locale et d'une possible dégradation des conditions de vie dans les bidonvilles, avec de graves conséquences pour la santé humaine.

- D'après le *scénario de référence*, la demande mondiale d'**énergie** devrait dépasser de 80 % son niveau actuel en 2050. Le mix énergétique mondial devrait être sensiblement le même qu'aujourd'hui, avec près de 85 % d'énergies fossiles, un peu plus de 10 % d'énergies renouvelables (incluant la biomasse utilisée comme source d'énergie hors usage de biomasse traditionnelle), le reste étant d'origine nucléaire. Parmi les combustibles fossiles, il est difficile de dire lequel, du charbon ou du gaz naturel, contribuera le plus au surcroît d'offre énergétique.
- Au niveau mondial, la superficie des **terres** agricoles devrait progresser au cours des dix prochaines années en réponse à l'augmentation des besoins en nourriture d'une population toujours plus nombreuse, d'où une intensification de la concurrence entre les différentes utilisations des sols. La superficie des terres agricoles devrait culminer en 2030 puis diminuer par la suite, sous l'effet du ralentissement de la croissance démographique et de l'amélioration continue des rendements agricoles. La déforestation connaît déjà un ralentissement, et cette tendance devrait se poursuivre, en particulier après 2030, les besoins en nouvelles terres agricoles allant décroissant.

1. Introduction

Ce chapitre décrit les principaux déterminants socio-économiques expliquant le changement environnemental et les problèmes associés : la croissance économique, la démographie, le taux d'activité, l'urbanisation, l'énergie et l'utilisation des terres. Tous ces facteurs ont été caractérisés dans le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* afin de voir comment les choses pourraient évoluer d'ici à 2050 si aucune nouvelle politique n'est mise en place.

Le chapitre commence par décrire les évolutions démographiques actuelles et les projections du *scénario de référence* (concernant notamment la croissance et la structure de la population et l'urbanisation, voir l'encadré 2.1). Il décrit ensuite les tendances et les projections économiques. Ces projections tablent sur une convergence progressive des niveaux de revenu entre les pays (encadré 2.3)[1]. La section finale est consacrée à deux facteurs à travers lesquels les évolutions économiques influent directement sur les pressions environnementales : l'utilisation de l'énergie et l'utilisation des terres.

Encadré 2.1. **Une projection n'est pas une prévision**

Le *scénario de référence* n'est pas une prévision des évolutions futures (chapitre 1). Il définit les évolutions possibles pour plusieurs variables économiques et environnementales clés en partant des tendances actuelles et d'une série d'hypothèses sur l'avenir. Dans le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, on pose le principe qu'il n'y a pas de nouvelle politique environnementale face aux problèmes évoqués dans les *Perspectives* ; en revanche le scénario intègre implicitement un certain nombre d'autres mesures d'action publique dans les projections des variables clés. Il constitue donc un point de repère par rapport auquel on pourra évaluer les scénarios des politiques destinées à améliorer la qualité environnementale pour les aspects étudiés.

Pressions environnementales, coût de l'inaction et croissance verte

Dans la projection du *scénario de référence* présentée dans les *Perspectives*, l'environnement est soumis à de fortes pressions. Comme nous le verrons ici et dans les chapitres qui suivent, ces pressions représentent des risques et des coûts non négligeables, qui pourraient compromettre le capital naturel sur lequel repose la croissance économique. Pour cette raison, le *scénario de référence* ne peut être considéré comme une trajectoire de développement viable à long terme.

Même si la nature de ces effets sur l'environnement reste incertaine, l'inaction face aux pressions environnementales et la non prise en compte des incidences environnementales de l'activité économique auraient des conséquences majeures. L'OCDE (2008a) a dressé un bilan global du coût de l'inaction face aux principaux problèmes environnementaux comme le changement climatique, la pollution des eaux et les problèmes sanitaires liés à

l'environnement. Il ressort de ce travail que : *i)* « la définition et la mesure du coût de l'inaction sont des opérations complexes », particulièrement en ce qui concerne les incidences environnementales intangibles ; et que *ii)* « malgré les difficultés rencontrées en matière de mesure, les études publiées montrent très clairement que les coûts de l'inaction des pouvoirs publics dans certains domaines de l'environnement peuvent être considérables ». Chacun des chapitres thématiques de ces *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050* traite des conséquences d'une projection *de référence* sans politique nouvelle, et estime les coûts de l'inaction en fonction des informations contenues dans les études publiées.

Si notre évaluation incluait dans leur intégralité les coûts de l'inaction face aux principaux problèmes environnementaux, le PIB futur serait encore inférieur à la projection du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* que nous allons voir. De même, peut-être les avantages des actions sur l'environnement sont-ils sous-estimés. Pour ce qui est des conséquences physiques de l'inaction, l'analyse des *Perspectives* rend compte des relations entre les pressions environnementales et leurs incidences indirectes sur d'autres problèmes environnementaux. Par exemple, les modifications des régimes de températures et de précipitations dues au changement climatique ont un impact sur la productivité de l'agriculture. Il en résulte un accroissement des besoins en terres arables et des pressions sur les zones boisées, ce qui risque d'accroître la perte de biodiversité. Dans le *scénario de référence*, c'est-à-dire à politiques inchangées, le risque existe que soient franchis certains seuils biophysiques ou points de non-retour, ce qui entraînerait d'autres dégâts non linéaires de grande ampleur (systémiques) et irréversibles (voir chapitre 3, section 2 ; chapitre 4, encadré 4.1).

Il est clair qu'il faut passer à un modèle de croissance plus « verte » (OCDE, 2011) pour éviter que les évolutions socio-économiques évoquées dans ce chapitre n'entraînent des conséquences environnementales incontrôlables. Dans les chapitres suivants des *Perspectives*, nous verrons comment opérer ces transitions vers un modèle de croissance plus verte.

2. Grandes tendances et projections

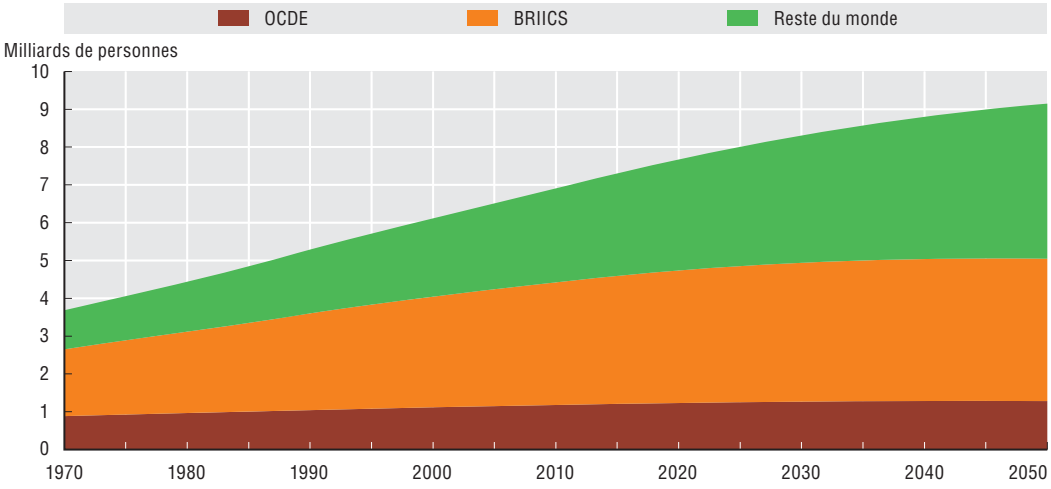
Démographie

La dynamique démographique a un impact déterminant sur l'environnement à l'échelle locale et mondiale. L'accroissement de la population se traduit par une augmentation de la consommation de ressources naturelles et de l'utilisation des terres et impose des pressions accrues à l'environnement. L'évolution des niveaux de vie et de la pyramide des âges a également des répercussions sur le mode de vie, les habitudes de consommation et l'alimentation, autant de facteurs qui peuvent avoir des conséquences pour l'environnement. Les proportions respectives de séniors et de jeunes ont aussi un impact sur le marché du travail, qui est l'un des principaux déterminants de la croissance économique avec le progrès technologique, la valorisation des ressources humaines et l'accumulation de capital physique. Dans cette section, nous verrons l'évolution projetée dans le *scénario de référence* de certains de ces facteurs jusqu'en 2050.

Croissance et structure de la population

La population mondiale, inférieure à 4 milliards en 1970, s'élève aujourd'hui à 7 milliards (graphique 2.1). D'après les projections de l'ONU, en 2050, elle sera proche de 9.2 milliards – soit une augmentation de 2.2 milliards de personnes[2].

Graphique 2.1. **Population mondiale par grandes régions, 1970-2050**



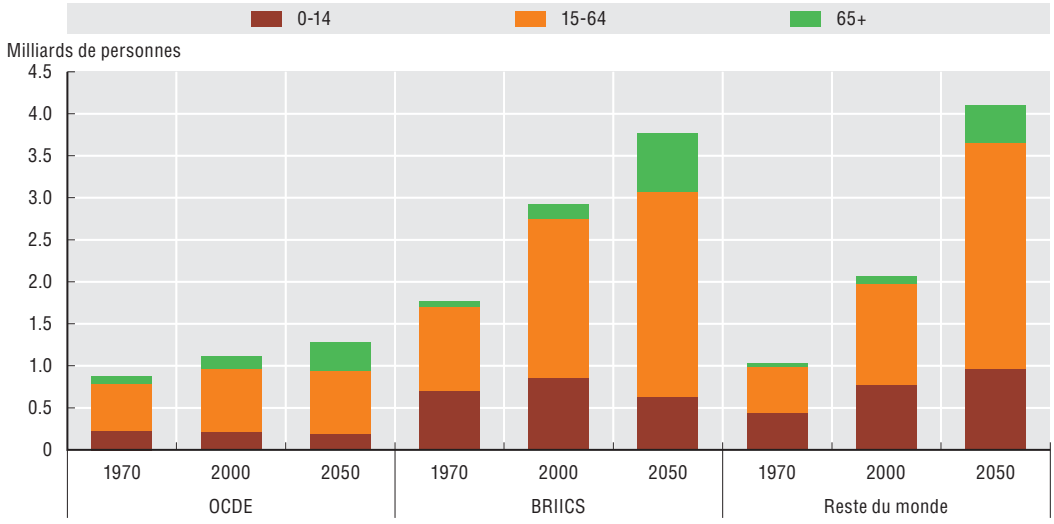
Source : D'après ONU (2009), *World Population Prospects: The 2008 Revision*, ONU, New York.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593515

Les projections démographiques jusqu'en 2050 présentent des différences importantes entre pays et régions. Dans les pays de l'OCDE, les taux de croissance démographiques sont faibles (0.2 % par an en moyenne entre 2010 et 2050). Certains pays européens, le Japon ou encore la Corée font même face à un déclin démographique. En revanche, l'immigration dans des pays tels que les États-Unis ou le Canada, permettra de soutenir leur accroissement démographique. Dans les BRIICS (Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud), la population devrait, selon les projections, s'accroître à un taux moyen de 0.4 % par an ; précisons que la croissance démographique sera plus élevée en Inde, alors qu'en Russie elle devrait être négative. Pendant les décennies à venir, la majeure partie de la croissance démographique (1.3 % par an en moyenne) ne sera pas imputable aux BRIICS mais aux pays du groupe « reste du monde » (RdM). La croissance au sein de ce groupe devrait être plus dynamique en Afrique et en Asie du Sud qu'en Amérique latine.

Le graphique 2.2 illustre le vieillissement de la population dans les pays de l'OCDE depuis 1970 : la proportion d'enfants dans la population totale a régulièrement diminué, alors que celle de personnes âgées a augmenté. Les chiffres récents de taux de fertilité et d'espérance de vie semblent indiquer que des tendances similaires se dessinent en Russie et en Chine. Selon les projections des Nations Unies (2009), ce phénomène ne se présentera réellement dans le groupe RdM qu'à partir de 2030. Le vieillissement de la population entraîne des modifications des modes de vie et de consommation et réduit le potentiel de main-d'œuvre (voir le graphique 2.7 ci-après). Le vieillissement a aussi des implications sur les services de santé et d'autres services. En général, ces tendances induisent une augmentation plus que proportionnelle de la demande de ces services (voir également ci-après la section sur la structure sectorielle de l'économie).

Graphique 2.2. **Population mondiale par classe d'âge, 1970-2050**



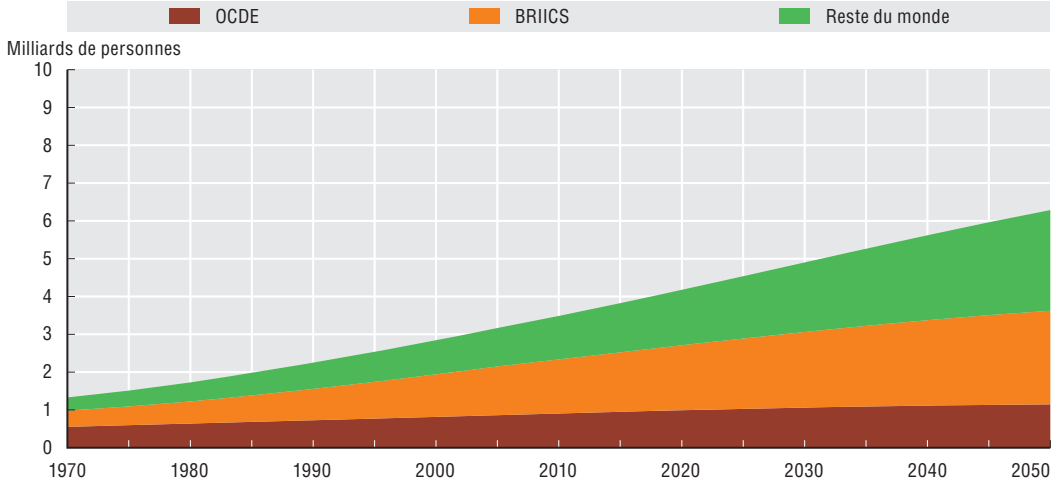
Source : D'après ONU (2009), *World Population Prospects: The 2008 Revision*, ONU, New York.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593534

Urbanisation

La population mondiale est de plus en plus urbaine (graphique 2.3). En 1970, 1.3 milliard de personnes, soit 36 % de la population mondiale, vivaient en milieu urbain. En 2009, cette proportion a atteint 50 %. Ce chiffre devrait continuer d'augmenter dans les prochaines décennies pour atteindre près de 70 % en 2050 (ONU, 2010). Cela représente une augmentation de 2.8 milliards de personnes jusqu'en 2050, ce qui signifie que la croissance de la population mondiale (plus de 2.2 milliards de personnes) prévue entre 2010 et 2050 devrait être intégralement absorbée par les zones urbaines. Pendant la même période, les zones rurales devraient perdre 0.6 milliard de personnes. Cette urbanisation de la population devrait être inégalement répartie à travers le monde. Dans les pays de l'OCDE,

Graphique 2.3. **Population urbaine par région, 1970-2050**



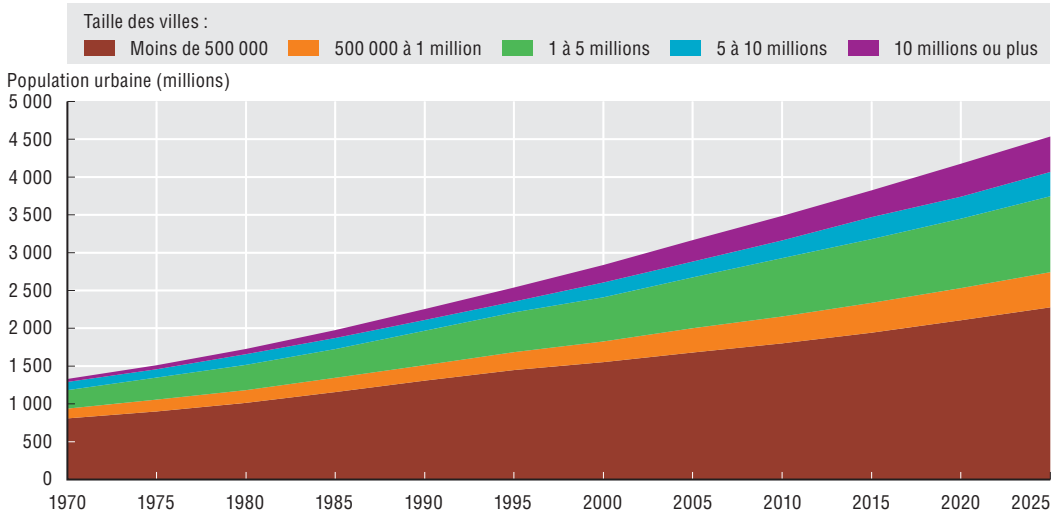
Source : D'après ONU (2010), *World Urbanization Prospects: The 2009 Revision*, ONU, New York.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593553

la population urbaine devrait atteindre 86 % de la population totale en 2050. En Afrique subsaharienne, l'une des régions les moins urbanisées, qui en 2010 comptait environ 37 % d'urbains, 60 % de la population devraient vivre en ville en 2050.

D'après les projections, la démographie devrait être plus dynamique dans les petits centres urbains (moins de 500 000 habitants) que dans les autres zones urbaines (graphique 2.4). Cette tendance projetée diffère de celle observée au cours des dernières décennies, durant lesquelles les mégapoles de plusieurs millions d'habitants ont connu la plus forte croissance (ONU-Habitat, 2006).

Graphique 2.4. **Répartition de la population urbaine mondiale selon la taille des villes, 1970-2025**



Source : ONU (2010), *World Urbanization Prospects: The 2009 Revision*, ONU, New York.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593572

Pour l'environnement, l'urbanisation est porteuse de conséquences aussi bien favorables que défavorables. Côté positif, jusqu'à un certain point, la concentration d'activités dans les zones urbaines permet des économies d'échelle et une plus grande facilité d'interactions : l'urbanisation peut stimuler la croissance économique. La concentration de la population facilite généralement l'accès à des services d'approvisionnement en eau et en énergie *via* des infrastructures modernes et efficaces. Pour ce qui est des conséquences négatives, la concentration des activités économiques peut aussi aggraver la pollution atmosphérique locale (chapitre 6). L'urbanisation doit également s'accompagner de politiques des transports adaptées afin d'éviter d'importants dysfonctionnements du système de transports ; la congestion du trafic peut nuire à l'environnement. De plus, à l'échelle mondiale, un citadin sur trois – soit un milliard de personnes environ – vit dans un bidonville (ONU-Habitat, 2003 et 2006). Les bidonvilles urbains – caractérisés par des logements de mauvaise qualité et dépourvus de services de distribution d'eau, d'assainissement et de gestion des déchets – ont des effets nuisibles sur la santé humaine et l'environnement. L'urbanisation pourrait amplifier ces effets, à moins que ne soient mises en place des politiques d'urbanisation et de gestion de l'environnement plus exigeantes. Cela est d'autant plus vrai que le nombre d'habitants des bidonvilles pourrait s'accroître, malgré l'augmentation projetée des niveaux moyens de PIB.

Croissance économique

La croissance économique et l'augmentation du revenu par habitant, si elles passent par une utilisation accrue de ressources naturelles, pourraient aggraver les pressions environnementales. Mais grâce à d'autres relais de croissance, tels que le progrès technique et le relèvement du niveau d'éducation et de qualifications de la main-d'œuvre, il est possible de découpler les pressions environnementales de la croissance économique. Dans cette optique, on examinera la croissance projetée de l'économie mondiale pendant les quarante prochaines années, les facteurs déterminants de cette croissance ainsi que ses conséquences.

Quelle sera la croissance jusqu'en 2050, où sera-t-elle localisée ?

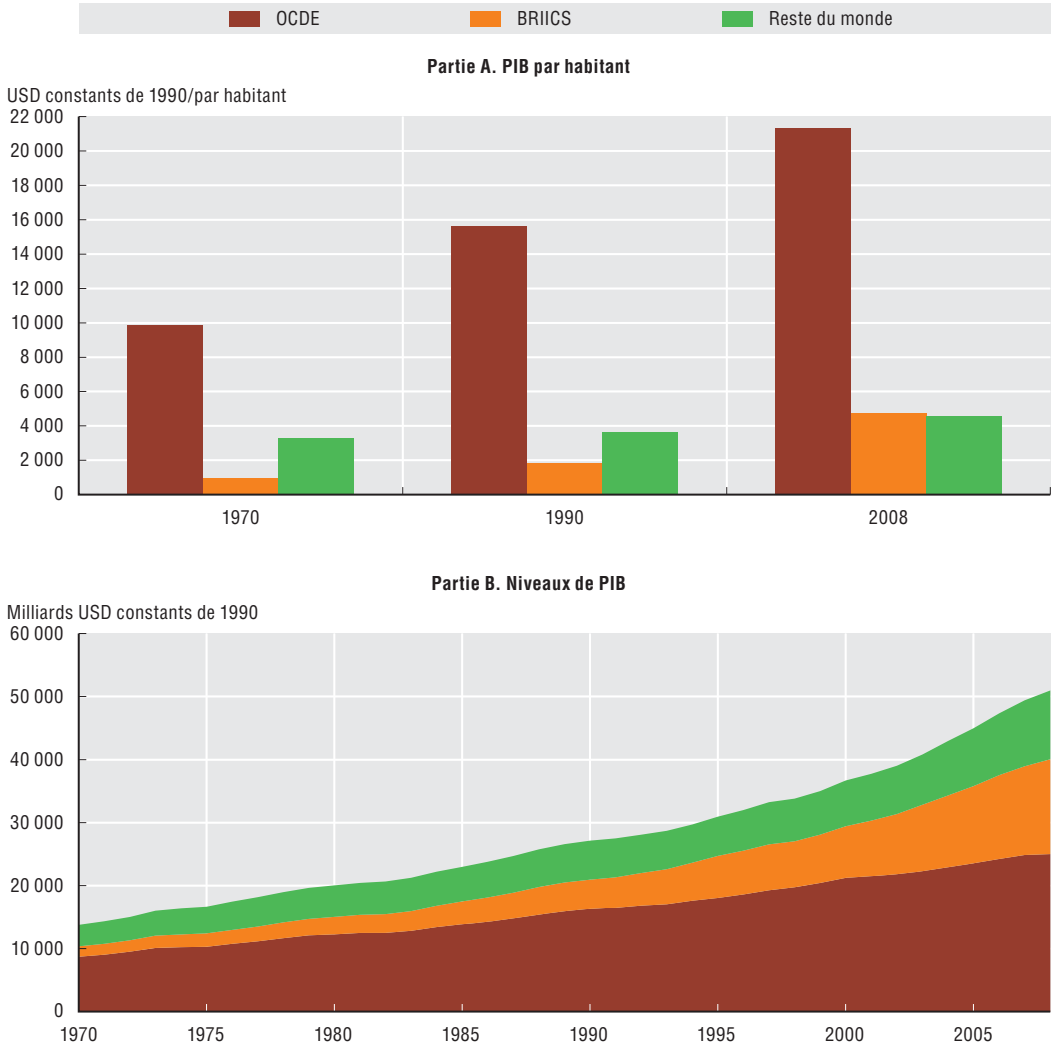
L'économie mondiale, mesurée en termes de produit intérieur brut (PIB), a pratiquement triplé depuis quarante ans[3]. Dans les décennies à venir, la croissance économique mondiale devrait poursuivre cette tendance historique, mais sa répartition entre les pays devrait être sensiblement différente. Jusqu'à la fin du XXe siècle, les pays de l'OCDE représentaient l'essentiel de l'activité économique mondiale (graphique 2.5) et leurs niveaux de PIB par habitant étaient nettement supérieurs à ceux des autres régions. Entre 1990 et 2008, le PIB par habitant des BRIICS a progressé au rythme soutenu de 5.4 % de croissance moyenne annuelle, soit plus de trois fois celui enregistré dans la région OCDE. La croissance rapide des BRIICS a peu à peu modifié le poids des différents acteurs dans l'économie mondiale. En 2050, la part de l'activité économique mondiale issue des BRIICS devrait, selon les projections, dépasser 40 % (graphique 2.6). En 2050, la part de la zone OCDE dans l'économie mondiale devrait descendre à moins de 32 %, contre 54 % en 2010[4]. L'économie des États-Unis, qui reste encore la première du monde par son PIB en parité de pouvoir d'achat (PPA), sera, d'après les projections, dépassée par celle de la Chine vers 2012 alors que le PIB Indien devrait dépasser celui des États-Unis avant 2040. Pour des PIB mesurés au taux de change de marché, les États-Unis conservent toutefois le niveau le plus élevé (Chateau *et al.*, 2011).

La crise financière de 2008 a entraîné une récession de l'économie mondiale en 2009 et des perspectives incertaines pour les années à venir. La modeste reprise observée dans les pays de l'OCDE, conjuguée à la croissance à presque deux chiffres de certaines grandes économies émergentes – Chine et Inde en particulier – a permis à l'économie mondiale de retrouver un taux de croissance d'un peu moins de 5 % en 2010. L'encadré 2.2 porte sur les relations entre les chocs économiques et les pressions environnementales. Les projections du *scénario de référence* ne prévoient cependant pas de tels chocs ; elles présentent des tendances de croissance de long terme et non de court terme, ces dernières comprenant une marge d'incertitude élevée.

Le PIB mondial réel progresse de 3.5 % par an en moyenne entre 2010 et 2050 (tableau 2.1). Il devrait ainsi presque quadrupler au cours de cette période. Cette évolution poursuit la tendance observée par le passé (1970-2008) où le taux de croissance mondial moyen était d'environ 3.6 % (Maddison, 2010).

Ces dernières années, la Chine et l'Inde ont largement contribué à l'expansion économique mondiale, mais leurs taux de croissance devraient se tasser dans les décennies à venir, à mesure que les déterminants de la croissance (parmi lesquels l'offre de capital et le capital humain, valorisé grâce à une éducation plus performante) vont converger vers ceux des pays de l'OCDE (voir l'annexe 2.A et la section consacrée ci-après aux déterminants de la croissance). Le ralentissement attendu s'explique aussi par

Graphique 2.5. **Produit intérieur brut réel par habitant et total, 1970-2008**



Note : Taux de change de 1990.

Source : Calculs OCDE, d'après Maddison (2010), *Statistics on World Population, GDP and Per Capita GDP, 1-2008 AD*, Université de Groningue, *www.ggdc.net/MADDISON/oriindex.htm*.

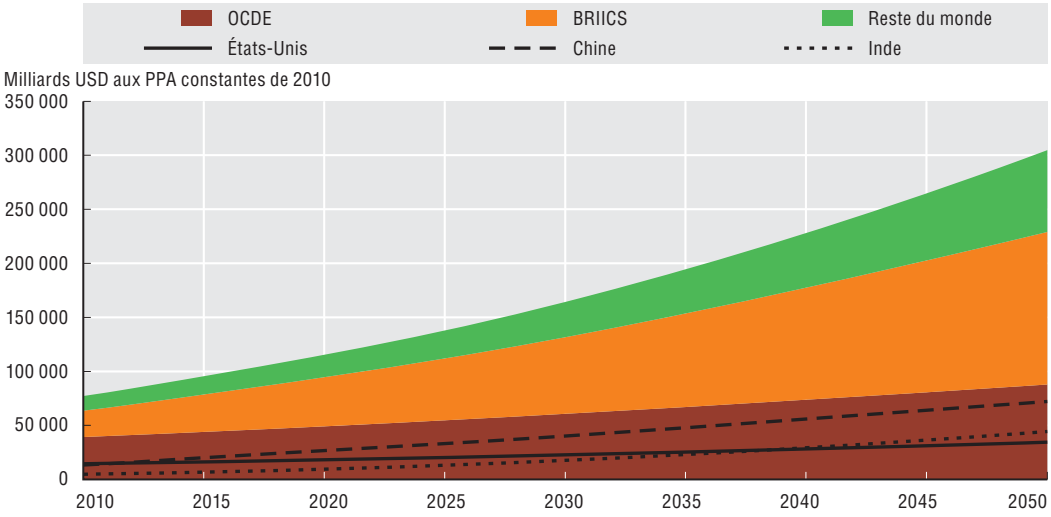
StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593591

d'importantes tendances démographiques structurelles telles que le vieillissement en Chine. Selon les projections, l'économie chinoise resterait la plus importante mais la croissance devrait se révéler plus dynamique dans d'autres pays asiatiques tels que l'Inde ou l'Indonésie (tableau 2.1).

Entre 2030 et 2050, la croissance en Afrique subsaharienne (incluse ici dans le groupe « reste du monde ») devrait être la plus rapide (environ 6 % par an) même si, en valeur absolue, ce continent reste le plus défavorisé jusqu'à la fin de la période considérée dans les projections. La croissance dans les pays de l'OCDE devrait s'avérer beaucoup plus lente jusqu'en 2050, la plupart de ces économies enregistrant des taux moyens d'environ 2 % par an.

Au cours des dernières décennies les niveaux moyens de revenu par habitant ont augmenté dans presque toutes les régions du monde. Cette augmentation n'a pas été également répartie entre les régions : la hausse a été deux fois plus élevée dans les BRIICS

Graphique 2.6. **Projections du produit intérieur brut réel : *scénario de référence*, 2010-2050**



Note : Calculé sur la base des parités de pouvoir d'achat (PPA) constantes de 2010.

Source : *Scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593610

Encadré 2.2. **Chocs économiques et pressions environnementales : une relation complexe**

La crise financière et économique de 2008-09 est un exemple de choc sur l'économie impossible à anticiper dans les projections. Les projections de scénarios tels que le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* mettent généralement l'accent sur les tendances progressives de long terme. Les écarts de court terme par rapport aux tendances de long terme sont, dans une certaine mesure, intégrés dans le *scénario de référence*. Notons toutefois que l'économie mondiale se remet lentement et inégalement de la crise la plus grave depuis la Seconde Guerre mondiale, ce qui rend les projections économiques sur les années à venir d'autant plus incertaines.

La faible croissance de la production pendant la crise et la sortie de crise – laquelle pourrait se prolonger – peut se ressentir durablement sur la production. La croissance à long terme peut même être inférieure aux projections d'avant la crise. La croissance à long terme dépendra d'un nombre restreint de facteurs, dont les plus importants sont la croissance de la main-d'œuvre et le progrès technique. Un lent processus de restructuration industrielle, causé par exemple par les contraintes de crédit, peut pénaliser la croissance de la productivité globale des facteurs à moyen ou long terme, croissance qui pourrait aussi souffrir de la faiblesse des investissements dans la recherche-développement (R-D) privée. Une récession durable et profonde risquerait de réduire non seulement la demande de travail dans les entreprises, du fait de la réduction de l'activité économique, mais aussi l'effectif de main-d'œuvre potentielle, car une partie des sans-emploi renoncerait à chercher du travail et les flux migratoires diminueraient. De plus, si les périodes de chômage perdurent, elles peuvent détériorer le capital humain de manière irréversible (UE, 2009).

Encadré 2.2. **Chocs économiques et pressions environnementales : une relation complexe** *(suite)*

Les pressions sur l'environnement étant influencées par l'économie, elles le sont également par les chocs économiques. Par exemple, les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont partiellement liées au PIB. D'après le *scénario* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030* (OCDE, 2008b) dont la productivité est supposée plus élevée, une augmentation de PIB de 16 % en 2030 conduirait à une hausse de 10 % des rejets de gaz à effet de serre.

Au stade actuel, on ne peut dire avec certitude si l'impact net de la crise actuelle sur l'environnement sera globalement positif ou négatif pour l'environnement. Certes, en 2008 et 2009, elle a freiné la croissance des rejets mondiaux de gaz à effet de serre, mais en 2010 les taux d'émission sont repartis à la hausse pour dépasser tous les records (chapitre 3). Une période prolongée de stagnation ou de très faible croissance pourrait à nouveau ralentir la croissance des émissions. Tout cela pourrait, par contrecoup, retarder les efforts d'amélioration de l'efficacité dans l'utilisation des ressources et de développement technologique pendant une période non négligeable : globalement, les conséquences pour l'environnement ne seront donc pas nécessairement positives. Quoi qu'il en soit, les politiques publiques en cours ont toutes pour objectif de redynamiser la croissance. Cette édition des *Perspectives* suppose un retour à la croissance après un redressement complet de l'économie.

Tableau 2.1. **Taux de croissance annuels moyens du PIB réel (en %) : *scénario de référence*, 2010-2050**

	2010-20	2020-30	2030-50	2010-50
		%		
Canada	2.5	2.3	2.1	2.2
Japon et Corée	2.1	1.6	1.0	1.4
Océanie	2.8	2.4	2.2	2.4
Russie	3.0	2.8	2.2	2.6
États-Unis	2.2	2.3	2.1	2.2
UE27 et AELE	2.1	2.0	1.7	1.9
Autres pays d'Europe	4.7	5.0	3.6	4.2
Brésil	3.7	4.0	3.2	3.5
Chine	7.2	4.2	3.0	4.3
Indonésie	5.0	4.5	4.2	4.5
Inde	7.3	6.2	4.8	5.7
Moyen-Orient et Afrique du Nord	4.1	4.6	4.1	4.2
Mexique	4.5	3.6	2.9	3.5
Afrique du Sud	4.2	3.8	3.3	3.6
Reste du monde	4.4	4.5	4.5	4.5
OCDE	**2.3**	**2.2**	**1.9**	**2.0**
BRIICS	**6.4**	**4.5**	**3.5**	**4.5**
Monde	**4.1**	**3.6**	**3.1**	**3.5**

Note : Voir au tableau 1.3 du chapitre 1 la description des ensembles de pays du modèle ENV-Linkages utilisés dans cette édition des *Perspectives*.
Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle ENV-Linkages.
StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932595111

(3.4 % par an entre 1970 et 2009) que dans les autres ensembles de pays (1.9 % dans la zone OCDE et 1.6 % dans le Reste du monde). En 2050, le PIB par habitant des États-Unis devrait cependant demeurer le plus élevé, et représenter près du double de celui de la Chine. La consommation des ménages par habitant varie de la même manière (tableau 2.2).

Tableau 2.2. **PIB annuel et consommation annuelle des ménages par habitant : *scénario de référence*, 2010-2050**

En milliers USD constants de 2010

	PIB par habitant			Consommation par habitant		
	2010	2020	2050	2010	2020	2050
Canada	36.9	43.0	68.2	22.1	25.4	39.9
Japon et Corée	31.9	39.8	67.3	18.0	23.0	41.8
Océanie	27.8	32.5	50.0	17.9	20.5	31.6
Russie	15.2	21.1	49.6	9.9	15.3	35.9
États-Unis	45.7	52.3	85.3	32.3	37.1	56.6
UE27 et AELE	30.2	36.4	63.5	18.0	21.9	39.6
Autres pays d'Europe	10.7	16.4	53.5	7.1	10.1	31.0
Brésil	11.6	15.6	41.7	7.2	9.5	23.7
Chine	9.4	17.9	48.8	3.4	7.0	27.1
Indonésie	5.1	7.6	23.6	3.5	5.1	13.0
Inde	3.9	7.0	27.5	2.3	3.8	13.8
Moyen-Orient et Afrique du Nord	11.1	14.2	37.5	7.1	9.6	23.7
Mexique	13.2	18.9	44.3	9.5	13.1	25.8
Afrique du Sud	10.4	15.0	38.4	7.1	10.1	25.0
Reste du monde	3.9	5.0	13.3	2.6	3.4	8.3
OCDE	**33.1**	**39.7**	**68.5**	**21.2**	**25.5**	**43.5**
BRIICS	**7.5**	**12.9**	**37.3**	**3.6**	**6.2**	**20.5**
Monde	**11.1**	**15.0**	**33.2**	**6.6**	**8.7**	**19.7**

Note : Calculés sur la base des parités de pouvoir d'achat (PPA) constantes de 2010.
Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle ENV-Linkages.
StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932595130

Quels sont les déterminants de la croissance économique ?

La croissance économique, ou plus précisément la croissance du PIB, est déterminée par : *i)* l'augmentation de la valeur ajoutée de la production, grâce à l'utilisation de plus grandes quantités de capital, de travail et de ressources naturelles (y compris foncières) ; *ii)* l'augmentation de la productivité de ces facteurs de production primaires ; et *iii)* la réallocation de facteurs de production au profit d'activités qui produisent plus de valeur ajoutée. Le facteur travail (emploi) est quant à lui fonction de l'évolution de la démographie, qui résulte d'une combinaison de scénarios sur la population, la pyramide des âges, le taux d'activité et le chômage.

D'après les projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, entre 2010 et 2030, la croissance du PIB sera principalement imputable à l'utilisation de capitaux physiques en plus grande quantité (immeubles, machines et infrastructures), ce qui alimente l'activité économique, en particulier dans les économies émergentes (voir annexe 2.A)[5]. Comme l'utilisation de capital physique va souvent de pair avec la consommation d'énergie dans les processus de production, cette forme de croissance s'accompagne de fortes augmentations de la demande d'énergie à court terme (voir ci-dessous la section sur l'énergie).

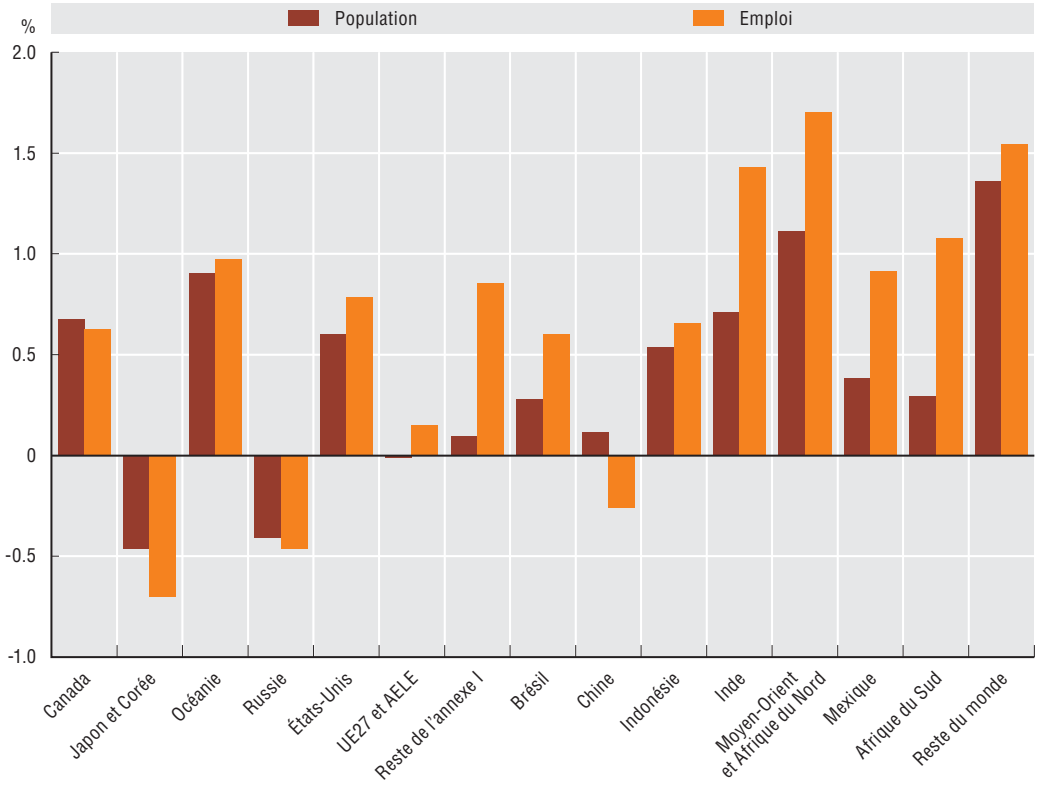
À plus long terme, les projections des *Perspectives* prévoient une lente transition vers une meilleure répartition de la croissance entre les principales économies, une convergence partielle des économies, et une contribution plus équilibrée du capital physique accumulé et du capital humain à la croissance du PIB. Pendant cette phase de rattrapage, les pays les plus en retard en termes d'éducation (composante du capital humain) et de capital physique devraient croître davantage, comme l'explique l'encadré 2.3. Ces projections sont incertaines et reposent sur plusieurs hypothèses, concernant en particulier les capacités institutionnelles de développement. L'effet de rattrapage signifie que le capital humain représentera une contribution plus importante à la croissance à long terme du PIB, ce qui atténuera quelque peu les pressions environnementales (c'est le découplage de l'environnement et de la croissance économique). Mais pour augmenter la valeur du capital humain, il sera essentiel de mettre en œuvre des politiques d'éducation et de formation capables d'accroître les connaissances et les compétences des travailleurs.

Encadré 2.3. **Méthode de la convergence conditionnelle : hypothèses des projections réalisées à partir de modèles**

Dans la plupart des *scénarios de référence* économiques qui sous-tendent les projections économiques mondiales concernant l'environnement – notamment ceux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007) – on retient généralement l'hypothèse que, à l'échelle mondiale, les revenus vont peu à peu converger vers les niveaux observés dans les économies les plus développées. Dans les *Perspectives* nous avons retenu une hypothèse voisine mais, au lieu de faire porter cette convergence sur les niveaux de revenus, on l'a appliquée aux déterminants de la croissance du PIB pendant la période de projection (Duval et de la Maisonneuve, 2010). Sur cette base, des projections à long terme sont établies pour cinq grands moteurs de la croissance du revenu par habitant : *i)* la productivité totale des facteurs ; *ii)* le capital humain (qui détermine la productivité du travail) ; *iii)* intensité en capital de la production ; *iv)* les scénarios concernant la population, la pyramide des âges, le taux d'activité et le chômage (dont la combinaison détermine les niveaux d'emploi) ; et *v)* la disponibilité des ressources naturelles. La convergence progressive des régions vers les pays les plus performants est prévue dans les cinquante ou cent prochaines années, selon le facteur considéré. Ces facteurs sont ensuite utilisés, avec la croissance démographique, pour projeter la trajectoire future du PIB.

L'effectif de la main-d'œuvre est limité à terme par la population mais, du fait de l'évolution de la structure de la population, du taux d'activité et des projections du chômage, il peut y avoir décalage entre le taux de croissance de la population et celui de l'activité, et ce décalage peut subsister pendant de nombreuses années. Le graphique 2.7 compare les taux moyens annuels de la croissance démographique à ceux de l'emploi. Le vieillissement de la population devrait, selon les projections, se poursuivre dans les pays de l'OCDE, de même qu'en Chine et dans d'autres économies émergentes. Cela se traduit par des taux d'activité plus faibles. En revanche, dans de nombreux pays en développement (d'Afrique et d'Asie, notamment) où la population est beaucoup plus jeune, la proportion de personnes en âge de travailler devrait s'accroître au fil du temps, d'où une poussée de l'offre de main-d'œuvre. Ce même phénomène devrait également concerner l'Inde, mais cette tendance devrait aller de pair avec l'accroissement du pourcentage de personnes âgées.

Graphique 2.7. **Taux de croissance annuels moyens de la population et de l'emploi, 2010-2050**



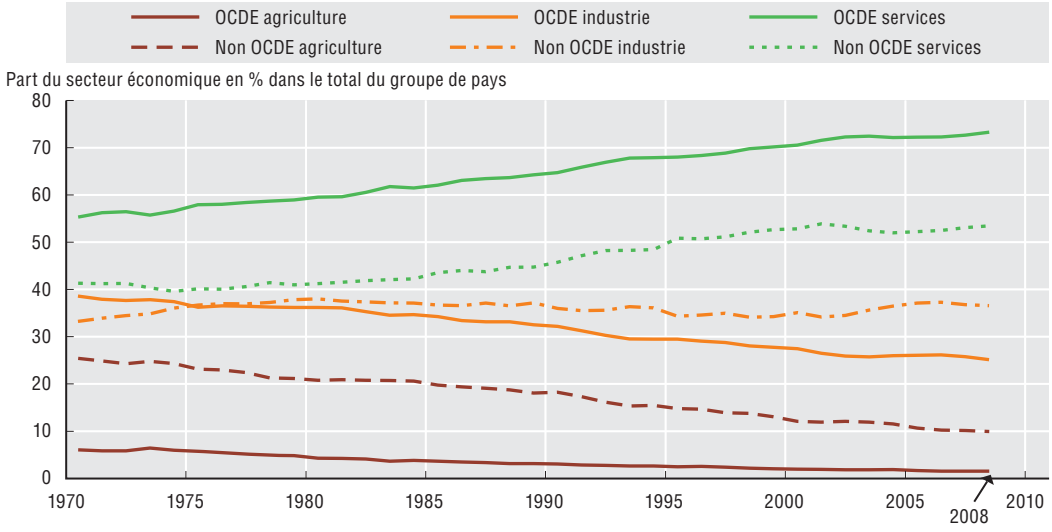
Sources : Population : ONU (Organisation des Nations Unies) (2009), *World Population Prospects: The 2008 Revision*, ONU, New York. Emploi : Projection de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle ENV-Linkages.
StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593629

Le commerce international est un autre déterminant de la croissance économique, et il devrait continuer d'augmenter plus vite que le PIB. Toutefois, les déséquilibres actuels des balances courantes ne semblent pas tenables à long terme car ils entraînent des tensions sur les taux de change. En conséquence, les *Perspectives* tablent sur une réduction progressive des soldes des balances courantes. Pour la plupart des régions, la balance courante devrait s'équilibrer en 2050, mais les déséquilibres importants de la Chine et des États-Unis mettront plus de temps à se résorber complètement.

Quelle sera l'évolution structurelle de l'économie ?

La composition sectorielle des différentes régions s'est transformée au fil des ans : la part du secteur des services s'est accrue (graphique 2.8). L'accroissement en valeur de la part des services résulte de la hausse de leurs coûts de production par rapport à ceux des autres marchandises, mais s'inscrit également dans le cadre d'une évolution structurelle vers une économie plus axée sur les services. Cette évolution structurelle tient en partie à l'évolution des modes de consommation des ménages. La demande de services – santé, notamment – s'accroît avec l'âge moyen et le patrimoine moyen. Elle augmente également lorsque la production industrielle recourt davantage à la R-D et à d'autres services. D'importantes évolutions sont bien entendu intervenues à l'intérieur de ces grands agrégats sectoriels. Les catégories de services ont évolué depuis 40 ans, en raison notamment de l'émergence de l'information et de la communication en tant que secteur à part entière.

Graphique 2.8. **Part des secteurs dans la valeur ajoutée totale, 1970-2008**



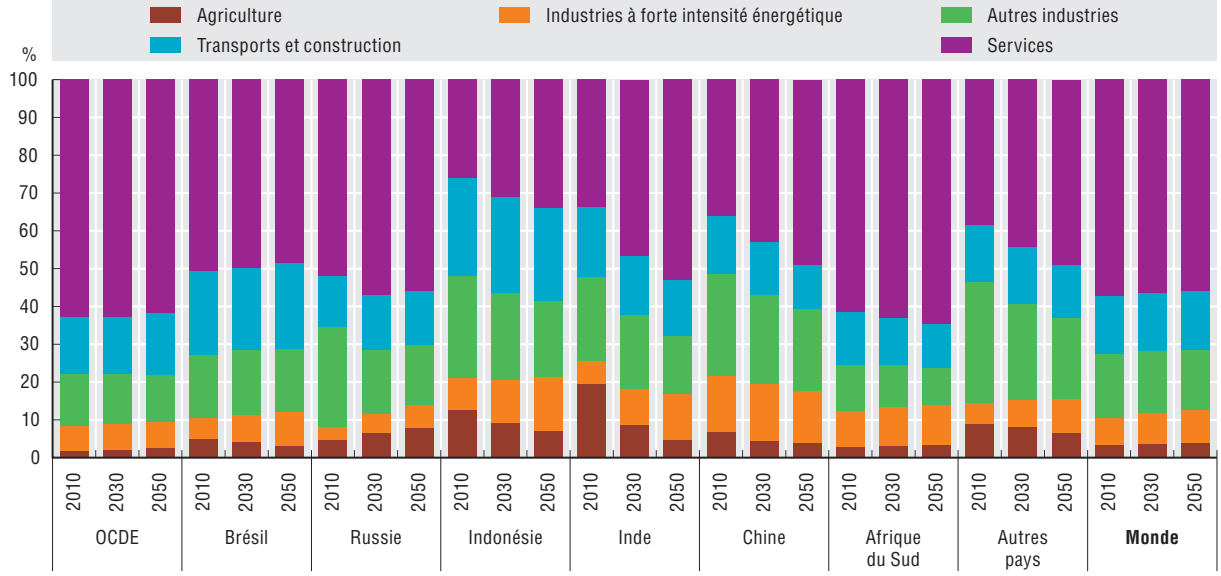
Note : L'agrégat « industrie » englobe tout le secteur manufacturier.

Source : Calculs OCDE basés sur la Banque mondiale (2010), *Les Indicateurs du développement dans le monde*, Banque mondiale, Washington, DC, *http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators*.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593648

Dans le *scénario de référence* des *Perspectives*, cette évolution structurelle vers une économie plus axée sur les services tend à se stabiliser autour de 2050 dans les pays de l'OCDE. Comme l'indique le graphique 2.9, la part des différents secteurs demeure plus ou

Graphique 2.9. **Part des secteurs dans le PIB réel, par région : *scénario de référence*, 2010-2050**



Note : La catégorie « Industries à forte intensité énergétique » se compose des secteurs suivants : chimie, métaux non ferreux, ouvrages en métaux, produits sidérurgiques, pâtes et papiers et produits minéraux non métalliques.

Source : *Scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593667

moins stable en termes réels (c'est-à-dire hors effets de prix relatifs). D'après l'hypothèse de la convergence économique, le secteur des services des pays en développement représentera une proportion accrue de l'économie mondiale, alors que la part du secteur agricole va se réduire. Ces tendances sont conformes à l'évolution mondiale vers une croissance économique plus axée sur l'emploi. Le fléchissement de la part de l'agriculture n'implique pas un recul de la production alimentaire en valeur absolue, mais indique seulement que ce secteur croît moins rapidement que les autres. Pour faire face aux besoins alimentaires d'une population mondiale toujours plus nombreuse, la production devra continuer d'augmenter, d'où une hausse de la demande de terres agricoles (voir ci-dessous).

3. Relations entre activité économique et pressions environnementales

Comment ces tendances socio-économiques s'articulent-elles avec les enjeux environnementaux ? Dans cette dernière section, nous allons examiner deux déterminants du changement environnemental : la consommation d'énergie et l'utilisation des terres.

Consommation d'énergie

La consommation d'énergie est essentiellement fonction de l'activité économique et des technologies – notamment celles qui permettent d'améliorer l'efficacité énergétique. Les habitudes de consommation d'énergie diffèrent considérablement d'un pays à l'autre. Dans les pays de l'OCDE, une personne consomme en moyenne 3 tonnes d'équivalent pétrole (tep) par an. Dans les régions à faible revenu comme une grande partie de l'Afrique et certaines parties de l'Asie et de l'Amérique latine, la consommation individuelle est nettement inférieure à 1 tep (AIE, 2011). En 2009, 1.4 milliard d'habitants des pays à faible revenu n'avaient pas accès à l'électricité et près de 2.7 milliards de personnes étaient toujours tributaires de la biomasse traditionnelle (AIE, 2010).

Le quadruplement projeté du PIB à l'horizon 2050 entraîne une forte augmentation de la consommation totale d'énergie qui atteint alors 900 exajoules (EJ)[6] en 2050 – soit une augmentation d'environ 80 % par rapport à la consommation mondiale d'énergie en 2010 (encadré 2.4)[7]. Grâce aux améliorations constantes de l'efficacité énergétique, l'intensité énergétique globale (c'est-à-dire le ratio entre la consommation d'énergie et le PIB) va diminuer pour s'établir en 2050 à peu près 40 % en dessous des niveaux actuels. Le changement climatique (en particulier les émissions de CO_2) et les répercussions sanitaires de la pollution atmosphérique (chapitres 3 et 6) sont étroitement liés à la consommation d'énergie et à la production. Le graphique 2.10 montre comment se situe la projection du *scénario de référence* par rapport aux tendances historiques et par rapport aux chiffres contenus dans d'autres études, recensées dans van Vuuren *et al.* (2011).

Le graphique 2.11 montre les projections du *scénario de référence* dans les différentes régions pour les différentes sources d'énergie jusqu'en 2050. La majeure partie de l'énergie est actuellement consommée dans les pays industrialisés, mais une part importante de la production d'énergie à l'échelle mondiale est assurée par les pays émergents et en développement. En 2008, la Chine a assuré plus de 40 % de la production mondiale de charbon et le Moyen-Orient et la Russie réunis, près de 40 % de celle de pétrole et environ 35 % de celle de gaz naturel (AIE, 2011). La croissance de la consommation dans les projections du *scénario de référence* résulte principalement de la hausse de la demande dans les BRIICS et certains autres pays en développement. Dans le *scénario de référence*, la

Encadré 2.4. **Incertitudes concernant les projections relatives à l'énergie**

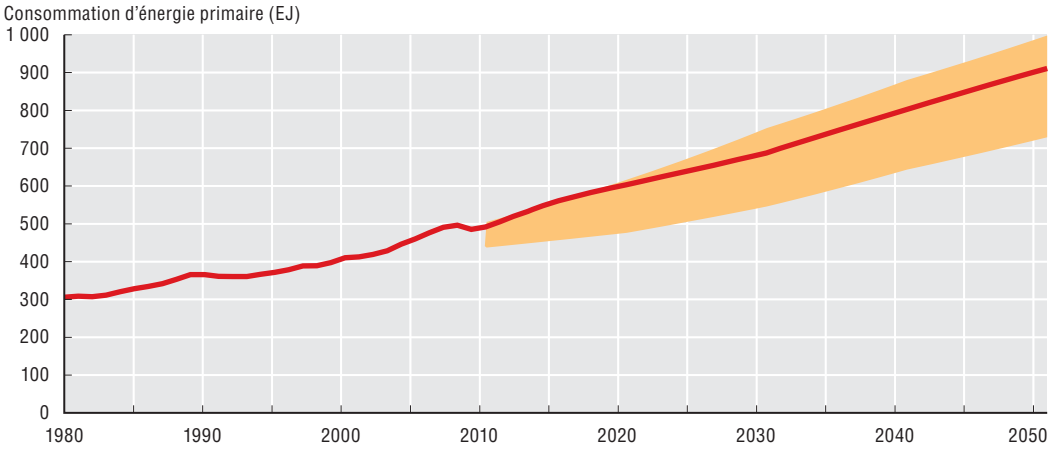
Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* comporte plusieurs incertitudes majeures concernant les projections énergétiques :

i) Historiquement, l'évolution de l'intensité énergétique de l'économie mondiale a oscillé entre 1 % et 2 %. Les hypothèses retenues pour ce facteur auront une forte incidence sur les projections d'émissions pour l'avenir. Le *scénario de référence* projette une réduction annuelle moyenne de l'intensité énergétique de 1.3 %, qui cadre avec les projections de l'AIE (AIE, 2010).

ii) La palette énergétique dépend dans une large mesure du prix relatif des différents combustibles. Compte tenu de la complexité des marchés internationaux des combustibles, et des incertitudes non négligeables concernant les ressources, les évolutions technologiques et les prix des combustibles à venir, il s'agit là d'une source importante d'incertitudes dans les projections du *scénario de référence* des présentes *Perspectives*.

Dans les *Perspectives de l'environnement*, on a utilisé deux séries de modèles (voir le chapitre 1 pour plus de détails sur l'approche et la méthodologie suivies). Selon ces deux modèles – ENV-Linkages et IMAGE – la part globale des énergies fossiles dans le mix énergétique jusqu'en 2050 va demeurer à peu près stable, de même que les parts respectives de l'énergie nucléaire et des énergies renouvelables. La principale différence entre les deux modèles concerne les places respectives du charbon et du gaz naturel dans l'augmentation de l'offre énergétique future. Le modèle ENV-Linkages, qui se base sur les projections de l'AIE (2010), prévoit que le prix du gaz augmentera plus vite que celui du pétrole et du charbon, ce qui va créer un environnement relativement favorable au développement des centrales au charbon dans certains pays comme la Chine et l'Inde. En revanche, le taux de croissance du gaz naturel dans les prochaines décennies est plus rapide dans les projections IMAGE que dans celles du modèle ENV-Linkages. En effet, dans IMAGE, les prix énergétiques sont fonction de la disponibilité relative des réserves des différentes énergies fossiles.

Graphique 2.10. **Consommation mondiale d'énergie primaire : *scénario de référence*, 1980-2050**

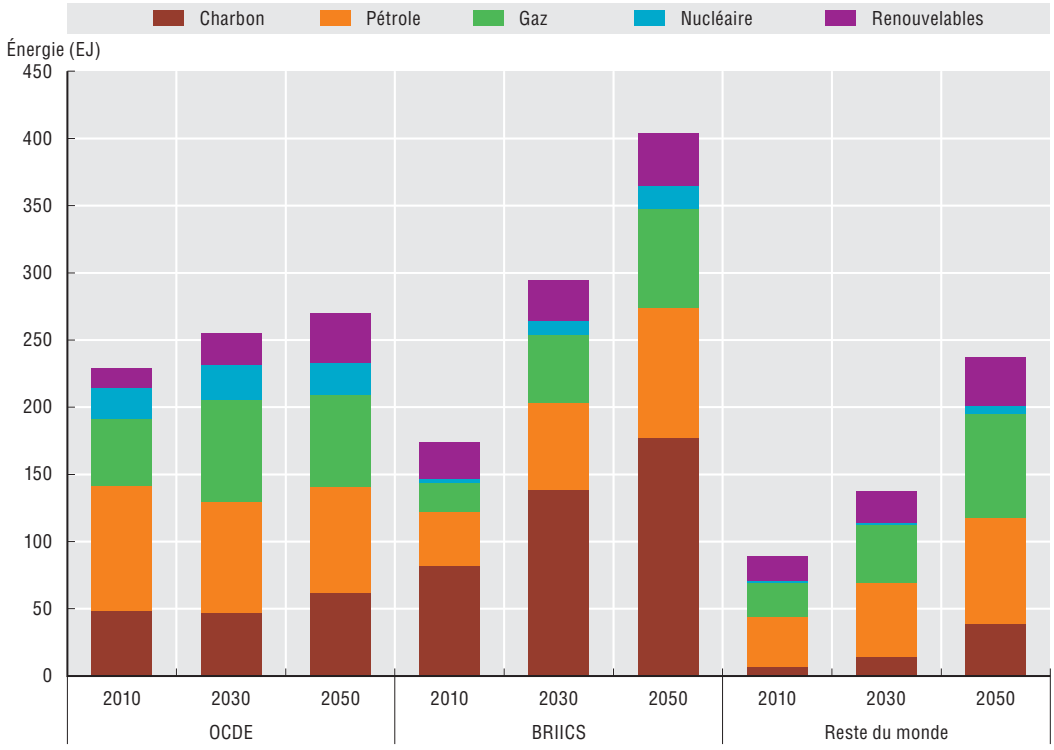


Notes : Une méthode largement acceptée pour la comptabilisation de l'utilisation de l'énergie primaire à partir de différentes sources d'énergie n'existe pas. Ici, la méthodologie proposée par l'AIE est utilisée, ce qui suppose un rendement de 33 % pour l'énergie nucléaire et 100 % pour l'énergie renouvelable. D'autres méthodes peuvent conduire à des contributions légèrement différentes de l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables au mix énergétique. La zone grisée correspond aux 10e et 90e centiles des valeurs trouvées dans la littérature.

Source : *Scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593686

Graphique 2.11. **Production d'énergie commerciale par combustible : *scénario de référence*, 2010-2050**



Note : Une méthode largement acceptée pour la comptabilisation de l'utilisation de l'énergie primaire à partir de différentes sources d'énergie n'existe pas. Ici, la méthodologie proposée par l'AIE est utilisée, ce qui suppose un rendement de 33 % pour l'énergie nucléaire et 100 % pour l'énergie renouvelable. D'autres méthodes peuvent conduire à des contributions légèrement différentes de l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables au mix énergétique.

Source : *Scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593705

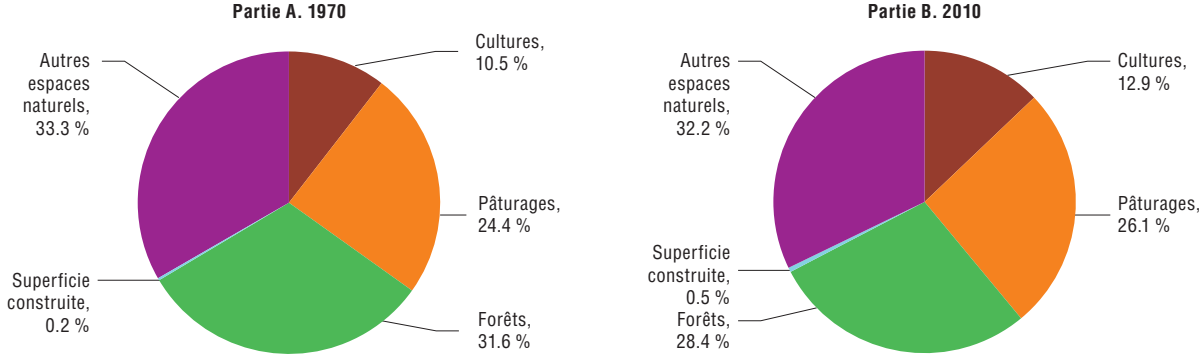
production de pétrole en Europe, et dans une moindre mesure en Amérique du Nord[8], diminue en raison de la raréfaction progressive des réserves.

L'augmentation de la consommation d'énergie dans le *scénario de référence* s'accorde avec les projections de l'Agence internationale de l'énergie (AIE)[9]. Dans le *scénario de référence*, à politiques inchangées, les combustibles fossiles représentent toujours une large part du marché, leurs prix moyens restant inférieurs à ceux des autres combustibles dans la plupart des pays. L'augmentation annuelle moyenne de la consommation devrait être de l'ordre de 0.5 % pour le pétrole et de 1.8 % pour le charbon et le gaz naturel. S'agissant du pétrole et du gaz naturel, la raréfaction des réserves et la montée des prix qu'elle va entraîner vers le milieu du XXIe siècle devraient aboutir à une stabilisation, voire à un pic de la production, laquelle est concentrée dans un petit nombre de régions riches en ressources. En revanche, pour le charbon, la rareté ne devrait pas limiter la production ou conduire à une forte augmentation des prix dans un avenir prévisible. Les régions riches en charbon devraient par ailleurs connaître une forte croissance économique et il est probable que le charbon occupera une place encore plus importante dans le mix énergétique. Dans le même temps, la production d'énergie non fossile, notamment issue du nucléaire, de la biomasse et d'autres sources renouvelables, progressera de façon soutenue[10].

Utilisation des terres

La production agricole a fortement augmenté depuis plusieurs décennies pour répondre à la hausse de la demande de produits agricoles, due à la fois à l'accroissement démographique et à l'évolution des régimes alimentaires. Cette augmentation de la production est imputable pour 80 % à un meilleur rendement des terres existantes, et pour 20 % à la mise en culture de nouvelles terres (Bruinsma, 2003). Entre 1970 et 2010, la part des terres allouées à des usages agricoles (culture et pâturage) s'est accrue d'environ 4 points de pourcentage, en grande partie aux dépens des zones boisées (graphique 2.12). Cette progression s'est semble-t-il ralentie ces dix dernières années.

Graphique 2.12. **Utilisation des terres dans le monde : *scénario de référence*, 1970 et 2010**



Source : *Scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE, à partir des données de FAOStat et d'autres sources de données, dont Klein Goldewijk, K. et G. van Drecht (2006), « HYDE 3: Current and Historical Population and Land Cover », *in* A.F. Bouwman, T. Kram et K. Klein Goldewijk (éd.), *Integrated Modelling of Global Environmental Change. An Overview of IMAGE 2.4*, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas, Bilthoven.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593724

D'après les projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, à politiques inchangées, la concurrence entre les usages agricoles et non agricoles des terres va s'intensifier au cours des dix prochaines années (voir encadré 2.5). La même conclusion ressort des *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2011-2020* (OCDE/FAO, 2011). La convergence des PIB par habitant et l'accroissement démographique vont augmenter la demande de produits alimentaires, en particulier d'origine animale. En outre, les politiques qui encouragent l'utilisation de biocarburants font aussi augmenter la demande de produits et de terres agricoles (chapitre 4). Les terres n'étant disponibles qu'en quantité limitée, la déforestation devrait se poursuivre à court terme, mais plus lentement qu'au cours des précédentes décennies.

Encadré 2.5. **Incertitudes concernant les projections d'utilisation des terres**

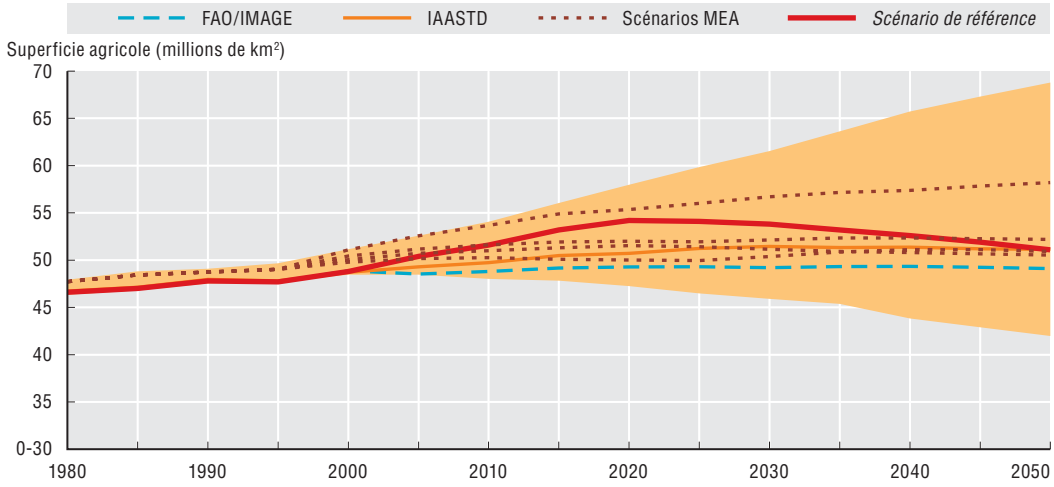
Comme nous l'avons vu, les projections relatives à l'utilisation des terres sont très sensibles à celles concernant le changement climatique, la démographie, les habitudes alimentaires et les rendements agricoles ainsi que, dans une moindre mesure, l'urbanisation*. Historiquement, la hausse des rendements a joué un rôle déterminant dans l'évolution de l'utilisation des terres. La hausse des rendements prévue dans le *scénario de référence* est en accord avec les projections de la FAO publiées dans le rapport *L'agriculture mondiale à l'horizon 2030/2050* (Bruinsma, 2003). En revanche, si l'on utilise les mêmes hypothèses pour la croissance de la demande mais avec des augmentations moindres du rendement, on obtient une augmentation de la surface des terres agricoles jusqu'en 2050. Ces deux scénarios sont retenus dans plusieurs études : *i)* les surfaces agricoles continuent de croître (à un rythme moindre) ; et *ii)* les surfaces agricoles atteignent un pic dans les prochaines décennies, particulièrement les pâtures. La probabilité et la date de ce pic dépendent, entre autres, du poids relatif des différents facteurs dans l'amélioration des rendements : gains d'efficience (induits par le progrès technologique), politiques publiques menées et rareté des terres. Comparées à la fourchette de chiffres que l'on trouve dans les autres études, les projections de cette édition des *Perspectives* concernant l'utilisation des terres indiquent une concurrence assez intense entre les différentes utilisations des terres à court et moyen terme (2020), puis une inversion de cette tendance durant les décennies qui suivent, évolution plus optimiste que celle prévue dans la plupart des autres études. Il n'en demeure pas moins que les niveaux d'utilisation des terres qui en résultent en 2050 sont largement dans la fourchette de valeurs trouvées dans les études (graphique 2.13).

* L'urbanisation elle-même n'a qu'un effet limité sur la concurrence foncière, mais elle se fait souvent aux dépens de terres agricoles particulièrement productives, et induit donc d'autres changements d'affectation des terres.

Selon les projections démographiques présentées ci-dessus, la population mondiale devrait atteindre un palier et se stabiliser globalement aux alentours de 2050. Bien que l'évolution des habitudes alimentaires continue de faire augmenter la demande de produits agricoles, cette augmentation devrait être plus faible que par le passé, en raison de la convergence des niveaux de revenus et, dans une certaine mesure, des préférences des consommateurs. Compte tenu de ces tendances, le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* prévoit que la superficie agricole continuera de progresser jusqu'aux alentours de 2030, après quoi elle va se stabiliser, pour revenir aux niveaux actuels en 2050. L'augmentation des rendements devrait être plus lente qu'au cours des précédentes décennies, mais elle devrait tout de même se traduire à terme par une baisse de la demande de terres agricoles, même à politiques inchangées (graphique 2.13)[11].

En matière d'utilisation des terres, les tendances historiques et les projections varient considérablement d'une région à l'autre. Depuis les années 70, les surfaces allouées à l'agriculture ont légèrement diminué dans les pays de l'OCDE, mais elles ont connu une extension rapide dans d'autres parties du monde (par exemple de 35 % au Brésil, 40 % en Chine, 26 % en Indonésie). Dans les pays de l'OCDE, le *scénario de référence* table sur un nouveau fléchissement de 2 % à l'horizon 2050 (graphique 2.14). Pour l'ensemble des BRIICS, il projette une diminution de plus de 17 % jusqu'en 2050, en grande partie du fait du déclin démographique en Chine et en Russie. Pour le reste du monde, il projette une poursuite de l'extension des zones agricoles, au moins pendant quelques décennies, car la

Graphique 2.13. **Superficies agricoles dans le monde : comparatif des estimations, 1980-2050**



Note : La superficie agricole comprend les terres cultivées et les pâturages ; la zone grisée indique la fourchette de variation des estimations trouvées dans les différentes études sur la question.

Sources : FAO/IMAGE = FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) (2006), *World Agriculture Towards 2030/2050*, FAO, Rome.

IAASTD = International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (2009), *Global Report*, Island Press, Washington, DC.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005), *Synthesis Report*, Island Press, Washington, DC.

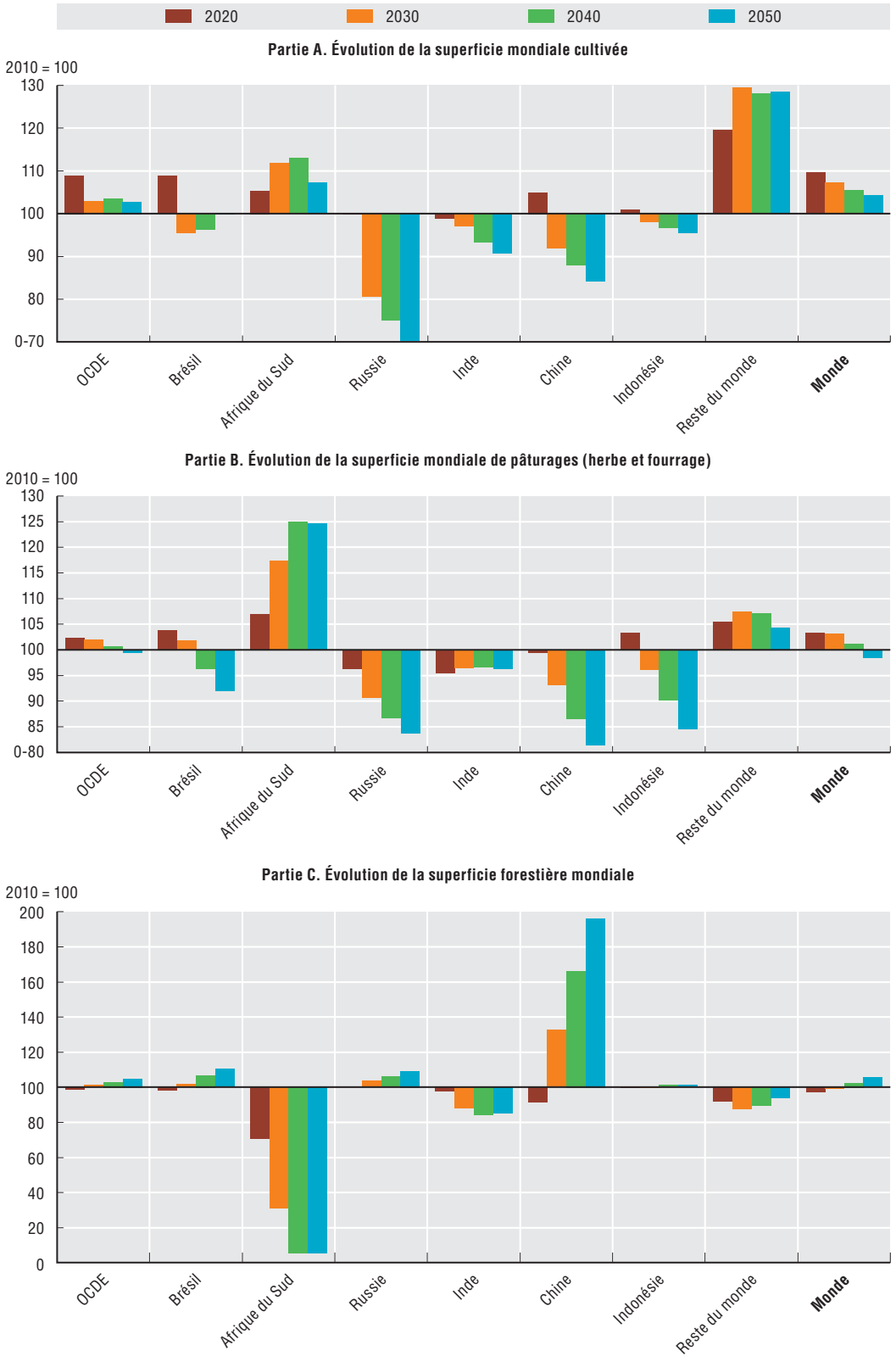
Outlook Baseline = Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593743

démographie reste dynamique et l'alimentation devrait continuer d'évoluer vers un régime plus calorique et plus carné. Dans cette partie du monde, l'espace forestier s'amenuise, surtout lorsque l'agriculture gagne du terrain. Dans d'autres régions, dont la Chine, la contraction de la demande de terres agricoles se traduit par un accroissement de la superficie forestière, ne serait-ce que pour répondre à la hausse de la demande mondiale de bois et d'autres produits forestiers.

Ces évolutions des différents types d'agriculture sont les principaux déterminants des réaffectations de terres, et donc des émissions de GES liées à l'utilisation des sols, du stress hydrique et des pressions sur la biodiversité, comme on le verra dans les chapitres suivants.

Graphique 2.14. **Croissance projetée des principales utilisations de la terre : *scénario de référence***



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593762

Notes

1. Pour plus de détails sur la construction du *scénario de référence*, voir Chateau *et al.* (2011).
2. La présente édition des *Perspectives* se base sur la révision de 2008 des projections démographiques à moyen terme des Nations Unies (ONU, 2009), selon lesquelles la population mondiale devrait s'établir à 9.15 milliards de personnes en 2050. Les Nations Unies ont depuis publié (ONU, 2011) des projections légèrement révisées à la hausse (9.3 milliards à l'horizon 2050) pour tenir compte de l'augmentation plus rapide de la population en Afrique.
3. S'il constitue une mesure satisfaisante de l'activité économique, le PIB n'est pas un bon indicateur du bien-être (Stiglitz *et al.*, 2009).
4. L'estimation des parts des différentes régions dans le PIB mondial dépend fortement des taux de change utilisés dans le calcul. Ici, les agrégats du PIB sont calculés sur la base des parités de pouvoir d'achat (PPA) de 2010, comme expliqué dans FMI (2010). Or, depuis quelques années, le dollar des États-Unis s'est déprécié par rapport à la plupart des devises. Si on utilise des taux de change anciens, on obtient une part plus élevée pour les États-Unis comme pour l'ensemble OCDE. Voir Chateau *et al.* (2011) pour plus de détails.
5. Les projections du graphique 2.6 ne prennent pas en compte les cycles économiques courts, mais les scénarios pour 2010-15 sont basés sur des projections à court terme du FMI (2010), de la Banque mondiale (2010) et de l'OCDE.
6. 1 exajoule égale 1 milliard de gigajoules, soit environ 23.9 millions de tep.
7. Il n'existe pas de méthode largement acceptée pour comptabiliser l'énergie primaire provenant de différentes sources d'énergie. Ce graphique applique la méthode proposée par l'AIE, qui pose l'hypothèse d'une efficience de 33 % pour l'énergie nucléaire et de 100 % pour l'énergie à base de sources renouvelables. Selon la méthode de calcul, les parts du nucléaire et des énergies renouvelables dans le mix énergétique pourront être légèrement différentes.
8. En Amérique du Nord cette baisse concerne les États-Unis et le Mexique. En revanche, le Canada devrait intensifier sa production pétrolière, notamment à partir de sources non conventionnelles comme les sables asphaltiques.
9. La structure de la consommation énergétique a été calibrée pour correspondre à celle des projections de l'AIE.
10. Les projections de la progression du nucléaire datent d'avant le séisme et le tsunami qui ont frappé le Japon en 2011. On voit donc qu'il importe d'interpréter ces projections comme des tendances à long terme qui ne tiennent pas compte des effets de chocs non prévus.
11. Par exemple, pour les céréales cultivées en zone tempérée, selon la projection du *scénario de référence*, la croissance moyenne annuelle des rendements est de 1.0 %, alors qu'historiquement elle était de 1.5 % (1970-2010 ; FAOStat data). De même, pour le riz, la projection est de +0.9 % (contre +1.6 % historiquement) et pour le maïs, 0.8 % (contre +1.7 % historiquement).

Références

AIE (Agence internationale de l'énergie) (2010), *World Energy Outlook 2010*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/weo-2010-en*.

AIE (2011), *Energy Balances of non-OECD Countries 2011*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/energy_bal_non-oecd-2011-en*.

Banque mondiale (2010), *World Development Indicators*, Banque mondiale, Washington, DC, *http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators*.

Bruinsma (2003), *Agriculture Towards 2015/2030*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.

Chateau, J., C. Rebolledo et R. Dellink (2011), « The ENV-Linkages Economic Baseline Projections to 2050 », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 41, Éditions OCDE, Paris.

Duval, R. et C. de la Maisonneuve (2010), « A Long-Run Growth Framework and Scenarios for the World Economy », *Journal of Policy Modeling*, vol. 62, pp. 64-80.

FAO (2006), *Agriculture mondiale à l'horizon 2030/2050*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.

FMI (Fonds monétaire international) (2010), *World Economic Outlook Database*, FMI, Washington, DC, *www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/02/weodata/index.aspx*.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2007), *Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, New York.

IAASTD (2009), *International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development: Global Report*, Island Press, Washington, DC.

Klein Goldewijk, K. et G. van Drecht (2006), « HYDE 3: Current and Historical Population and Land Cover », *in* A.F. Bouwman, T. Kram et K. Klein Goldewijk (éd.), *Integrated Modelling of Global Environmental Change. An Overview of IMAGE 2.4*, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven.

Maddison (2010), *Statistics on World Population, GDP and Per Capita GDP, 1-2008 AD*, Université de Groningue, *www.ggdc.net/MADDISON/oriindex.htm*.

MEA (2005), *Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report*, Island Press, Washington, DC.

OCDE (2008a), *Coûts de l'inaction sur des défis environnementaux importants*, Éditions OCDE, *http://publications.oecd.org/acrobatebook/9708042e.pdf*.

OCDE (2008b), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030*, Éditions OCDE, *http://publications.oecd.org/acrobatebook/9708012e.pdf*.

OCDE (2011), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264111332-fr*.

OCDE/Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (2011), *Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2011-2020*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2011-fr*.

ONU (Organisation des Nations Unies) (2009), *World Population Prospects: The 2008 Revision*, New York.

ONU (2010), *World Urbanization Prospects: The 2009 Revision*, ONU-Habitat, New York.

ONU (2011), *World Population Prospects: The 2010 Revision*, ONU-Habitat, New York.

ONU-Habitat (2003), *The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 2003*, ONU-Habitat, New York.

ONU-Habitat (2006), *State of the World's Cities: 2006/2007*, ONU-Habitat, New York.

Stiglitz, J.E., A. Sen et J. Fitoussi (2009), *Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social*, accessible à l'adresse : *www.stiglitz-sen-fitoussi.fr/fr/index.htm*.

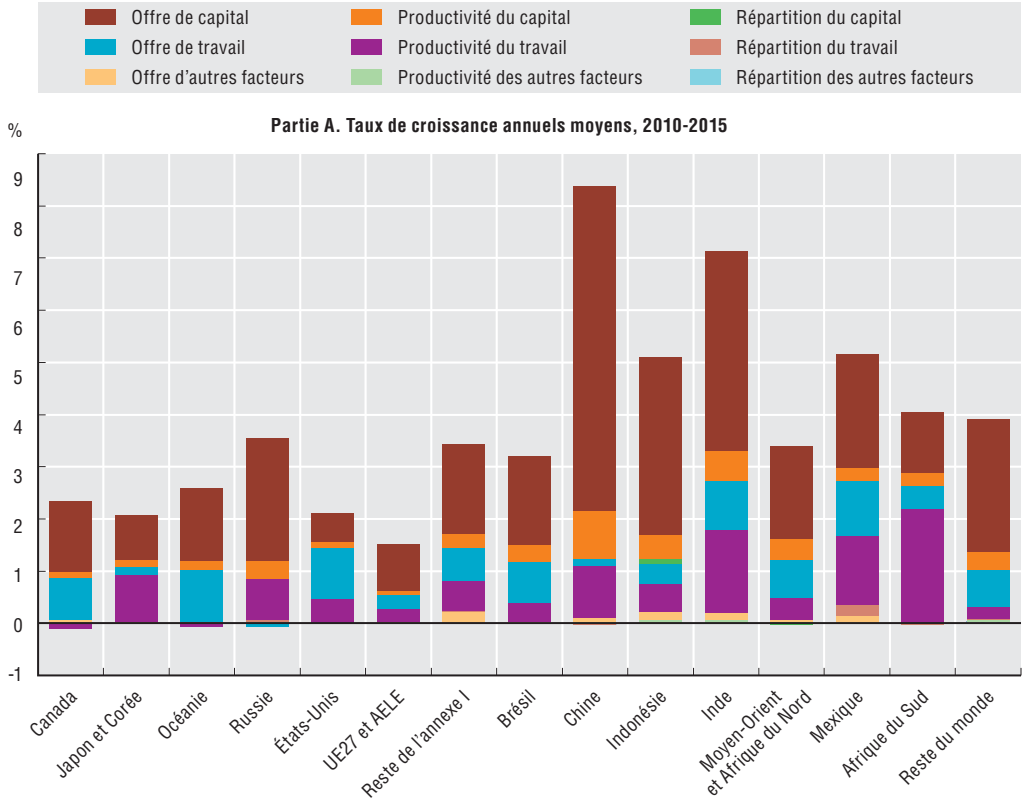
UE (Union européenne) (2009), « Impact of the Current Economic and Financial Crisis on Potential Output », *Occasional Papers*, n° 49, Direction générale des affaires économiques et financières, Commission européenne.

Vuuren, van D.P., K. Riahi, R. Moss, A. Thomson, N. Nakićenović, J. Edmonds, T. Kram, F. Berkhout, R. Swart, A. Janetos, S. Rose et A. Arnell (2011), « Developing New Scenarios as a Thread for Future Climate Research », *Global Environmental Change*, sous presse, doi : *http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.08.002*.

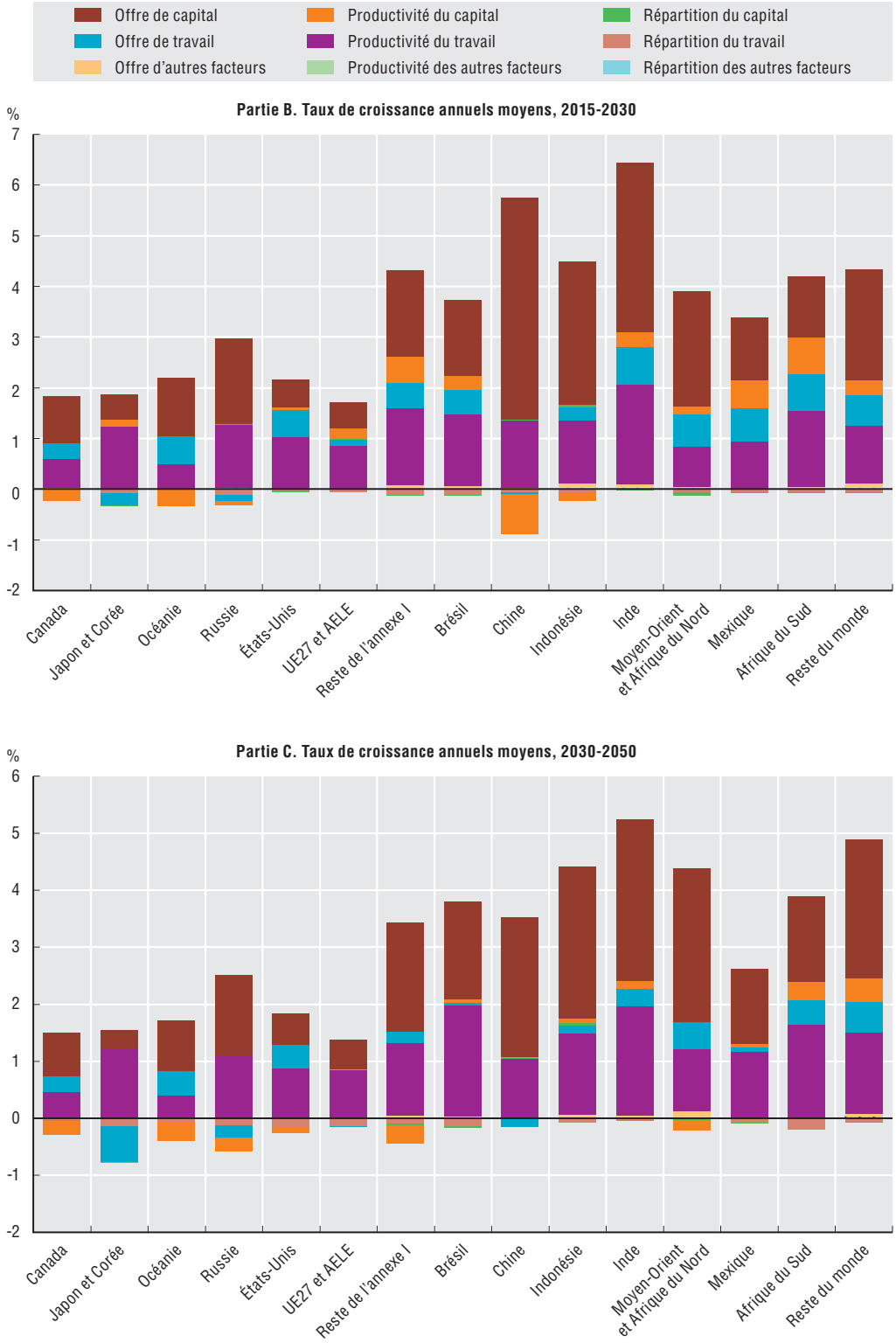
ANNEXE 2.A

Informations relatives à la modélisation sur les évolutions socio-économiques

Graphique 2.A1. **Décomposition par région des facteurs de croissance du PIB, en pourcentage : *scénario de référence***

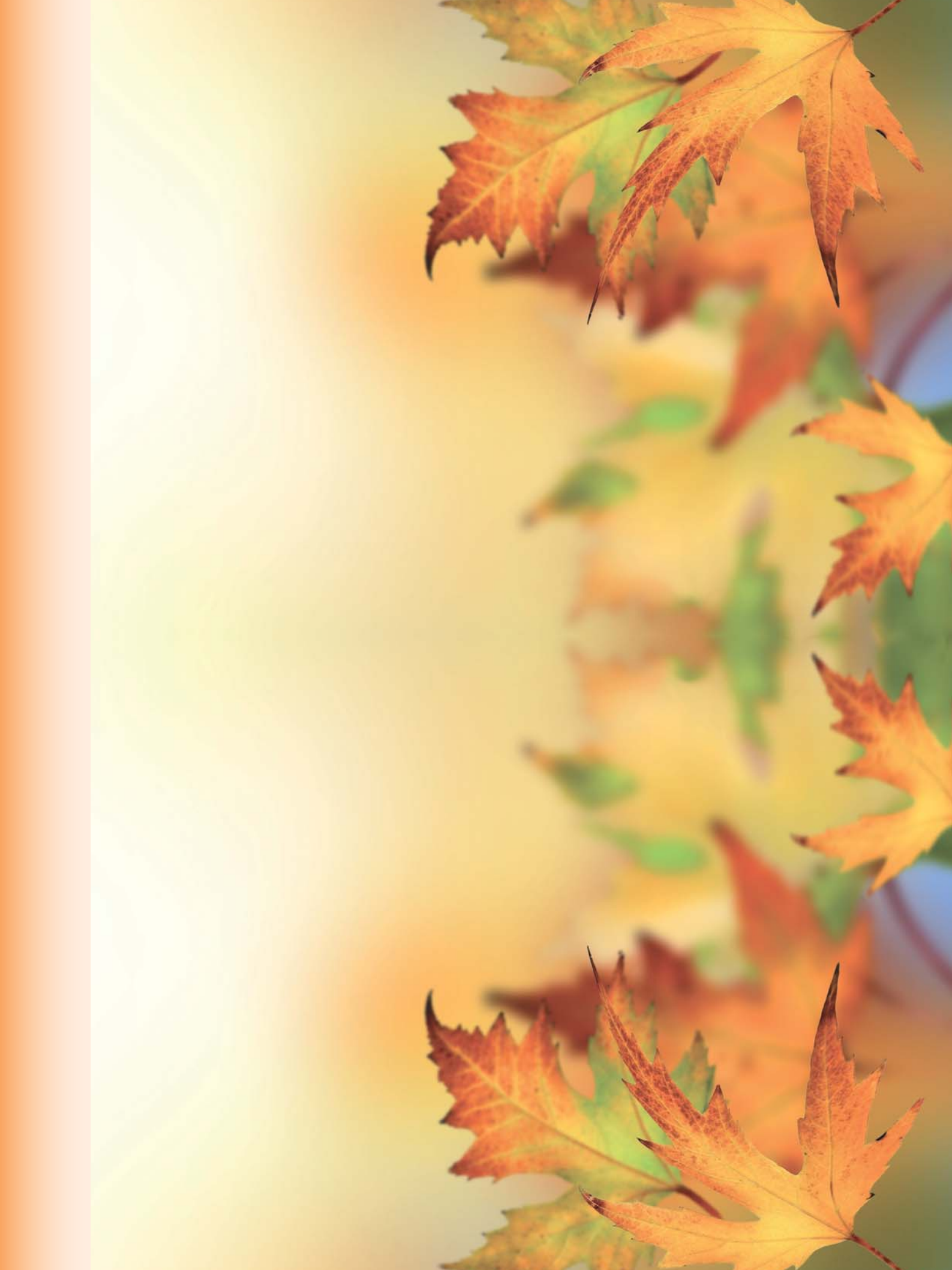


Graphique 2.A1. **Décomposition par région des facteurs de croissance du PIB, en pourcentage : *scénario de référence*** *(suite)*



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593781



© OCDE 2012

Chapitre 3

Changement climatique

par
Virginie Marchal, Rob Dellink, Detlef van Vuuren (PBL), Christa Clapp,
Jean Chateau, Bertrand Magné, Elisa Lanzi, Jasper van Vliet (PBL)

Ce chapitre analyse les implications pour l'action publique du défi du changement climatique. Les engagements de réduction des émissions qui ont été pris à Copenhague/Cancún sont-ils suffisants pour stabiliser le climat et limiter à 2 °C la hausse de la température moyenne mondiale ? Dans la négative, quelles en seront les conséquences ? Quelles autres trajectoires de croissance pourraient permettre de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre (GES) à 450 ppm, niveau qui permettrait d'avoir 50 % de chance de maintenir la hausse des températures à un niveau inférieur à 2 °C ? Quelles politiques sont nécessaires, et quels en seront les coûts et avantages pour l'économie ? Comment le monde peut-il s'adapter au réchauffement qui a déjà commencé ? Pour mieux comprendre ces questions, ce chapitre s'intéresse tout d'abord à l'évolution, d'ici à 2050, des émissions et des concentrations de GES (dont celles liées à l'utilisation des terres), des températures et des précipitations selon le scénario de référence *des* Perspectives de l'environnement *(c'est-à-dire en cas de politiques inchangées). Il passe ensuite en revue les politiques climatiques actuelles. La plupart des pays recourent à des panoplies d'instruments comprenant une tarification du carbone (taxes carbone, systèmes de plafonnement et d'échange des droits d'émission, réforme des subventions aux combustibles fossiles), d'autres mesures destinées à améliorer l'efficacité énergétique, des approches axées sur l'information et des politiques de l'innovation en faveur des technologies propres. Ce chapitre examine ensuite les nouvelles mesures qui devraient être prises, en comparant différents scénarios d'atténuation au* scénario de référence. *Sont ainsi considérés plusieurs scénarios de stabilisation des concentrations de GES à 450 ppm et 550 ppm faisant intervenir différentes options technologiques : capture et stockage du carbone, sortie du nucléaire et utilisation croissante de biocarburants ; liaison des marchés du carbone ; et différentes règles d'attribution des permis d'émission. Ce chapitre s'achève en expliquant pourquoi l'atténuation du réchauffement planétaire exigera d'adopter des politiques transformatives pour concilier l'action à court terme et les objectifs climatiques à long terme, en soupesant les coûts et les avantages de chaque option. Des politiques d'adaptation bien maîtrisées dans le temps seront également indispensables pour limiter les dommages causés par les changements climatiques déjà amorcés.*

MESSAGES CLÉS

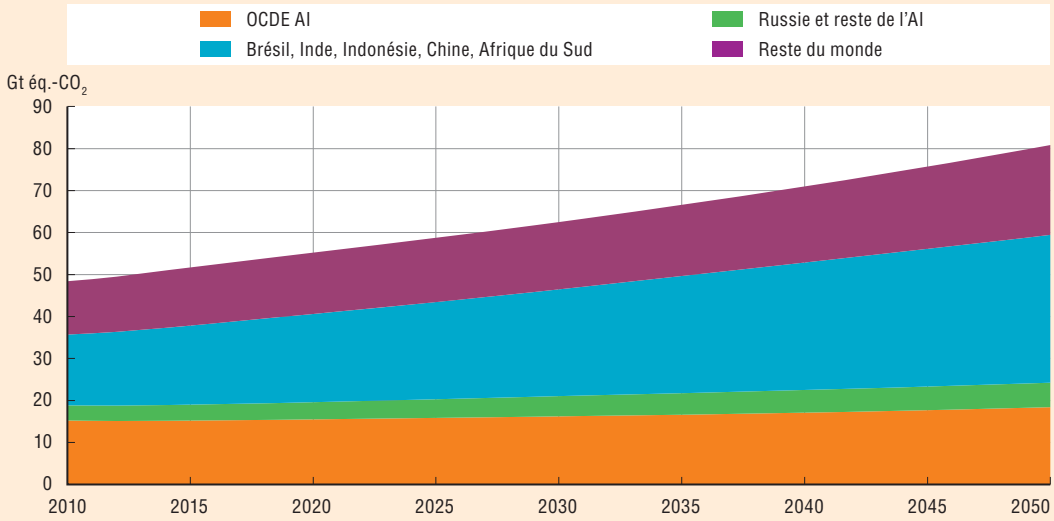
Le changement climatique fait peser un risque systémique mondial sur la société. Il menace les éléments constitutifs de la vie de l'homme sur terre : l'accès à l'eau, la production d'aliments, la santé, l'utilisation des terres, ainsi que le capital physique et naturel. Si l'on n'y prend garde, le changement climatique pourrait bien avoir des conséquences importantes pour le bien-être social, nuire à la croissance économique et exacerber le risque de bouleversements soudains et à grande échelle des systèmes climatiques et écologiques. Le dommage économique pourrait aller jusqu'à représenter une contraction durable de plus de 14 % de la consommation mondiale moyenne par habitant (Stern, 2006). Certains pays pauvres seront vraisemblablement plus durement touchés. Ce chapitre explique pourquoi il sera nécessaire, pour éviter ces coûts économiques, sociaux et environnementaux, d'adopter des politiques efficaces pour placer l'économie sur une trajectoire de croissance sobre en carbone et résiliente aux changements climatiques.

Tendances et projections

État de l'environnement et pressions environnementales

Les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) continuent d'augmenter et **les émissions** mondiales **de dioxyde de carbone (CO_2) d'origine énergétique** ont atteint en 2010 le niveau record de 30.6 gigatonnes (Gt) en dépit de la crise économique. D'après le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, si des mesures plus ambitieuses que celles appliquées actuellement ne sont pas prises, les émissions de GES connaîtront d'ici 2050 une nouvelle hausse de plus de 50 %, imputable principalement à la hausse des émissions de CO_2 liées à l'utilisation d'énergie qui, selon les projections, devrait atteindre 70 %. Cette hausse résultera en grande partie de l'augmentation prévue de 80 % de la demande d'énergie mondiale. Selon les projections, les émissions imputables aux transports devraient doubler en écho à la forte augmentation de la demande de véhicules automobiles dans les pays en développement. Historiquement, les pays de l'OCDE ont été à l'origine de l'essentiel des émissions. Dans les décennies à venir, l'accroissement des émissions sera principalement à mettre au compte de la forte croissance économique dans certains grands pays émergents.

Émissions de GES par région : *scénario de référence*, 2010-2050



Note : « OCDE AI » désigne le groupe des pays de l'OCDE visés à l'annexe I du protocole de Kyoto.
Gt éq.-CO_2 = Gigatonnes d'équivalent-CO_2.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement* de l'OCDE, résultats ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593876



En l'absence de politiques plus ambitieuses, le *scénario de référence* indique que **les concentrations atmosphériques de GES** pourraient atteindre près de 685 parties par million (ppm) d'équivalent-CO_2 en 2050. Ce chiffre dépasse largement les 450 ppm requis pour avoir au moins une chance sur deux de stabiliser la **hausse de la température** moyenne mondiale à 2 degrés Celsius (2 °C), objectif fixé à la Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) tenue à Cancún en 2010. Selon les projections du *scénario de référence*, cet objectif devrait être dépassé en 2050, et la température mondiale moyenne pourrait s'élever de 3 à 6 °C au-dessus des niveaux de l'ère préindustrielle d'ici la fin du siècle. Une telle hausse des températures devrait entraîner de nouvelles altérations des régimes pluviométriques, une fonte des glaciers, une montée du niveau des mers et une intensification sans précédent des événements météorologiques extrêmes. Elle pourrait également dépasser certains « points de bascule » critiques, et causer des effets catastrophiques et irréversibles tant sur les systèmes naturels que sur la société.



D'après les projections, le progrès technologique et les mutations structurelles dans la composition de la croissance devraient aboutir durant les prochaines décennies à une amélioration de **l'intensité énergétique des économies** (c'est-à-dire à un relatif découplage des émissions de GES et de la croissance du PIB), notamment dans les pays de l'OCDE et les économies émergentes que sont le Brésil, la Russie, l'Inde, l'Indonésie, la Chine et l'Afrique du Sud (BRIICS). Cependant, si les tendances actuelles se confirment, ces améliorations régionales seront plus que contrebalancées par l'augmentation de la demande d'énergie mondiale.



Les émissions imputables à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie (UTCATF) devraient reculer dans les 30 prochaines années, avec une intensification de la séquestration du carbone par les forêts. Les émissions nettes de CO_2 liées à l'utilisation des terres devraient devenir négatives aux alentours de 2045 dans les pays de l'OCDE. Ces émissions affichent également une tendance à la baisse dans la plupart des économies émergentes, du fait du probable ralentissement de la déforestation. Dans le reste du monde (RdM), les émissions imputables à l'utilisation des terres progresseront jusqu'en 2050, du fait de l'expansion des superficies agricoles, en Afrique en particulier.

Réponses apportées par les pouvoirs publics



Les engagements pris par les pays à l'égard des objectifs de réduction des émissions de GES et les mesures au titre de la CCNUCC annoncées à Copenhague et à Cancún ont marqué un premier pas important dans le sens d'une solution à l'échelle planétaire. Cependant, les **mesures d'atténuation** annoncées par les pays ne sont pas suffisantes pour atteindre l'objectif de 2 °C de la façon la plus économique. Le maintien de la hausse des températures à 2 °C en partant de ces engagements, impliquera après 2020 d'importants surcoûts pour faire en sorte que les concentrations atmosphériques de GES ne dépassent pas 450 ppm sur le long terme. Une action internationale plus ambitieuse est donc nécessaire aujourd'hui et après 2020. Par exemple, 80 % des émissions prévues du secteur de l'électricité en 2020 sont dès à présent inéluctables, puisqu'elles seront le fait de centrales actuellement en service ou en construction. Le monde devient chaque année un peu plus tributaire de systèmes à forte intensité de carbone. La fermeture prématurée de ces centrales, ou leur réaménagement (fort coûteux) pour assurer la capture et la séquestration du carbone (CSC), seront le seul moyen de s'affranchir de cette dépendance.



Des progrès ont été réalisés dans l'élaboration de stratégies nationales **d'adaptation au changement climatique**. Ces stratégies encouragent en outre l'évaluation et la gestion des risques climatiques dans les secteurs concernés. Toutefois, bien du chemin reste à parcourir avant que soient mis en place les instruments et institutions qui permettront d'incorporer explicitement ces risques dans les politiques et projets, de renforcer la participation du secteur privé aux initiatives d'adaptation et d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans la coopération pour le développement.

Mesures à prendre pour construire une économie sobre en carbone résiliente au changement climatique

Il nous faut agir dès maintenant pour inverser les tendances à l'augmentation des émissions, stabiliser les concentrations de GES à 450 ppm d'équivalent-CO_2 et multiplier nos chances de limiter à 2 °C la hausse de la température moyenne mondiale. Une action ambitieuse en faveur de l'atténuation réduit considérablement le risque de changement climatique catastrophique. Les coûts à assumer pour respecter l'objectif de 2 °C entraîneraient une baisse de seulement 0.2 points de pourcentage du taux de croissance annuel moyen du PIB mondial qui reculerait de 3.5 % à 3.3 %, et représenteraient environ 5.5 % du PIB mondial en 2050. Ces coûts doivent être comparés au coût potentiel de l'inaction qui pourrait atteindre, selon certaines estimations, 14 % de la consommation mondiale moyenne par habitant.

Différer l'action coûte cher. Si l'on tarde à agir ou si les mesures prises d'ici à 2020 sont trop timorées (par exemple si l'on se contente de mettre en œuvre les engagements pris à Copenhague et à Cancún ou d'attendre l'arrivée de technologies plus performantes), il faudra redoubler d'efforts et mener une action de plus grande ampleur après 2020. Cela fera doubler les coûts en 2050 et pourrait en outre accroître les risques environnementaux.

La prudence exige, pour répondre au changement climatique, de conjuguer une politique ambitieuse d'atténuation pour empêcher les impacts du changement climatique de s'aggraver, et des politiques d'adaptation maîtrisées dans le temps pour limiter les dommages des effets inéluctables. Compte tenu des budgets serrés dont disposent les administrations publiques, il sera essentiel, pour financer la transition, de déterminer quelles sont les solutions les moins onéreuses et d'associer le secteur privé à l'effort. Il conviendra en outre d'éviter les coûteux chevauchements entre les différentes politiques. L'action s'articulera autour de plusieurs grands axes prioritaires, à savoir :

- **S'adapter aux changements climatiques inévitables.** Les concentrations de GES déjà présents dans l'atmosphère rendent inéluctables certaines modifications du climat. Leur impact sur les populations et les écosystèmes dépendra de la façon dont le monde s'adapte à ces changements. Des mesures d'adaptation devront être mises en œuvre pour préserver les conditions de vie des générations présentes et futures dans le monde entier.
- **Intégrer l'adaptation à la coopération pour le développement.** La gestion des risques climatiques est étroitement liée au développement économique : les impacts seront davantage ressentis par les populations les plus pauvres et les plus vulnérables. Les autorités nationales et les organismes d'aide ont un rôle clé à jouer et l'intégration de stratégies d'adaptation au changement climatique dans tous les projets de développement est désormais essentielle. Il s'agira notamment d'évaluer les risques et opportunités climatiques au niveau de l'administration centrale des pays, au niveau sectoriel, au niveau des projets, ainsi que dans des contextes urbains et ruraux. Les impacts climatiques étant incertains, il est important de maintenir une certaine flexibilité.
- **Définir des objectifs d'atténuation des émissions de GES clairs, crédibles et plus stricts à l'échelle de toute l'économie** pour guider l'action publique et les décisions d'investissement. La participation de toutes les grandes sources d'émission, de tous les secteurs et de tous les pays devrait permettre de réduire les coûts de l'atténuation et de mieux répondre aux risques de « fuite » et aux craintes en matière de compétitivité.

- **Fixer un prix au carbone.** Les présentes *Perspectives* reposent sur un scénario 450 *base* selon lequel la réalisation de l'objectif de 2 °C exigera de fixer des prix du carbone clairs qui seront relevés au fil du temps. Des instruments de marché tels que les taxes carbones ou les systèmes d'échange de droits d'émission pourront être utilisés à cette fin. Ces instruments peuvent offrir une incitation dynamique en faveur de l'innovation et du changement technologique et servir à orienter les fonds privés vers des investissements à faible intensité carbone et résilients au changement climatique. Ils peuvent par ailleurs générer des recettes qui soulageront les contraintes budgétaires auxquelles sont soumis les gouvernements et fournir dans certains cas de nouvelles sources de fonds publics. Ainsi, si les engagements et les mesures prévus par l'Accord de Copenhague pour les pays de l'annexe I devaient être mis en œuvre sous la forme d'une taxe sur le carbone ou d'un système de plafonnement et d'échange des droits d'émission dans le cadre duquel la totalité des permis serait adjugée aux enchères, les recettes budgétaires pourraient s'élever en 2020 à plus de 250 milliards USD, soit 0.6 % du PIB de ces pays.
- **Réformer les politiques de soutien des combustibles fossiles.** La production et l'utilisation de combustibles fossiles ont bénéficié, d'après les estimations, d'environ 45-75 milliards USD de subventions annuelles au cours des dernières années dans les pays de l'OCDE ; ces subventions se sont élevées à 409 milliards USD dans les économies émergentes et en développement en 2010 (données de l'AIE). Les simulations des *Perspectives* de l'OCDE montrent que l'élimination progressive des subventions aux combustibles fossiles dans les pays en développement pourrait faire reculer de 6 % les émissions mondiales de GES liées à l'énergie, encourager l'amélioration de l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables, et par ailleurs accroître les fonds publics disponibles pour financer l'action climatique. Cependant, la réforme des subventions aux énergies fossiles devra être mise en œuvre avec doigté en tenant compte des effets négatifs qu'elle pourrait avoir sur les ménages ce qui nécessitera des mesures appropriées.
- **Encourager l'innovation et soutenir les nouvelles technologies propres.** Le coût de l'atténuation pourrait être sensiblement réduit si la R-D parvenait à produire des technologies radicalement nouvelles. Ainsi, certaines technologies émergentes, telles que la biomasse associée à la capture et séquestration de carbone pour la production d'énergie, permettent d'absorber le carbone présent dans l'atmosphère. Le perfectionnement de ces technologies et la recherche de technologies nouvelles nécessitera de fixer un prix du carbone clair, de cibler la R-D financée sur fonds publics et de prendre des mesures pour réduire les risques financiers.
- **Compléter la tarification du carbone par une réglementation bien conçue.** La tarification du carbone et le soutien de l'innovation pourraient ne pas suffire à faire en sorte que toutes les options permettant d'améliorer l'efficacité énergétique soient adoptées ou accessibles. Des instruments réglementaires ciblés (tels que les normes de rendement énergétique des combustibles, des véhicules et des bâtiments) pourraient également s'avérer nécessaires. Si ces instruments sont conçus de façon à lever les obstacles au fonctionnement du marché et éviter un coûteux chevauchement avec les instruments de marché, ils peuvent accélérer la diffusion des technologies propres, encourager l'innovation et permettre de réduire les émissions au meilleur coût. La contribution nette de la panoplie d'instruments à l'amélioration des conditions sociales, de l'efficacité environnementale et de l'efficience économique devra être régulièrement examinée.

1. Introduction

Le changement climatique constitue un sérieux risque systémique d'envergure planétaire, qui fait peser une menace sur la vie comme sur l'économie. Les observations concernant la hausse des températures mondiales moyennes, la fonte généralisée de la neige et de la glace, et l'élévation du niveau moyen mondial de la mer indiquent que le réchauffement du climat a déjà commencé (GIEC, 2007a). Si elle se poursuit, l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre pourrait entraîner un vaste éventail d'impacts négatifs et déclencher des changements catastrophiques irréversibles et de grande ampleur (GIEC, 2007b) qui surpasseront la capacité d'adaptation des systèmes naturels et sociaux. Les coûts environnementaux, sociaux et économiques de l'inaction seront selon toute vraisemblance élevés. Les accords conclus à la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques tenue à Cancún, Mexique, en 2010 ont reconnu la nécessité de réduire très sensiblement les émissions mondiales de GES afin de limiter la hausse moyenne de la température mondiale à 2 degrés Celsius (2 °C) par rapport aux niveaux d'avant l'ère industrielle (CCNUCC, 2011a). Si elle est supérieure à 2 °C, la hausse des températures pourrait faire franchir des seuils critiques, ou points de basculement, aux composantes du climat terrestre (AEE, 2010).

Ce chapitre cherche à analyser ce que doivent faire les pouvoirs publics pour relever le défi du changement climatique. Les engagements actuels de réduction des émissions sont-ils suffisants pour stabiliser le changement climatique et limiter à 2 °C la hausse de la température moyenne mondiale ? Si ce n'est pas le cas, quelles en seront les conséquences ? Quelles autres trajectoires de croissance pourraient permettre d'atteindre cet objectif ? Quelles mesures doivent être prises et quels en seront les coûts et les avantages pour l'économie ? Enfin, et surtout, comment le monde peut-il s'adapter aux changements déjà amorcés ?

Pour aider à mieux comprendre ces questions, ce chapitre commence par examiner une situation de maintien du *statu quo* en utilisant les projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* afin de déterminer ce que serait le climat en 2050 en cas de politiques inchangées[1]. Différents scénarios sont ensuite comparés à ce *scénario de référence* pour comprendre comment la situation pourrait être améliorée. La section 3 (Changement climatique : politiques actuelles) indique pourquoi, face au changement climatique, la prudence exige d'agir sur deux plans en adoptant d'une part une politique ambitieuse d'atténuation[2] pour empêcher les impacts du changement climatique de s'aggraver, et d'autre part une politique d'adaptation[3] maîtrisée dans le temps pour limiter les dommages des effets d'ores et déjà inéluctables. Les politiques d'atténuation et d'adaptation sont toutes deux essentielles et se révèlent en outre complémentaires. La plupart des pays ont commencé à agir aux niveaux international, national et local, en s'appuyant sur une panoplie d'instruments d'action comprenant la tarification du carbone, d'autres mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique, des approches axées sur l'information et des stratégies d'innovation. Certains progrès peuvent être observés, mais il en faudra beaucoup plus pour atteindre l'objectif de 2 °C.

Pour conclure, le chapitre explique pourquoi il sera nécessaire, pour contenir le réchauffement planétaire, de mettre en œuvre des politiques transformatives afin de concilier l'action à court terme et les objectifs climatiques à long terme en soupesant les coûts et avantages des différentes options. La transition vers une trajectoire de développement sobre en carbone et résiliente au changement climatique exige des moyens financiers, de l'innovation et des stratégies qui prennent également en charge les impacts négatifs sur la compétitivité et l'emploi. Cette trajectoire peut également créer de nouvelles opportunités dans le cadre d'une stratégie pour une croissance verte. Ainsi, la réflexion présentée ici montre qu'il est possible, moyennant des politiques appropriées et une coopération internationale, de faire face au changement climatique sans imposer de limites aux aspirations des pays à la croissance et à la prospérité.

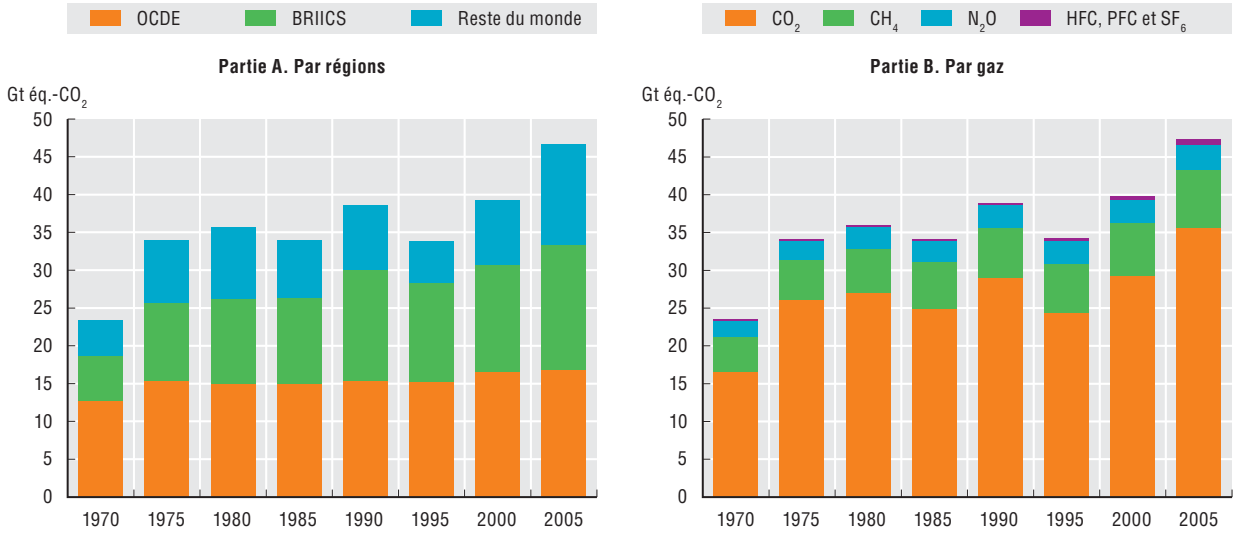
2. Grandes tendances et projections

Émissions et concentrations de gaz à effet de serre

Tendances historiques et évolutions récentes

Plusieurs gaz contribuent au changement climatique. Le protocole de Kyoto[4] vise à limiter les émissions de six d'entre eux, responsables de l'essentiel du réchauffement planétaire. Les trois plus importants sont le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'hémioxyde d'azote (N_2O), qui comptent actuellement pour 98 % des émissions de GES visés par le protocole de Kyoto (voir le graphique 3.1). Les autres gaz, les hydrofluorocarbones (HFC), les perfluorocarbones (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF_6), représentent moins de 2 %, mais leurs émissions totales tendent à augmenter. Ces gaz ont différents potentiels de réchauffement et différentes durées de vie dans l'atmosphère. Outre ces six GES, plusieurs autres substances atmosphériques ont un effet de réchauffement (les chlorofluorocarbones, ou CFC, et le noir de carbone, par exemple – voir l'encadré 3.14) ou de refroidissement (les aérosols sulfatés, par exemple). Sauf mention contraire, dans le présent chapitre le terme

Graphique 3.1. **Émissions de GES, 1970-2005**



Note : Dans ce graphique, les BRIICS n'incluent pas la République d'Afrique du Sud qui fait partie du groupe « reste du monde » (RdM). Les émissions de gaz fluorés ne sont pas comptabilisées dans les totaux par région.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593800

« émissions » renvoie exclusivement aux gaz de Kyoto, tandis que les impacts climatiques décrits prennent en considération tous les gaz ayant un effet de forçage du climat (le terme « agent de forçage radiatif » s'applique à tous les gaz ou particules qui modifient le bilan énergétique de la Terre en absorbant ou réfléchissant le rayonnement solaire).

Les émissions mondiales de GES ont été multipliées par deux depuis le début des années 70 (graphique 3.1), du fait principalement de la croissance économique et de l'utilisation grandissante d'énergies fossiles dans les pays en développement. Historiquement, les pays de l'OCDE ont été à l'origine de l'essentiel des émissions de CO_2 mais la part du Brésil, de la Russie, de l'Inde, de l'Indonésie, de la Chine et de l'Afrique du Sud (BRIICS) dans les émissions mondiales de GES s'est accrue, passant de 30 % dans les années 70 à 40 % aujourd'hui.

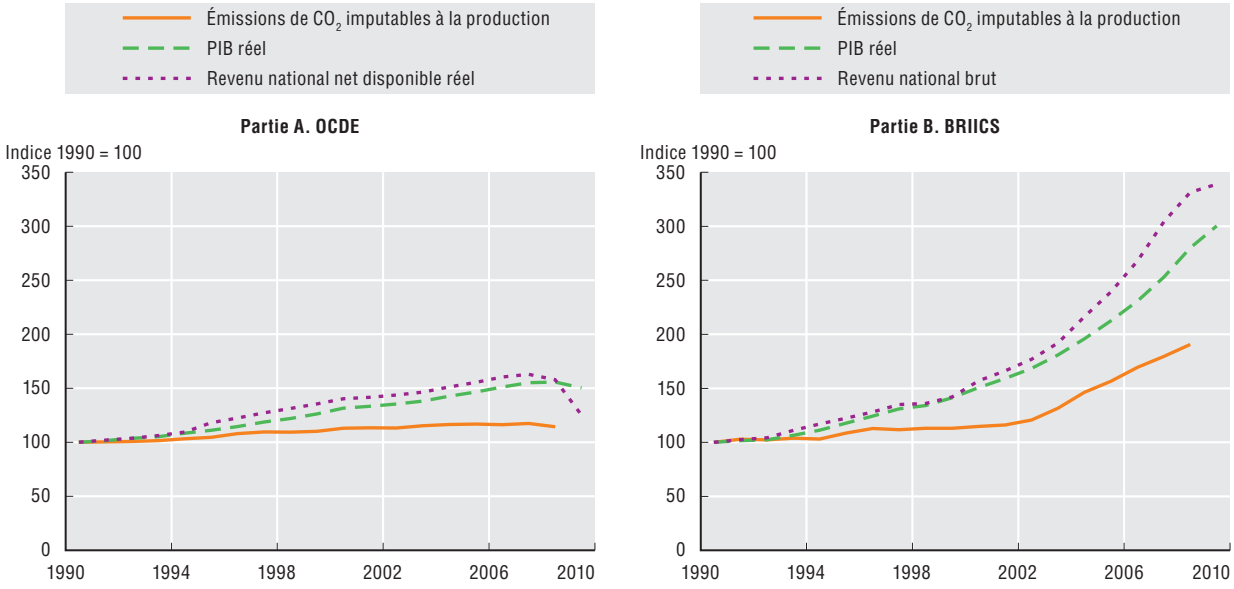
Dans l'ensemble, les concentrations moyennes mondiales des divers gaz à effet de serre dans l'atmosphère n'ont cessé d'augmenter depuis que des données sont enregistrées. En 2008, la concentration de l'ensemble des GES visés par le protocole de Kyoto représentait 438 parties par million (ppm) d'équivalent-CO_2 (éq.-CO_2) soit 58 % de plus qu'avant l'ère industrielle (AEE, 2010a). Ce chiffre est très proche du seuil de 450 ppm associé à une probabilité de 50 % de dépasser l'objectif d'un changement de 2 °C de la température moyenne mondiale (voir la section 4).

Émissions de dioxyde de carbone. Les émissions de CO_2 représentent aujourd'hui environ 75 % des émissions mondiales de GES. Bien que les émissions mondiales de CO_2 aient reculé, de 1.5 %, en 2009 sous l'effet de la récession économique, les évolutions n'ont pas été les mêmes selon la situation de chaque pays : les émissions des pays en développement (non énumérés à l'annexe I, voir la section 3.3) ont continué de progresser de 3 %, la Chine et l'Inde arrivant en tête, alors que celles des pays développés ont fortement régressé – de 6.5 % (AIE, 2011a). La plupart des émissions de CO_2 sont à mettre au compte de la production d'énergie, la combustion des combustibles fossiles comptant pour les deux tiers des émissions mondiales de CO_2. Les indications concernant les tendances de 2010 donnent à penser que les émissions de CO_2 liées à l'énergie rebondiront pour atteindre le niveau sans précédent de 30.6 gigatonnes (Gt CO_2), enregistrant ainsi une hausse de 5 % par rapport au précédent record atteint en 2008[5]. Le ralentissement des émissions observé dans la zone de l'OCDE a été plus que compensé par la hausse des émissions dans les pays non membres, principalement en Chine – pays dont les émissions de GES liés à l'énergie dépassent celles de tous les autres pays depuis 2007 (AIE, 2011a).

En 2009, les émissions de CO_2 résultant de la combustion de combustibles fossiles étaient imputables au charbon (43 %), au pétrole (37 %) et au gaz naturel (20 %). La rapide croissance économique observée à l'heure actuelle, notamment dans les BRIICS, est en grande partie tributaire du développement de l'énergie produite par des centrales au charbon à forte intensité de carbone, sachant que les réserves de charbon sont importantes comparées à celles d'autres ressources énergétiques disponibles en quantité limitée. Bien qu'en termes économiques l'intensité des émissions (définie comme l'utilisation d'énergie rapportée au PIB) varie sensiblement selon les régions, les émissions de CO_2 augmentent plus lentement que le PIB dans la plupart des pays de l'OCDE et des économies émergentes (graphique 3.2). En d'autres termes, on assiste à un « découplage » relatif des émissions de CO_2 et de la croissance économique.

Par habitant, les pays de l'OCDE continuent d'émettre davantage de CO_2 que la plupart des autres régions du monde, puisqu'en 2008 leurs émissions de CO_2 par habitant s'élevaient en moyenne à 10.6 tonnes, contre 4.9 tonnes pour la Chine, et 1.2 tonne en Inde (graphique 3.3).

Graphique 3.2. **Découplage des évolutions tendancielles : émissions de CO_2 et PIB, OCDE/BRIICS, 1990-2010**

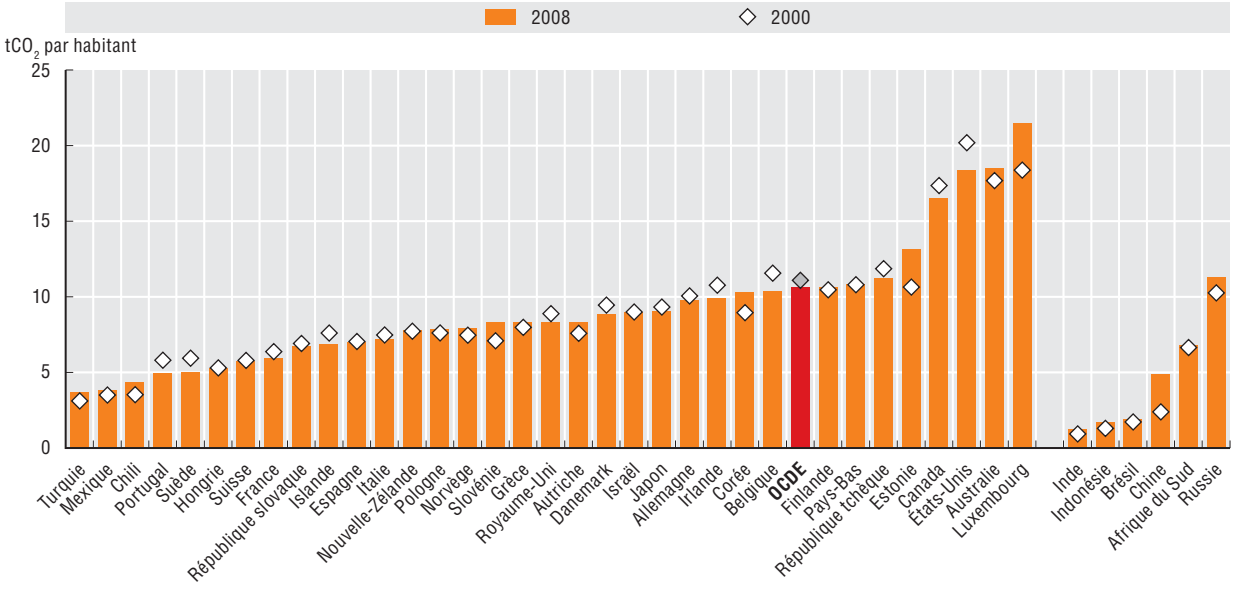


Note : Les données relatives au CO_2 ont trait aux émissions imputables à l'utilisation d'énergie (combustion de combustibles fossiles).

Source : Adapté d'après OCDE (2011e), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE, Paris, à partir des données de l'OCDE, de l'AIE et de la CCNUCC.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593819

Graphique 3.3. **Émissions par habitant de CO_2 d'origine énergétique, OCDE/BRIICS : 2000 et 2008**



Note : Émissions sur la base de la production, en tonnes de CO_2 par habitant.

Source : D'après OCDE (2011e), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE, Paris, et de données de l'AIE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593838

Toutefois, les émissions par habitant progressent rapidement dans les économies en pleine expansion. Elles ont par exemple doublé en Chine entre 2000 et 2008. Ces chiffres résultent de la pratique usuelle qui veut que les émissions soient attribuées au pays sur le territoire duquel elles ont lieu, selon ce que l'on appelle parfois la « méthode de comptabilisation des émissions sur la base de la production ». Si l'on ventile les émissions en fonction de leur utilisation finale, c'est-à-dire selon une méthode de comptabilisation sur la base de la consommation, une partie de l'augmentation des émissions dans les pays du groupe BRIICS sera imputée aux pays de l'OCDE, puisqu'elles sont « incorporées » dans les exportations des pays du groupe BRIICS à destination de la zone de l'OCDE (voir l'encadré 3.1).

Autres gaz. Le méthane est le second plus grand contributeur au réchauffement anthropique, son potentiel de réchauffement étant 25 fois supérieur à celui du CO_2 sur une durée de 100 ans. Les émissions de méthane contribuent à plus d'un tiers du réchauffement anthropique actuel. Le méthane étant un agent de forçage éphémère, il est essentiel d'en réduire les émissions pour ralentir le réchauffement climatique à court terme et éviter d'atteindre les points de basculement du climat planétaire (voir ci-dessous). Les émissions de méthane sont dues à des sources anthropiques et naturelles ; plus de 50 % des émissions mondiales de méthane proviennent d'activités humaines[6], telles que la production de combustibles fossiles, l'élevage (fermentation entérique du bétail et gestion du fumier), la riziculture, la combustion de la biomasse et la gestion des déchets. Les sources naturelles de méthane comprennent quant à elles les zones humides, les hydrates de gaz, le permafrost, les termites, les océans, les masses d'eau douce, les sols non marécageux et d'autres sources telles que les incendies incontrôlés.

L'hémioxyde d'azote (N_2O) a un fort potentiel de réchauffement planétaire du fait de sa longue durée de vie dans l'atmosphère (à peu près 120 ans) et de ses effets de piégeage de la chaleur – environ 310 fois supérieurs à ceux du CO_2. Environ 40 % des émissions de N_2O sont d'origine anthropique, et sont principalement dues à la gestion des sols, à la combustion fixe ou mobile de combustibles fossiles, à la production d'acide adipique (utilisé pour la production de nylon), ou encore à celle d'acide nitrique (production d'engrais et extraction minière).

Les CFC et les HCFC sont de puissants GES d'origine purement anthropique et sont utilisés pour un large éventail d'applications. Comme ils détruisent par ailleurs la couche d'ozone, ils ont été progressivement abandonnés en application du protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Les HFC et les PFC sont utilisés en remplacement des CFC. Leur contribution au réchauffement planétaire est encore relativement faible mais elle progresse rapidement. Ces substances sont issues des processus chimiques impliqués dans la métallurgie, la réfrigération, le gonflement des mousses et la production de semi-conducteurs.

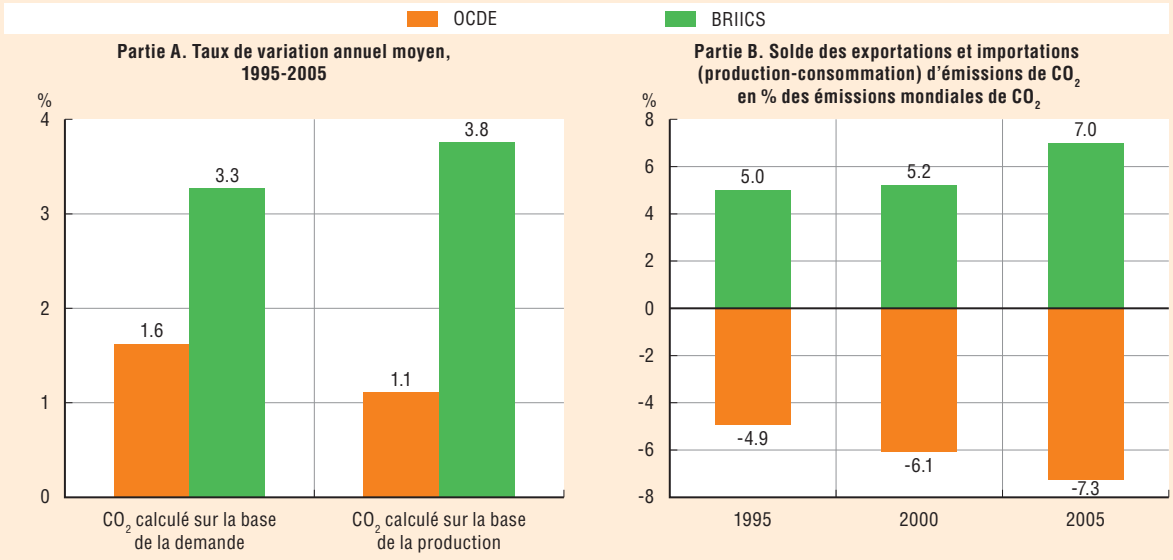
Projections des émissions futures

Cette section expose les principaux résultats du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* dont l'horizon est 2050 et qui considère une situation de *statu quo* en l'absence de toute nouvelle mesure et se base sur les projections socio-économiques décrites dans le chapitre 2 (voir l'annexe 3.A pour plus de détails sur les hypothèses retenues pour le *scénario de référence*). Toute projection des émissions à venir dépend de facteurs fondamentalement incertains tels que la croissance démographique, les gains de productivité, les prix des combustibles fossiles et les gains d'efficacité énergétique. Ce

Encadré 3.1. **Émissions calculées sur la base de la production ou sur la base de la demande**

Le système de comptabilisation des émissions de CO_2 sur la base de la production attribue les émissions au pays sur le territoire duquel a lieu la production – il ne prend pas en considération les émissions induites par la demande finale intérieure. Si elle se base sur la consommation, la comptabilité diffère des inventaires traditionnels reposant sur la production en raison des importations et des exportations qui sont, directement ou indirectement, responsables d'émissions de CO_2. Les émissions incorporées dans les biens importés sont ajoutées aux émissions directes dues à la production intérieure, tandis que les émissions liées aux exportations sont déduites. Si l'on compare les deux approches, on constate que les émissions totales générées pour répondre à la demande des pays de l'OCDE ont progressé plus rapidement que les émissions liées à la production dans ces pays (graphique 3.4).

Graphique 3.4. **Évolution des émissions de CO_2 sur la base de la production et sur la base de la demande, 1995-2005**



Source : OCDE (2011e), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE, Paris, et de données de l'AIE.
StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593857

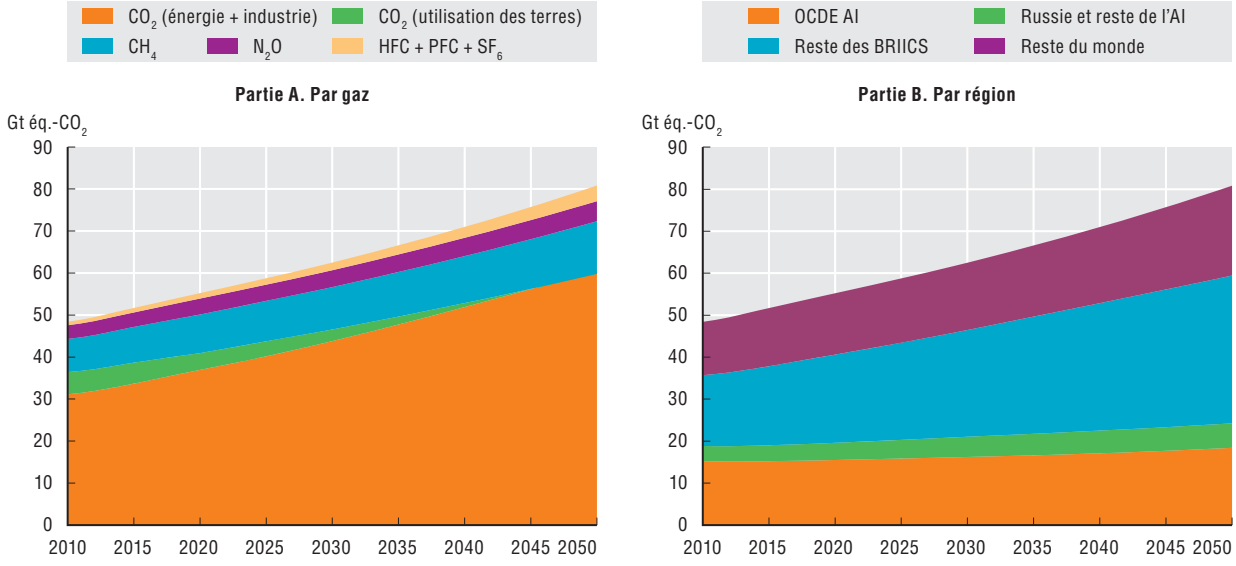
Les comparaisons internationales doivent toutefois être interprétées avec prudence car les écarts entre les pays sont dus à une série de facteurs, dont les efforts d'atténuation du changement climatique, les tendances en matière de spécialisation internationale, et les avantages concurrentiels relatifs des divers pays. Si la rapide augmentation des émissions sur la base de la production observée dans les BRIICS peut en partie refléter le redéploiement mondial de l'industrie lourde et des activités manufacturières en direction des économies émergentes, ces chiffres ne devraient pas être confondus avec le phénomène des fuites de carbone* car ils reposent sur les évolutions tendancielles observées de la production, de la consommation et de la structure des échanges.

* Il y a fuite de carbone lorsque la politique d'atténuation dans un pays entraîne une augmentation des émissions dans d'autres pays, ce qui érode son efficacité environnementale générale. Une fuite peut se produire lorsque l'activité économique s'oriente vers des pays non réglementés ou lorsque la consommation d'énergies fossiles enregistre une hausse induite par des prix des combustibles hors taxes plus bas résultant des mesures d'atténuation.

scénario donne à penser que les émissions de GES iront toujours croissant jusqu'en 2050. Malgré d'importants gains d'efficacité énergétique, les émissions d'origine énergétique et industrielle vont, d'après les projections, plus que doubler d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 1990. Dans le même temps, les émissions nettes générées par le changement d'affectation des terres devraient diminuer rapidement (encadré 3.2). Selon les projections, l'augmentation des émissions sera principalement à mettre au compte des BRIICS (graphique 3.5). Cette situation est due à la croissance de la population et du PIB par habitant, à l'origine d'une constante augmentation des émissions de GES par habitant. Dans la zone de l'OCDE, les émissions devraient progresser plus lentement, du fait en partie du déclin démographique et du ralentissement de la croissance économique, ainsi que des politiques climatiques existantes. Dans l'ensemble, la contribution des pays de l'OCDE aux émissions mondiales de GES devrait se contracter pour tomber à 23 %, mais ces pays resteront néanmoins à l'origine des plus fortes émissions par habitant (graphique 3.6).

Émissions de dioxyde de carbone. Les émissions de CO_2 devraient continuer d'apporter la plus forte contribution aux émissions mondiales de GES, la croissance économique reposant sur l'utilisation de combustibles fossiles dans les secteurs énergétiques et industriels. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) estime que, à moins que les politiques mises en œuvre aboutissent à une fermeture prématurée des installations existantes, 80 % des émissions prévues du secteur de l'énergie électrique en 2020 sont dès à présent inéluctables, puisqu'elles seront le fait de centrales actuellement en service ou en construction (AIE, 2011b). Dans le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, la demande d'énergie augmente de 80 % entre 2010 et 2050. Selon les projections, les émissions liées au secteur des transports devraient quant à elles doubler, pour partie du fait de la forte augmentation de la demande de véhicules automobiles dans les pays en développement et de l'expansion du trafic aérien (graphique 3.7). Les émissions de CO_2

Graphique 3.5. **Émissions de GES : *scénario de référence*, 2010-2050**

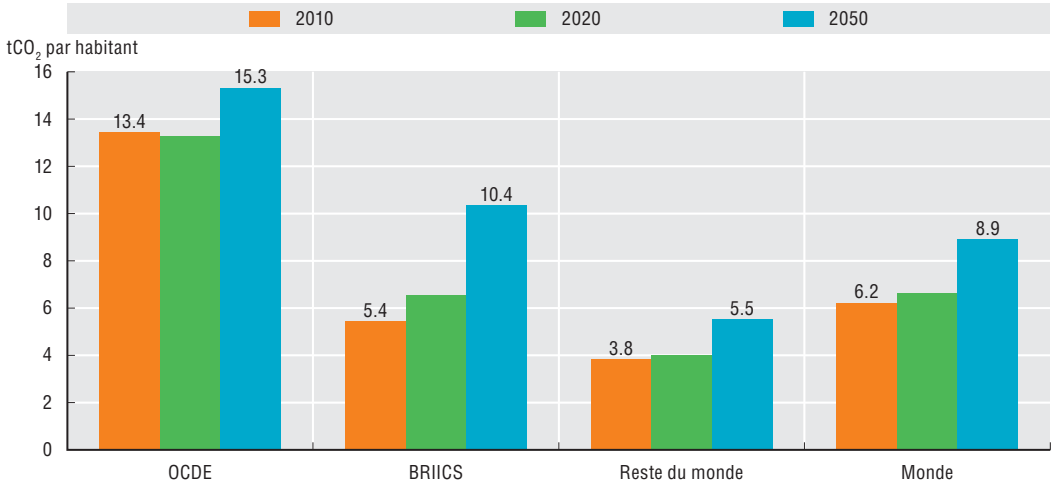


Note : « OCDE AI » désigne le groupe des pays de l'OCDE également visés à l'annexe I du protocole de Kyoto.
Gt éq.-CO_2 = Gigatonnes d'équivalent-CO_2.

Source : *Scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593876

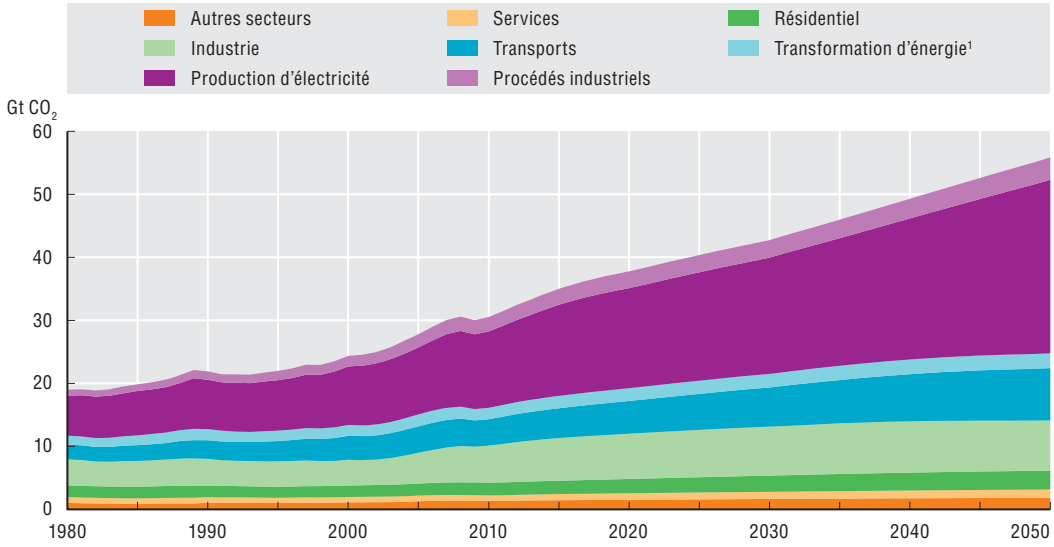
Graphique 3.6. **Émissions de GES par habitant : *scénario de référence*, 2010-2050**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats des modèles IMAGE/ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593895

Graphique 3.7. **Émissions mondiales de CO_2 par source : *scénario de référence*, 1980-2050**



1. La catégorie « transformation d'énergie » comprend les émissions des raffineries de pétrole et des installations de liquéfaction du charbon et du gaz.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593914

imputables à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie (UTCATF), dopées ces vingt dernières années par la rapide conversion des forêts en pâturages et en terres cultivables dans les régions tropicales, devraient diminuer au fil des ans, ce secteur se transformant même en un puits net d'émissions à l'horizon 2040-50 dans les pays de l'OCDE (graphiques 3.5 et 3.8 et encadré 3.2).

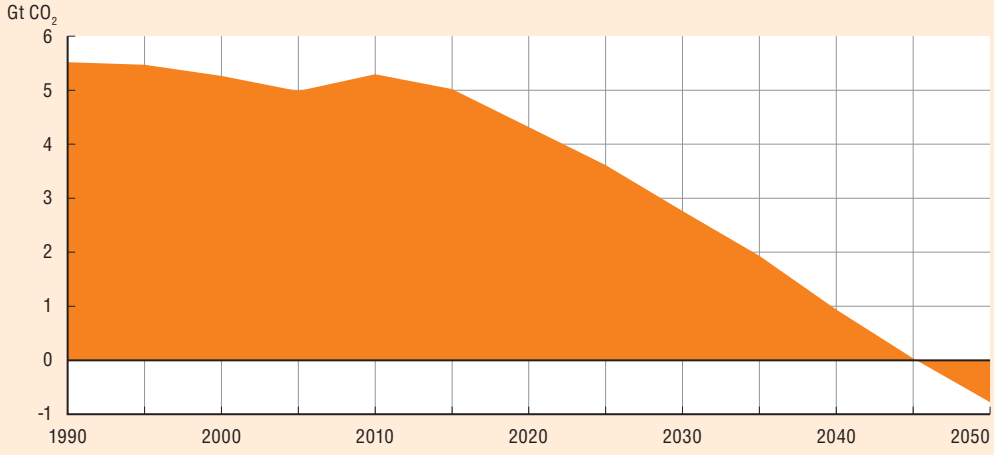
Autres gaz. Les émissions de méthane et d'hémioxyde d'azote devraient augmenter à l'horizon 2050. Les superficies agricoles ne devraient s'accroître que lentement mais l'intensification des pratiques agricoles (l'utilisation d'engrais, en particulier) dans les pays en

Encadré 3.2. **Émissions de CO_2 liées à l'utilisation des terres – évolutions passées et projections**

Par le passé, les émissions nettes mondiales de CO_2 liées aux changements d'affectation des terres (principalement à la déforestation nécessaire pour étendre le territoire agricole) ont été de l'ordre de 4 à 8 Gt CO_2 par an. D'autres facteurs contribuent également aux émissions liées à l'utilisation des terres, comme par exemple la dégradation des forêts et l'urbanisation.

Dans le *scénario de référence*, la superficie agricole mondiale va croissant jusqu'en 2030 pour ensuite amorcer un recul sous l'effet conjugué de plusieurs facteurs sous-jacents tels que les évolutions démographiques et l'amélioration des rendements agricoles (voir le chapitre 2 pour une analyse détaillée). Cependant, les projections concernant l'évolution des superficies agricoles varient considérablement selon les régions. Dans les pays de l'OCDE, un léger recul (de 2 %) est projeté à l'horizon 2050. Pour le groupe BRIICS dans son ensemble, les projections font apparaître une baisse de plus de 17 %, conséquence en particulier d'un déclin démographique en Russie et en Chine (à compter de 2035). Pendant les prochaines décennies tout au moins, une poursuite de l'expansion des superficies agricoles n'en est pas moins attendue dans le reste du monde, où la population continue d'augmenter et où la transition vers un régime alimentaire plus calorique et plus carné devrait probablement se poursuivre. Ces évolutions de l'agriculture figurent parmi les principaux déterminants du changement d'utilisation des terres et, partant, des évolutions des émissions de GES liées à l'utilisation des terres (graphique 3.8). À partir de 2045, les projections font apparaître une nette tendance à la reforestation – les émissions de CO_2 imputables à l'utilisation des terres devenant négatives.

Graphique 3.8. **Émissions de CO_2 liées à l'utilisation des terres : *scénario de référence*, 1990-2050**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593933

Ces projections sont toutefois associées à d'importantes incertitudes en raison des variations annuelles et de l'imperfection des données concernant l'utilisation des terres et la quantité exacte des différents stocks de carbone*. Jusqu'ici, l'augmentation de la production agricole résultait principalement de la hausse des rendements agricoles (80 %), l'expansion de la superficie agricole ne comptant que pour 20 % (Smith *et al.*, 2011). Si l'amélioration des rendements agricoles se révélait moins importante que prévue, la superficie agricole totale mondiale pourrait ne pas diminuer, mais se stabiliser voire lentement progresser.

* Les émissions liées à l'utilisation des terres peuvent être plus volatiles que les émissions liées à l'énergie. Par exemple, ces émissions peuvent dépendre non seulement des changements d'utilisation mais aussi de la gestion des terres. De plus, les méthodes utilisées pour évaluer les émissions liées à l'utilisation des terres présentent bien plus d'incertitudes, celles-ci étant moins solidement établies.

développement et l'évolution des régimes alimentaires (la consommation croissante de viande) devraient favoriser l'augmentation de ces émissions. Dans le même temps, les émissions de HFC et de PFC, stimulées par la demande croissante d'agents réfrigérants et par leur utilisation dans la production de semi-conducteurs, continueront de progresser à un rythme rapide.

Impacts du changement climatique

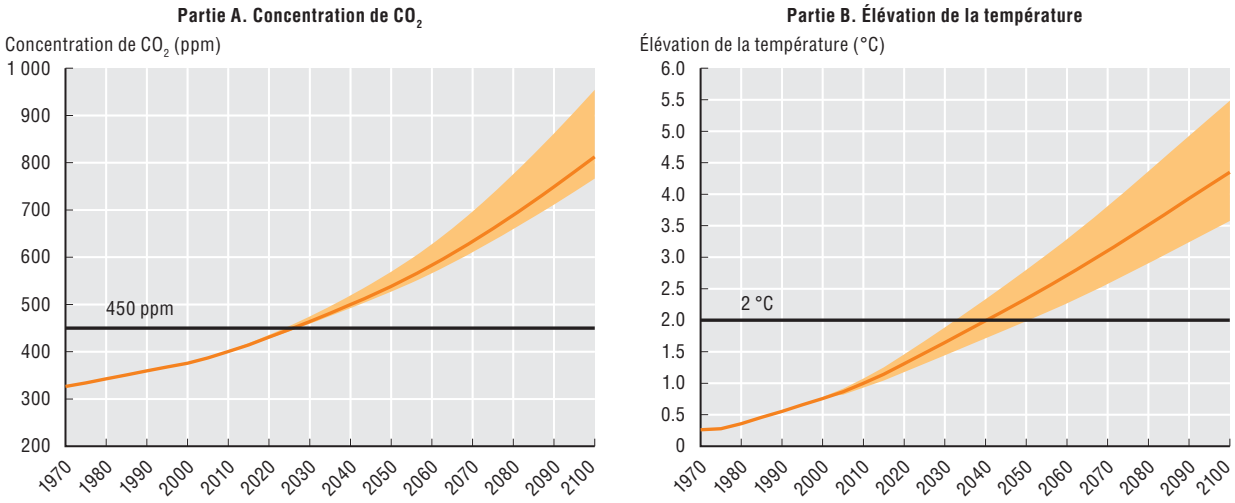
Température et précipitations

Le réchauffement planétaire est en cours. La température mondiale moyenne dépasse déjà d'environ 0.7 °C à 0.8 °C les niveaux d'avant l'ère industrielle. Les changements observés du climat ont déjà eu des conséquences pour les systèmes humains et naturels (GIEC, 2007b). Le réchauffement le plus marqué au cours du siècle écoulé s'est produit à des latitudes élevées, une grande partie de l'Arctique ayant subi une élévation des températures supérieure à 2 °C.

La forte augmentation des émissions mondiales de GES prévues dans le *scénario de référence* devrait avoir un impact important sur la température mondiale moyenne et sur le climat mondial. Le *Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (GIEC, 2007a) concluait qu'un doublement des concentrations de CO_2 par rapport aux niveaux d'avant l'ère industrielle (environ 280 ppm) pourrait entraîner une élévation des températures située entre 2.0 °C et 4.5 °C[7] (« sensibilité climatique »[8]). Des valeurs de sensibilité climatique supérieures à 5 °C, atteignant par exemple 8 °C, voire plus, ne peuvent être exclues, auquel cas la hausse estimée des températures pourrait être encore plus élevée en présence des mêmes niveaux d'émission (Meinshausen *et al.*, 2006 ; Weitzman, 2009).

Dans le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, la concentration mondiale de GES devrait atteindre environ 685 ppm d'équivalent-CO_2 (éq.-CO_2) dès le milieu du siècle et plus de 1000 ppm éq.-CO_2 d'ici 2100. La concentration de CO_2 proprement dite devrait se situer aux alentours de 530 ppm en 2050 et de 780 ppm en 2100 (graphique 3.9). La température

Graphique 3.9. **Concentrations de CO_2 et élévation de la température à long terme : *scénario de référence*, 1970-2100**[1]



1. La marge d'incertitude est fondée sur les calculs du modèle MAGICC-5.3 tels qu'en font état van Vuuren *et al.* (2008).

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593952

mondiale moyenne devrait donc vraisemblablement s'accroître, malgré les incertitudes qui demeurent concernant la sensibilité climatique. D'après le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, les concentrations de GES aboutiraient à une augmentation de la température mondiale moyenne de 2.0-2.8 °C au milieu du siècle et de 3.7-5.6 °C à la fin du siècle (par rapport à l'ère préindustrielle). Ces estimations se situent à peu près dans la fourchette moyenne des variations des températures mentionnées dans les études ayant fait l'objet d'un examen par les pairs (GIEC, 2007b).

Les régions seront diversement touchées par ces évolutions, et la physionomie du changement climatique selon les régions est encore plus incertaine que les variations des valeurs moyennes. Les graphiques 3.10 et 3.11 illustrent les changements escomptés des températures et des précipitations à l'échelle régionale, pour le *scénario de référence* et pour les scénarios à 450 *ppm* modélisés dans le cadre des présentes *Perspectives*, qui limiteraient la hausse de la température moyenne mondiale à 2 °C au-dessus des niveaux de l'ère préindustrielle (voir la section 4). Pour ce qui est des températures, la plupart des modèles climatiques s'accordent sur le fait que les changements seront plus marqués dans les latitudes élevées que dans les latitudes basses. Quant aux précipitations, si les modifications sont très variables selon les modèles, ceux-ci font tous apparaître une augmentation des précipitations dans certaines régions et une baisse dans d'autres.

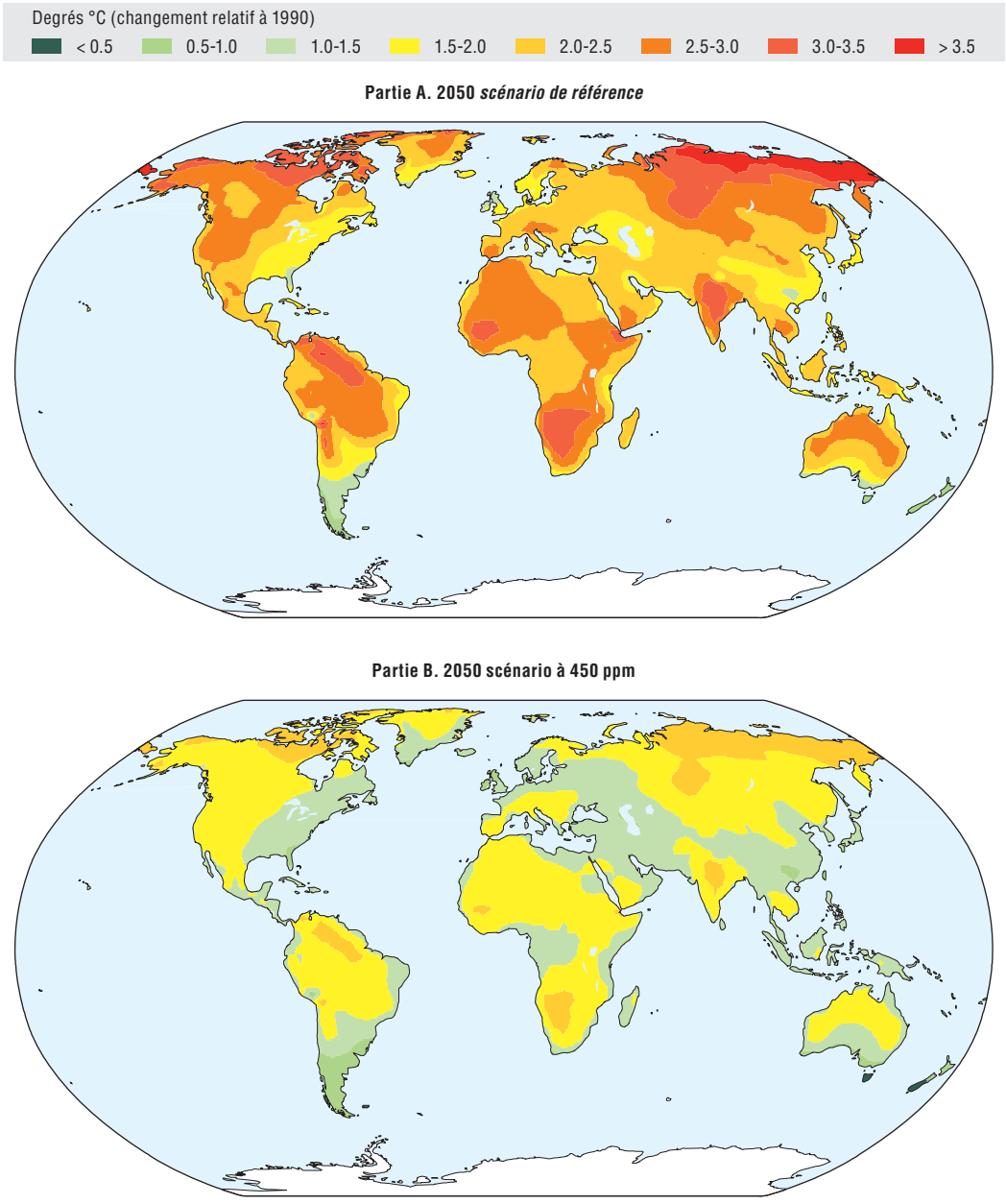
Impacts naturels et économiques du changement climatique

Dans son Quatrième Rapport d'évaluation, le GIEC parvient à la conclusion que le changement climatique mondial a déjà produit au cours des 30 dernières années des effets environnementaux observables qui se manifestent de façons très diverses (graphique 3.12). Compte tenu de l'augmentation prévue de la température, les impacts devraient, selon le *Rapport du GIEC*, s'intensifier à l'avenir.

Les impacts ne seront pas également répartis entre les régions. Le GIEC prévoit différents impacts régionaux notamment :

- **Amérique du Nord :** Diminution de l'enneigement dans les montagnes de l'ouest ; augmentation de 5-20 % des rendements de l'agriculture pluviale dans certaines régions ; fréquence, intensité et durée accrues des vagues de chaleur dans les villes qui subissent déjà ce phénomène.
- **Amérique latine :** Remplacement progressif de la forêt tropicale par la savane dans l'Amazonie orientale ; risque d'importantes pertes de biodiversité dues à l'extinction d'espèces dans nombre de régions tropicales ; variations notables des disponibilités d'eau pour la consommation humaine, l'agriculture et la production d'énergie.
- **Europe :** Augmentation des risques de crues-éclair dans l'arrière-pays ; inondations côtières plus fréquentes et érosion plus intense du fait des tempêtes et de l'élévation du niveau de la mer ; recul des glaciers dans les zones montagneuses ; diminution de la couverture neigeuse et du tourisme d'hiver ; disparitions d'espèces à grande échelle ; baisse de la productivité des cultures en Europe méridionale.
- **Afrique :** Dès 2020, de 75 à 250 millions de personnes devraient être exposées à un plus grand stress hydrique ; les rendements de l'agriculture pluviale pourraient être réduits de jusqu'à 50 % dans certaines régions d'ici 2020 ; la production agricole, y compris l'accès à l'alimentation, pourrait être gravement compromise.

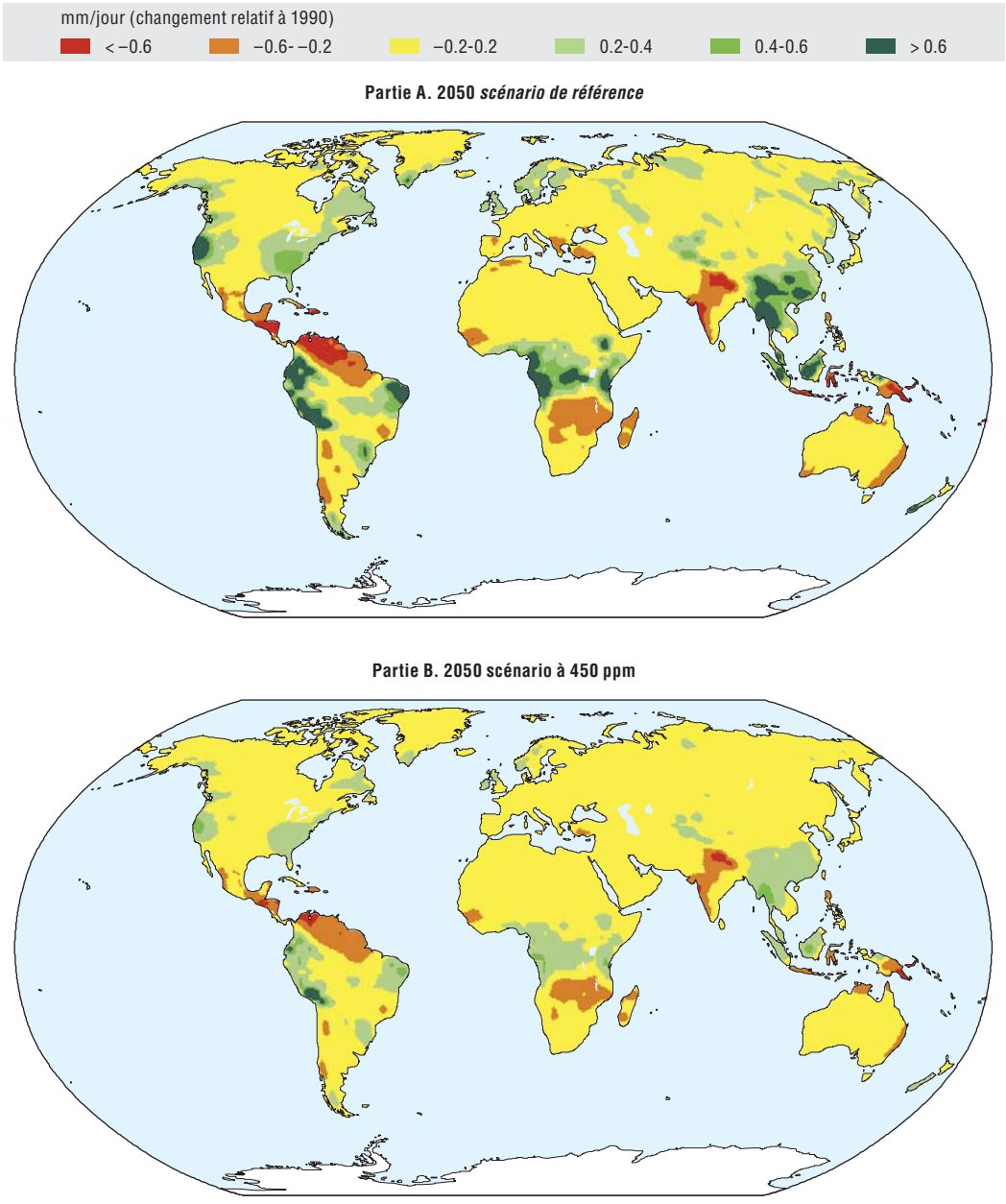
Graphique 3.10. **Modification de la température annuelle : *scénario de référence* et scénario à 450 ppm, 1990-2050**



Source : Projections des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

- **Asie :** Les disponibilités d'eau douce en Asie centrale, méridionale, orientale, ainsi que dans le sud-est asiatique devraient diminuer dès les années 2050 ; les zones côtières seront menacées par de plus fortes crues ; le taux de mortalité imputable aux maladies associées aux inondations et aux sécheresses devrait augmenter dans certaines régions.

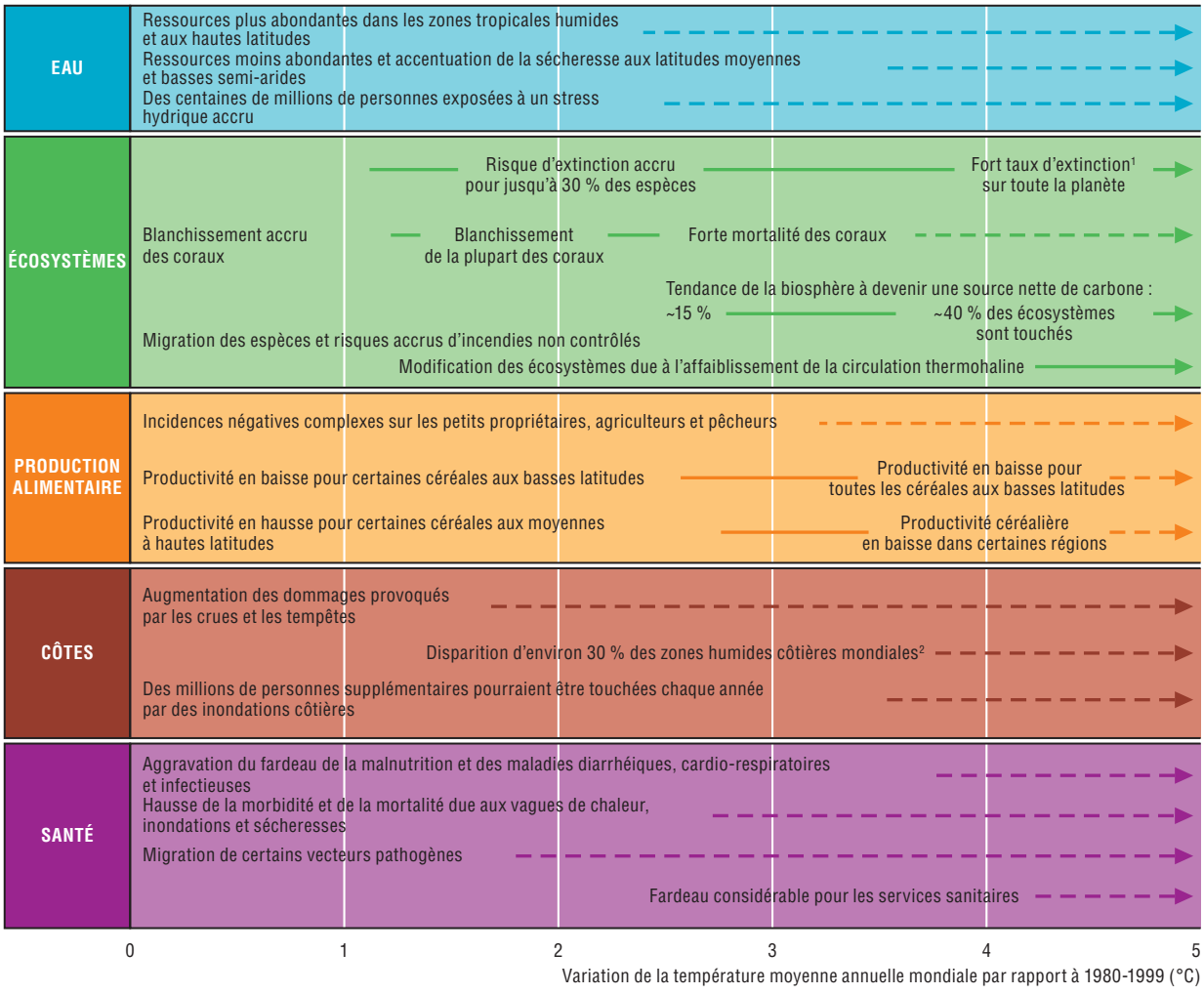
Graphique 3.11. **Modification des précipitations annuelles : *scénario de référence* et scénario à 450 ppm, 1990-2050**



Source : Projections des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

Dans l'ensemble, toutes les régions devraient subir d'importants dommages nets si le changement climatique n'est pas atténué, mais les impacts les plus notables se feront probablement sentir dans les pays en développement déjà pénalisés par leurs conditions climatiques, la composition sectorielle de leur économie et leurs capacités d'adaptation plus limitées. Les coûts des dommages devraient être bien plus importants en Afrique et en Asie du Sud-Est que dans les pays de l'OCDE ou d'Europe orientale (voir Nordhaus et Boyer, 2000 ; Mendelsohn *et al.*, 2000 ; et OCDE, 2009a pour une compilation des résultats). Les zones côtières devraient également être particulièrement exposées (voir l'encadré 3.3).

Graphique 3.12. **Principaux impacts de l'élévation de la température mondiale**



1. Supérieur à 40 %.
2. Sur la base d'une évaluation moyenne du niveau de la mer de 4.2 mm/an.

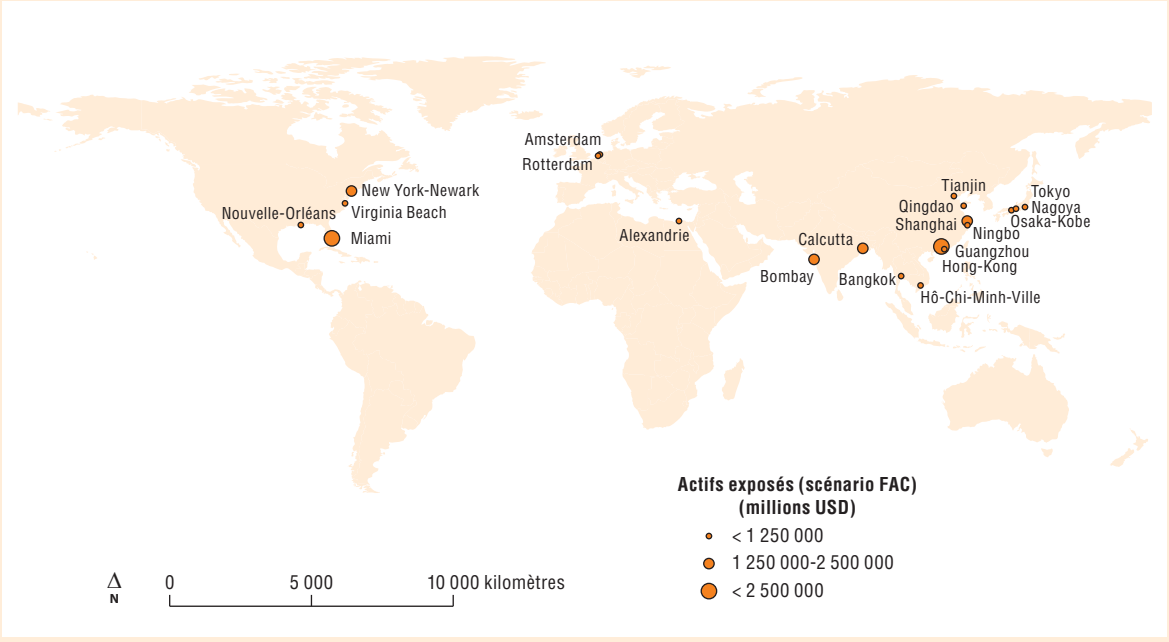
Source : GIEC (2007b), « Bilan 2007 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité », contribution du Groupe de travail II au *Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

Des études récentes portent à croire que les impacts d'un changement climatique non atténué pourraient être encore plus dramatiques que ce qu'indiquent les estimations du GIEC. L'ampleur de l'élévation du niveau de la mer pourrait, par exemple, être plus marquée (Oppenheimer *et al.*, 2007 ; Rahmstorf, 2007). La perte de masse accélérée de l'inlandsis groenlandais, des glaciers de montagne et des calottes glaciaires pourrait, d'après le Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique (PSEA, 2009), aboutir à une élévation du niveau mondial de la mer de 0.9-1.6 mètre en 2100. Les chercheurs ayant étudié les rétroactions climatiques plus en détail ont constaté que la hausse des températures arctiques pourrait se traduire par des émissions supplémentaires de méthane issues de la fonte du permafrost (Shaefer *et al.*, 2011) Ils ont par ailleurs conclu que la sensibilité climatique pourrait être plus élevée que prévue, ce qui signifie qu'une variation donnée de la température pourrait être causée par de plus faibles émissions mondiales que ne le suggère le *Quatrième Rapport d'évaluation du GIEC*.

Encadré 3.3. **Exemple d'actifs exposés au changement climatique : villes côtières**

Les zones côtières sont particulièrement exposées aux effets du changement climatique, notamment les plaines côtières urbanisées et les atolls. Les villes côtières sont particulièrement vulnérables à la montée du niveau de la mer et aux marées de tempête. Ainsi, d'ici 2070, en l'absence de politiques d'adaptation, notamment d'aménagement du territoire ou d'installation de systèmes de défense côtière, la population totale exposée à une montée du niveau de la mer de 50 cm pourrait plus que tripler pour atteindre environ 150 millions de personnes. Une telle situation résulterait des effets combinés du changement climatique (élévation du niveau de la mer et incidence accrue des tempêtes), de l'affaissement des sols, de l'accroissement de la population et de l'urbanisation. La valeur totale des éléments d'actifs exposés pourrait connaître une augmentation encore plus spectaculaire et atteindre 35 000 milliards USD à l'horizon 2070, soit dix fois plus qu'aujourd'hui (graphique 3.13).

Graphique 3.13. **Actifs exposés à une élévation du niveau de la mer dans les villes côtières en 2070**



Note : L'abréviation FAC renvoie au scénario *Future City All Changes* (« Villes du futur, tous changements ») *de Nicholls et al.*, qui prend en considération la situation économique et démographique à l'horizon 2070, ainsi que le changement climatique, la subsidence/le soulèvement naturels, ainsi que la subsidence des sols d'origine anthropique.

Source : OCDE (2010a), *Les villes et le changement climatique*, OCDE, Paris ; Nicholls, R.J. *et al.* (2008), « Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes: Exposure Estimates », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 1.

Le changement climatique pourrait également mener à des « points de basculement », c'est-à-dire à des modifications brutales au sein du système qui pourraient avoir des effets catastrophiques et irréversibles tant sur les systèmes naturels que sur la société. Divers points de basculement ont été identifiés (AEE, 2010), notamment des hausses de températures de 1-2 °C et de 3-5 °C, qui entraîneraient la fonte de la calotte glaciaire de l'Antarctique occidental et de l'inlandsis groenlandais, respectivement. Les conséquences du ralentissement de la circulation thermohaline de l'Atlantique[9] bien qu'encore inconnues, pourraient être dangereuses pour le climat. Parmi les autres exemples de changements non linéaires irréversibles susceptibles de se produire figurent notamment

l'augmentation de l'acidité des océans, qui aurait un impact sur la biodiversité marine et les stocks de poissons, l'intensification des émissions de méthane due à la fonte du permafrost et des transitions rapides d'un écosystème à un autre imputables à des facteurs climatiques. Les connaissances scientifiques concernant la plupart de ces événements et la compréhension de leurs impacts potentiels sont limitées, c'est pourquoi il est difficile d'en estimer les conséquences économiques. Certaines transitions pourraient se produire plus rapidement que d'autres – et plus le délai sera court, moins il sera possible de s'adapter (AEE, 2010).

Les impacts du changement climatique sont étroitement liés à d'autres problèmes d'environnement. Par exemple, le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* prévoit que le changement climatique aura des effets négatifs sur la biodiversité et sur les ressources en eau. Si de nouvelles mesures ne sont pas prises, le changement climatique mondial deviendra le principal facteur d'érosion de la biodiversité (voir le chapitre 4 sur la biodiversité). Le coût de cette érosion est particulièrement élevé dans les pays en développement, où les écosystèmes et les ressources naturelles comptent pour une part importante des revenus. Le changement climatique peut également avoir des répercussions sur la santé humaine, directement du fait du stress thermique ou indirectement en raison de ses effets sur l'eau et la qualité des aliments, et sur la répartition géographique et saisonnière des maladies à transmission vectorielle (voir le chapitre 6). Le changement climatique aura également des répercussions sur les disponibilités d'eau douce (voir le chapitre 5).

Les coûts de l'inaction face au changement climatique devraient être vraisemblablement considérables, bien qu'ils soient extrêmement difficiles à estimer. Certains de ces coûts peuvent être aisément évalués en termes économiques, comme par exemple les pertes subies dans les secteurs agricole et sylvicole, tandis que d'autres sont plus immatériels, tels que ceux de l'érosion de la biodiversité ou d'événements catastrophiques comme l'arrêt de la circulation thermohaline de l'Atlantique. Les estimations de coûts diffèrent du fait qu'elles ne prennent pas toutes en compte les mêmes catégories de coûts et qu'elles reposent sur des informations incomplètes. La plupart des études ne prennent pas en considération les impacts *non marchands*, comme ceux sur la biodiversité, par exemple. Quelques unes s'intéressent aux impacts associés aux événements météorologiques extrêmes (Albert et Hope, 2006, par exemple) ou aux événements catastrophiques à faible probabilité (Nordhaus, 2007, par exemple). Selon l'échelle des impacts pris en considération dans les modèles et le taux d'actualisation utilisé, la valeur actualisée des coûts de l'inaction face au changement climatique pourrait équivaloir à une perte de consommation par habitant allant de 2 % à plus de 14 % à l'échelle mondiale (Stern, 2006 ; OCDE, 2008a).

Ces considérations doivent toutefois être mises en balance avec la possibilité que des changements extrêmes et soudains affectent les systèmes naturels et humains. De tels événements à faible probabilité mais à fort impact pourraient avoir des conséquences économiques très lourdes, voire même catastrophiques (Weitzman, 2009). Certains font valoir que dans de tels cas une analyse coûts-avantages standard pourrait ne pas être adaptée. Il pourrait être préférable d'aborder ce problème en termes de gestion des risques, en ayant par exemple recours à des « normes minimales sûres » (Dietz *et al.*, 2006) et à une « planification d'urgence plus explicite pour faire face aux effets négatifs » (Weitzman, 2009, 2011)[10]. Dans ce contexte, les évaluations doivent tenir compte des incertitudes en jeu, et la prise de décisions devrait être guidée à la fois par des analyses de sensibilité intégrant des valeurs extrêmes et par des estimations médianes. D'un point de vue politique, l'Accord de Cancún basé (au moins en partie) sur ce qu'il est convenu d'appeler

« l'objectif 2 °C » (voir la section 1) a déjà fixé un objectif politique reposant sur des données scientifiques. Cela donne à penser que les gouvernements de la planète considèrent que les coûts à assumer si la hausse de la température est supérieure à 2 °C seraient plus lourds que ceux d'une transition à une économie sobre en carbone.

3. Changement climatique : politiques actuelles

Cette section décrit tout d'abord le cadre international en matière d'atténuation du changement climatique et d'adaptation, pour se pencher ensuite sur les politiques actuelles et les défis à relever dans ces deux domaines d'action au niveau national.

Vaincre l'inertie : un enjeu international

Le problème du changement climatique place les pays devant un dilemme international d'une ampleur sans précédent. L'atténuation du changement climatique est un exemple d'action mettant en jeu un bien public mondial : il est demandé à chaque pays d'assumer des coûts – parfois considérables – pour réduire les émissions de GES, mais les fruits de ces efforts bénéficient à toute la planète. D'autres facteurs ajoutent à la complexité du défi à relever, notamment le décalage temporel entre les émissions de GES et leurs impacts sur le climat dont certains, parmi les plus graves, ne se matérialiseront, d'après les projections, que dans la seconde moitié de ce siècle. Les impacts climatiques et les principales retombées positives des mesures d'atténuation devraient par ailleurs être inégalement répartis entre les pays, les pays en développement étant vraisemblablement ceux qui souffriront le plus d'un changement climatique non atténué, alors que leurs capacités d'adaptation sont déjà les plus faibles. Tout cela signifie que, même si les avantages de l'action climatique sont importants au niveau mondial, les incitations des pays en faveur de l'atténuation ne sont pas suffisantes pour susciter les mesures d'urgence drastiques requises pour atteindre les niveaux d'atténuation nécessaires (OCDE, 2009a).

Une coopération internationale concertée sera nécessaire pour lutter contre la tentation du « passager clandestin » qui pourrait pousser certaines régions ou certains pays à différer leur action (Barrett, 1994 ; Stern, 2007). Une telle coopération devra être appuyée par des accords internationaux et recourir à des transferts financiers pour encourager une mobilisation générale de toutes les économies. La mise en place d'une architecture internationale propice à l'atténuation du changement climatique exige également d'intensifier la coopération pour assurer le transfert de technologies sobres en carbone et le renforcement des capacités institutionnelles et soutenir ainsi l'action des pays en développement. Pour être couronnée de succès et largement acceptée, la coopération internationale en matière de changement climatique devra aussi s'attaquer aux problèmes de justice et d'équité, souvent considérés comme des éléments de « partage du fardeau » du régime international.

L'ouverture à la signature de la CCNUCC en 1992 a marqué le premier pas vers une réponse mondiale au problème du changement climatique. Les signataires de la Convention (les « Parties ») sont convenus d'œuvrer collectivement pour atteindre son objectif ultime qui est de : « stabiliser (…) les concentrations de GES dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » (CCNUCC, article 2[11]). En signant cette Convention, les pays membres de l'OCDE et les autres économies industrialisées (« parties visées à l'annexe I »)[12] ont accepté de montrer le chemin vers cet objectif et de fournir une aide financière et technique aux

autres pays (« parties non énumérées à l'annexe I »[13]) pour les aider à faire face au changement climatique. En 2005, le protocole de Kyoto est entré en vigueur, imposant aux parties visées à l'annexe I[14] l'obligation légale de limiter ou de réduire leurs émissions de GES au cours de la période 2008-12 de manière à se conformer aux niveaux d'émission convenus. En 2009, les niveaux d'émissions de CO_2 du groupe de pays Parties au protocole de Kyoto étaient inférieurs de 14.7 % aux niveaux de 1990 (AIE, 2011a), mais variaient sensiblement selon les pays.

De récentes preuves scientifiques du changement climatique, dont celles mentionnées dans les travaux du GIEC, ont permis de parvenir à un accord sur les détails de l'article 2 de la Convention. Il a été ainsi déclaré dans les Accords de Cancún de 2010 :

> « qu'une forte diminution des émissions mondiales de GES s'avère indispensable (…), en vue de réduire les émissions mondiales de GES de façon à contenir l'élévation de la température moyenne de la planète en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels, (… et reconnaissent) aussi la nécessité d'envisager, lors du premier examen (…), de renforcer l'objectif global à long terme en fonction des connaissances scientifiques les plus sûres, notamment au sujet d'une hausse de la température moyenne de 1.5 °C au niveau mondial » (CCNUCC, 2011a).

Une avancée a également eu lieu lorsque de nombreux pays, tant développés qu'en développement, ont pris des engagements d'atténuation, au titre tout d'abord de l'Accord de Copenhague en 2009, puis des Accords de Cancún en 2010, afin de réduire leurs émissions avant 2020 (voir le tableau 3.6 à la section 4 ; CCNUCC, 2009 ; et CCNUCC, 2011a)[15]. Nos analyses concernant l'ensemble de ces promesses et engagements montrent cependant qu'en l'absence de nouvelles mesures de quelque ampleur après 2020, ils ne suffiront pas pour respecter l'objectif de 2 °C (voir la section 4 et PNUE, 2010).

Afin de partager équitablement le fardeau imposé par les mesures nécessaires pour respecter l'objectif de 2 °C, les Accords de Cancún ont réaffirmé l'engagement des pays développés de fournir des ressources nouvelles et additionnelles aux pays en développement pour financer l'action climatique. Ils apporteront notamment un « financement à mise en œuvre rapide » d'un montant de 30 milliards USD sur la période 2010-12, l'objectif à plus long terme étant de mobiliser 100 milliards USD par an, de sources publiques et privées, à l'horizon 2020[16]. Les pays sont également convenus à Cancún de mettre en place un Fonds vert pour le climat pour financer des projets, programmes et politiques, ainsi que d'autres activités dans les pays en développement[17]. D'importantes incertitudes demeurent néanmoins dans les négociations climatiques internationales quant à l'avenir du protocole de Kyoto et de ses instruments au-delà de 2012, sa date d'expiration, et quant à la capacité des gouvernements de débloquer des moyens financiers supplémentaires et de suivre, notifier et vérifier les flux correspondants.

Jusqu'à la septième Conférence des Parties (CdP7), tenue à Marrakech en 2001, l'adaptation a moins retenu l'attention dans le processus de négociation internationale, bien qu'il en soit fait mention tant dans la CCNUCC que dans le protocole de Kyoto. Les Parties à la CdP7 ont créé trois fonds axés sur l'adaptation : le Fonds pour les pays les moins avancés, le Fonds spécial pour le changement climatique et le Fonds pour l'adaptation. L'adaptation a depuis bénéficié d'une plus grande attention. Les Accords de Cancún ont souligné son importance et mis en place le Cadre de Cancún pour l'adaptation assorti d'un Comité pour l'adaptation. Le Fonds vert pour le climat admet en outre la nécessité d'un traitement équilibré de l'adaptation et de l'atténuation.

Actions menées au plan national pour atténuer le changement climatique

En dépit de quelques avancées et de l'intérêt médiatique suscité par les sommets mondiaux, seules des politiques nationales énergiques permettront de limiter les risques climatiques locaux et mondiaux. Pour atteindre l'objectif de 2 °C, les économies du monde entier devront mener à bien des réformes sans précédent de leurs modes de production d'énergie, de consommation, de transport et d'exploitation agricole. La transition vers une économie sobre en carbone et résiliente au climat nécessitera d'importants investissements dans l'atténuation et l'adaptation, et un redéploiement des investissements, des combustibles fossiles et des technologies conventionnelles, vers de nouvelles technologies moins polluantes et des infrastructures à moindre intensité de carbone. Compte tenu des budgets serrés dont disposent les administrations publiques, il sera essentiel, pour financer la transition, de déterminer quelles sont les solutions les moins onéreuses et d'obtenir la participation du secteur privé (OCDE, 2012), et il conviendra d'éviter les coûteux chevauchements entre les différentes politiques (OCDE, 2011b). Une intervention publique sera nécessaire pour surmonter les obstacles existants et créer des conditions de marché propices aux investissements verts.

Face au changement climatique, les multiples défaillances du marché imposent d'associer divers moyens d'action pour réduire efficacement les émissions de GES. Bien qu'il n'existe pas de recette unique pour bien doser les politiques et moyens d'action climatiques, il existe assurément d'importants ingrédients communs, comme il en est fait état dans la Stratégie pour une croissance verte et dans de précédents travaux de l'OCDE (OCDE, 2011a ; OCDE, 2009a ; Duval, 2009). La panoplie de mesures la moins coûteuse comporte plusieurs éléments clés, notamment (tableau 3.1) :

- Des stratégies nationales de prise en charge du changement climatique.
- Des instruments fondés sur les prix (systèmes de plafonnement et d'échange, taxes carbone et élimination des subventions aux combustibles fossiles, par exemple).
- Des réglementations et instruments contraignants.
- Des politiques de soutien technologique, y compris en faveur de la R-D.
- Des approches volontaires, des campagnes de sensibilisation et des outils d'information.

Chacun d'eux sera examiné ci-après.

Stratégies et législations nationales en matière de changement climatique

Aux termes des Accords de Cancún, les pays industrialisés doivent élaborer des plans et stratégies de développement « bas carbone » et déterminer en outre la meilleure façon de les appliquer, en faisant appel à des mécanismes de marché notamment. Les pays en développement sont encouragés à faire de même. Beaucoup de pays industrialisés se sont déjà dotés de législations ou stratégies nationales pour prendre en charge le changement climatique. Ceux-ci sont généralement axés sur la réalisation des engagements de Kyoto et/ou sur des objectifs de réduction des émissions à moyen ou long terme. Ces objectifs, plans ou stratégies occupent une place essentielle dans un cadre d'action qui vise à encourager l'investissement et l'orienter vers les options bas carbone résilientes au climat ; ils adressent en outre au secteur privé des signaux stables et à long terme au profit de l'investissement (Clapp *et al.*, 2010 ; Buchner, 2007 ; Bowen et Rydge, 2011).

Tableau 3.1. **Quelques moyens d'action pour atténuer le changement climatique**

Instruments fondés sur les prix	Taxes sur les émissions de CO_2. Taxes sur les intrants ou les extrants des procédés (énergie ou véhicules). Élimination des subventions préjudiciables à l'environnement (aux combustibles fossiles, par exemple). Subventions en faveur des activités ayant pour effet de réduire les émissions. Systèmes d'échange des droits d'émission (plafonnement et échange ou définition d'un niveau de référence et octroi de crédits).
Réglementations contraignantes	Normes technologiques. Normes de performances. Interdiction ou obligation d'utiliser certains produits ou certaines pratiques. Obligations de notification. Obligations relatives à la certification. Plans d'occupation des sols, zonage.
Politiques de soutien technologique	Un solide régime de protection des droits de propriété intellectuelle. Financement public et privé de la R-D. Achats publics de biens et services sobres en carbone. Certificats verts (norme de portefeuille d'énergies renouvelables, par exemple). Prix d'achat de l'électricité de sources renouvelables. Investissement public dans les infrastructures nécessaires aux nouvelles technologies sobres en carbone. Politiques d'élimination des obstacles financiers à l'acquisition de technologies vertes (prêts, crédits renouvelables, transferts financiers directs, régime fiscal préférentiel). Renforcement des capacités pour les besoins de la main-d'œuvre, développement des infrastructures.
Information et approches volontaires	Programmes de notation et d'étiquetage. Campagnes publiques d'information. Enseignement et formation. Certification et étiquetage des produits. Programmes d'attribution de récompenses.

Source : Adapté de Serres, A., F. Murtin et G. Nicoletti (2010), « A Framework for Assessing Green Growth Policies », *Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 774, OCDE, Paris.

Les pays visés à l'annexe I ont commencé à se doter de cadres d'action nationaux pour le climat, dont certains fixent des plafonds d'émission juridiquement contraignants pour l'ensemble de l'économie et/ou des objectifs d'émission à long terme (tableau 3.2). Ces cadres visent à mettre en œuvre, à renforcer ou dans certains cas à aller au-delà des obligations internationales des pays. Par exemple, le Royaume-Uni, dans le cadre de son « plan de transition bas carbone » (*Low Carbon Transition Plan*, LCTP), applique un objectif de réduction juridiquement contraignant afin d'abaisser ses émissions absolues d'au moins 34 % par rapport aux niveaux de 1990 d'ici à 2020, et d'au moins 80 % d'ici à 2050. Ce pays a introduit le concept de « budgets carbone » quinquennaux assortis d'objectifs intermédiaires contraignants, dont l'entrée en vigueur date de 2008. Adopté en janvier 2008 par l'Union européenne, le « Paquet Énergie-Climat 20-20-20 » est une stratégie climatique globale juridiquement contraignante qui vise trois objectifs :

i) réduire les émissions de GES d'au moins 20 % par rapport aux niveaux de 1990 d'ici à 2020, et porter cette réduction à 30 % si un accord international satisfaisant est atteint ;

ii) faire passer la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique à 20 % d'ici à 2020, et celle des biocarburants à 10 % dans le secteur des transports ; et

iii) s'engager à réduire de 20 % la consommation d'énergie de l'Union européenne par rapport au niveau du *scénario de référence* en 2020.

Aux États-Unis, il n'existe pas de loi fédérale ni d'engagement à l'échelle de toute l'économie visant à réduire les émissions de GES, mais le pays n'en est pas moins légalement tenu de réduire ses émissions en vertu d'un arrêt de la Cour Suprême (dans l'affaire Massachusetts *vs.* EPA)[18]. Des normes de rendement énergétique pour les transports et pour

Tableau 3.2. **Législations climatiques nationales : portée et champ couvert**

	Champ couvert par la législation							Exemples de législations phares à l'échelle nationale
	Tarification du carbone	Efficacité énergétique	Énergies renouvelables	Foresterie	Autres utilisations des terres	Transports	Adaptation	
Australie	M	X	X	X	X		X	Clean Energy Act (2011)
Brésil	X	X	X	M	X	X	O	Politique nationale en matière de changement climatique (2009)
Canada		M	O	X	X	X		Loi canadienne sur la protection de l'environnement de 1999, et loi sur l'efficacité énergétique
Chili		X	X				M	Plan national d'action sur le changement climatique (2008)
Chine		M	X	X	X	X	X	12e Plan quinquennal (2011)
UE	M	X	X	O	O	X	O	Paquet Climat et énergie (2008)
France	X	M	X		O	X	X	Grenelle I et II (2009 et 2010)
Allemagne	X	X	M			X		Programme intégré dans le domaine du climat et de l'énergie (2007, actualisé en 2008) et Concept énergétique de 2010
Inde		M	X	X	X	X	X	Plan national d'action sur le changement climatique (NAPCC) (2008)
Indonésie	X	X	X	M	X	X	X	Décret présidentiel sur le Conseil national du changement climatique (NCCC) (2008)
Italie	X	M	X	O		X		Plan d'action sur le changement climatique (2007)
Japon	X	M	X	X	X	X	X	Loi visant à encourager les mesures destinées à faire face au réchauffement planétaire (1998, modifiée en 2005)
Mexique	X	X	M	X	X	O	O	Comité interministériel sur le changement climatique ; LUREFET[1] (2005 et 2008)
Russie		M	O	O			X	Doctrine climatique (2009)
Portugal	O	M	M	X	X	X		Programme national face au changement climatique, révisé pour la dernière fois en 2008
Afrique du Sud	X	X	M			X	X	Vision, orientation stratégique et cadre d'action dans le domaine climatique (2008)
Corée	M	X	X	X	X	X	X	Loi-cadre pour une croissance verte sobre en carbone (2009)
Royaume-Uni	M	X	X			X	X	Loi sur le changement climatique (2008)
États-Unis		X	M	O	O	X		Pas de législation fédérale intégrée sur le changement climatique[2]

Notes : M grande priorité, X couverture détaillée, O couverture partielle.

1. Loi relative à l'utilisation d'énergies renouvelables et au financement de la transition énergétique.
2. Les principaux textes de loi sur l'environnement sont le décret-loi n° 13514, relatif au rôle moteur de l'administration fédérale en matière de performances environnementales, énergétiques et économiques ; et la loi américaine sur la reprise et le réinvestissement. Ce tableau prend en considération les activités mises en œuvre au niveau national, et non au niveau local ou régional.

Source : Adapté d'après Townshend, T., S. Fankhauser, A. Matthews, C. Feger, J. Liu et T. Narciso (2011), *The 2nd GLOBE Climate Legislation Study*, GLOBE International, Londres.

les centrales électriques fixes ont déjà été établies pour la période 2012-16 et des réglementations pour 2017-25 sont sur le point d'être proposées. Par ailleurs, à la suite de deux affaires judiciaires et des accords de règlement à l'amiable correspondants, l'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis (EPA) réglementera les émissions de GES des raffineries de pétrole et des compagnies d'électricité dès le second semestre de 2012.

Le tableau 3.2 illustre le champ couvert par les politiques et cadres législatifs climatiques mis en place par les pays, en s'appuyant sur les données de l'étude *Climate Legislation Study* réalisée par l'Organisation mondiale des législateurs pour un environnement équilibré (GLOBE). Cette étude examine divers domaines d'atténuation (politiques spécifiques

d'économie d'énergie, tarification du carbone, énergies renouvelables et transports), ainsi que les activités qui peuvent favoriser l'adaptation et l'atténuation (foresterie et utilisation des terres, notamment). Les auteurs analysent la législation « phare », c'est-à-dire les grands textes de loi régissant la politique climatique, et examinent les différentes priorités sectorielles des pays. Le tableau 3.2 prend en considération les activités mises en œuvre au niveau national, et non au niveau local ou régional.

Les pays ont également mis au point divers outils de planification et de stratégie pour atteindre des objectifs précis, en mettant à profit la collecte et l'analyse des données tendancielles historiques et en s'appuyant souvent sur des projections obtenues par modélisation. La France a lancé un travail de projection pour anticiper la consommation énergétique et les émissions de GES à l'horizon 2030 et pour rendre compte aux dirigeants et aux parties prenantes des progrès accomplis et des nouvelles mesures nécessaires. Le Japon a utilisé des projections modélisées pour établir une feuille de route des mesures et politiques nécessaires pour réduire les émissions de GES de 25 % par rapport aux niveaux de 1990 d'ici à 2020 et de 80 % d'ici à 2050. Le Japon a développé le modèle AIM (Asia-Pacific Integrated Model) qu'il utilise en collaboration avec les instituts d'autres pays d'Asie pour évaluer les options climatiques au moyen de scénarios sobres en carbone. Cet outil de modélisation est également utilisé dans les travaux avec d'autres acteurs territoriaux dans les régions et les villes, ainsi qu'au niveau national, pour éclairer le dialogue et la prise de décisions concernant la politique climatique. L'expérience acquise dans le cadre de toutes ces activités de collaboration est mise en commun par les chercheurs et les décideurs *via* le réseau LCS-RNet (International Research Network for Low Carbon Societies) qui constitue une plateforme de communication utile entre les politiques et la recherche dans le domaine des stratégies bas carbone.

Instruments fondés sur les prix

Il est nécessaire, pour orienter l'investissement vers les technologies sobres en carbone, d'établir une tarification claire, crédible et à long terme des émissions de carbone dans toute l'économie en faisant appel à des instruments de marché tels que les systèmes d'échange de droits d'émission ou les taxes sur le carbone. Une telle tarification pénalise les technologies et les procédés à forte intensité de carbone, crée des débouchés pour les technologies bas carbone [économies d'énergie, solaire, éolien, ou encore capture et séquestration du carbone (CSC)[19], par exemple] et favorise les initiatives dans les secteurs de l'énergie, de l'industrie, des transports et de l'agriculture. La tarification du carbone peut également jouer en faveur de l'innovation « verte » et promouvoir l'efficacité énergétique (OCDE, 2010b).

Les systèmes d'échange de droits d'émission. Dans les systèmes d'échange de droits d'émission – souvent appelés de plafonnement des émissions et d'échange de droits d'émission – une autorité centrale (en général une administration) fixe une limite ou un plafond applicable aux émissions d'un polluant donné. Cette limite ou ce plafond est alloué ou vendu aux entreprises sous la forme de permis d'émission qui représentent le droit d'émission ou de rejet d'un volume donné du polluant considéré. Les entreprises doivent détenir un nombre de permis (ou crédits d'émission de carbone) correspondant à leurs émissions. Le nombre total de permis ne peut excéder le plafond, de façon à maintenir les émissions totales en deçà de ce niveau. Les entreprises qui n'ont pas assez de crédits carbone peuvent acheter des permis auprès de celles qui n'ont pas besoin de tous les leurs. Ainsi, l'acheteur acquitte un droit pour polluer, tandis que le vendeur se voit

récompensé d'avoir réduit ses émissions. Dans ces conditions, en théorie, ceux qui peuvent réduire leurs émissions au moindre coût le feront, d'où une réduction de la pollution au meilleur coût pour la société.

Les systèmes d'échange de droits d'émission occupent une place de plus en plus importante parmi les instruments de la politique climatique. Au cours des dix dernières années, quasiment toutes les parties visées à l'annexe I ont mis en place des systèmes d'échange de droits d'émission ou renforcé ceux déjà en place, et participent d'une manière ou d'une autre au fonctionnement de marchés du carbone d'envergure nationale ou internationale (CCNUCC, 2011b ; Hood, 2010). En mars 2011, on dénombrait sept systèmes d'échange de droits d'émission de GES dans les pays de l'OCDE (dont certains sont infranationaux), et plusieurs autres sont à l'étude, y compris dans les pays en développement (tableau 3.3). Cependant, un certain nombre de questions doivent être encore étudiées pour améliorer l'efficacité environnementale et l'efficience économique de l'échange de permis (par exemple, le choix entre un système de plafonnement et d'échange et un système utilisant des niveaux de référence et des crédits[20] ; l'allocation initiale des droits d'émission ; et les moyens de limiter les coûts de transaction associés au système d'échange de permis) (OCDE, 2008b).

Tableau 3.3. **Statut des systèmes d'échange de droits d'émission**

Déjà en place	À venir
Système de réduction de l'effet de serre de la Nouvelle-Galles du Sud (2003).	Initiative occidentale pour le climat.
Système communautaire d'échange de quotas d'émission (2005).	Programme de plafonnement et d'échange des droits d'émission en Californie.
Système d'échange de droits d'émission de la Nouvelle-Zélande (2008).	Plan australien pour un avenir énergétique propre[2].
Système d'échange d'émissions et taxe sur le CO_2 en vigueur en Suisse (2008).	Accord de réduction des gaz à effet de serre dans les États du Midwest (États-Unis).
Initiative régionale de lutte contre les gaz à effet de serre (*Regional Greenhouse Gas Initiative* – RGGI) dans le nord-est des États-Unis (2009).	Système national d'échange japonais.
Programme d'efficacité énergétique dans le cadre de l'engagement de réduction du carbone au Royaume-Uni (2010).	D'autres systèmes d'échange de droits d'émissions sont à l'étude ou en cours de mise en œuvre au Brésil, en Californie, au Chili, en Chine, en Corée, au Mexique et en Turquie.
Programme de plafonnement et d'échange des droits d'émission de la ville de Tokyo.	L'Inde devrait lancer en 2011 un programme d'échange de certificats « blancs » d'efficacité énergétique du secteur industriel.
Alberta, Canada, loi sur le changement climatique et la maîtrise des émissions (2007)[1].	

1. Il s'agit d'un programme de réduction de l'intensité des émissions et non d'un système de plafonnement et d'échange. Les installations peuvent acheter des crédits compensatoires ou des crédits d'émission pour se conformer à leurs objectifs de réduction de l'intensité des émissions, mais aucun plafond ne leur est imposé.
2. Voir *www.cleanenergyfuture.gov.au*.

Source : D'après les données de CCNUCC (2011b), Compilation-synthèse des cinquièmes communications nationales, CCNUCC, Montréal.

Le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre (SCEQE) est le plus vaste système d'échange de droits d'émission au monde et a ouvert la voie à la mise en place d'un marché international du carbone (encadré 3.4). Abstraction faite de celui de l'Union européenne, le système d'échange de quotas d'émission de la Nouvelle-Zélande est le système d'échange le plus développé ; il s'avère en outre plus complet que tous les autres puisqu'il couvre les six gaz du protocole de Kyoto (CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC et SF_6) émis par les secteurs de l'énergie, des transports, de l'industrie, des déchets, des gaz de synthèse et de la foresterie. Opérationnel depuis 2008, il couvrait au départ le secteur de la foresterie, avant d'être étendu aux secteurs de l'énergie, de l'industrie et des transports en 2010. Une étude indépendante menée récemment sur ce dispositif a recommandé de le maintenir après 2012, en modifiant toutefois certains de ses éléments (*Emissions Trading Scheme Review Panel*, 2011).

Encadré 3.4. **Le système communautaire d'échange de quotas d'émission : évolutions récentes**

Lancé en janvier 2005, le système communautaire d'échange de quotas d'émission est le plus vaste système d'échange actuellement en activité, puisqu'il couvre 30 pays* et plus de 10 900 grandes installations en Europe, telles que des centrales électriques, installations de combustion, raffineries de pétrole et usines sidérurgiques, cimenteries, verreries, fabriques de chaux, briqueteries, usines de céramique et papeteries. Les installations actuellement couvertes comptent pour la moitié environ des émissions de CO_2 de l'UE (40 % des émissions de GES). Le SCEQE a été confronté à de gros problèmes au cours de ses deux premières phases de mise en œuvre (2005-07 et 2008-12), comme par exemple une allocation excessive de permis ou encore l'effet d'aubaine dont ont bénéficié les producteurs d'électricité grâce à l'allocation de quotas gratuits et à la volatilité des prix, autant d'éléments qui ont nui à son efficacité. Ce dispositif a montré toutefois que les signaux de prix transmis ont été efficaces pour promouvoir des trajectoires sobres en carbone.

Pour la Phase III (2013-20), les Chefs d'État et de gouvernement de l'Union européenne et le Parlement européen ont adopté une législation révisée comportant un certain nombre de modifications, dont les suivantes :

- Un plafond unique à l'échelle de l'Union européenne au lieu de 27 plafonds nationaux.
- La vente aux enchères d'un plus grand pourcentage de quotas (50 % au moins en 2013, pour atteindre 100 % par la suite) afin d'éviter l'effet d'aubaine.
- L'harmonisation des règles d'allocation gratuite de quotas d'émission, une couverture étendue à la pétrochimie, l'aluminium, l'ammoniac et de nouveaux gaz tels que le N_2O et les PFC.
- Un plus fort pourcentage d'allocation à titre gratuit (sur la base des niveaux de référence) pour les secteurs et les sous-secteurs jugés présentant un risque de fuite de carbone, en l'absence d'un accord international général.
- L'extension aux émissions de l'aviation nationale et internationale à compter de 2012.

* À savoir l'UE27 et la Norvège, l'Islande et le Liechtenstein.

Source : Ellerman, A. et B. Buchner (2008), « Over-Allocation or Abatement? A Preliminary Analysis of the EU-ETS Based on the 2005-06 Emissions Data », *Environmental and Resource Economics*, vol. 41, n° 2, pp. 267-287 ; Ellerman, A. *et al.* (2010), *Pricing Carbon: The European Union Emissions Trading Scheme*, Cambridge University Press.

Pour promouvoir l'électricité verte, plusieurs pays ont recours à des quotas et certificats qui allouent aux secteurs certains droits d'émission. Parce qu'ils sont négociables, ces quotas et certificats fonctionnent comme des instruments de marché. Les certificats ne sont généralement pas exprimés en tonnes de CO_2 mais en quantité d'énergie produite à partir de différentes sources (certificats verts pour les sources d'énergie renouvelable, certificats blancs pour les économies d'énergie, certificats bleus pour la production combinée de chaleur et d'électricité, par exemple). De tels systèmes nationaux d'échange sont utilisés en Pologne, en Suède, au Royaume-Uni, en Italie, en Belgique et dans certains États des États-Unis. Des programmes d'économie d'énergie (certificats blancs) ont été mis en place en France, au Danemark, en Italie, au Royaume-Uni, en Australie, en Belgique et dans environ 30 États des États-Unis. Un système de « certificats verts » négociables plus connus sous le nom de certificats d'énergie renouvelable a été adopté par l'Australie pour atteindre l'Australian Renewable Energy Target (RET) à savoir porter à 20 % la part des énergies renouvelables en 2020. Les quotas et les tarifs d'achat ont été largement utilisés dans le secteur de l'énergie au sein de

l'Union européenne, dans le cadre du « Paquet Énergie-Climat 20-20-20 » (voir ci-dessus). La plupart des pays de l'UE misent sur les tarifs d'achat pour atteindre leurs objectifs en matière d'énergies renouvelables, tandis que d'autres comme la Pologne, la Roumanie et la Suède ont opté pour des certificats verts. La Belgique, l'Italie et le Royaume-Uni conjuguent ces deux types d'incitation.

En l'absence de réglementation nationale, les administrations infranationales, dont celles des États et des grandes villes, ont mis en place dans plusieurs pays des systèmes d'échange de droits d'émission de nature contraignante. Aux États-Unis, l'Initiative régionale de lutte contre les gaz à effet de serre (*Regional Greenhouse Gas Initiative* – RGGI), un programme de plafonnement et d'échange de droits d'émission de CO_2 pour les producteurs d'électricité de 10 États du nord-est, est entrée en vigueur en 2009, tandis qu'au Japon la ville de Tokyo a mis en œuvre le premier système d'échange de droits d'émission de CO_2 au niveau d'une collectivité locale. Les dispositifs de compensation faisant appel aux mécanismes de marché[21] (tels que le Mécanisme de développement propre – voir ci-dessous – et l'Application conjointe[22]) pourraient être conçus de façon à améliorer l'accès au marché du carbone des projets urbains d'atténuation afin de mettre à profit les possibilités d'atténuation à faible coût qui existent dans ce domaine (Clapp *et al.*, 2010).

Taxes sur le carbone. Les taxes sur le carbone offrent un moyen économe et efficace de réduire les émissions. Ces taxes incitent les pollueurs et les utilisateurs de ressources à changer de comportement dès aujourd'hui. Elles peuvent aussi servir d'incitations à long terme en faveur de l'innovation. Bien que les taxes carbone ne bénéficient pas du soutien du public en toutes circonstances, il est possible, par différents moyens, de les rendre plus populaires à terme (en prenant par exemple des mesures pour limiter les impacts négatifs sur la compétitivité de certains secteurs et/ou sur la répartition des revenus) (OCDE, 2008a).

De plus en plus, les pays considèrent les systèmes d'échange de droits d'émission et les taxes sur le carbone comme des mesures complémentaires, les premiers étant destinés aux secteurs à forte intensité énergétique et les derniers aux secteurs résidentiel et commercial (CCNUCC, 2011b). Lorsqu'elles existent, les taxes sur le carbone s'appliquent généralement aux combustibles et à l'électricité pour que leurs prix reflètent leurs coefficients d'émission de CO_2. Il importe toutefois de noter que si la production d'électricité est couverte par un système d'échange (le SCEQE, par exemple), les taxes sur la consommation d'électricité n'auront aucune incidence sur les émissions totales de CO_2 (OCDE, 2011f).

Dix pays de l'OCDE appliquent actuellement des taxes sur le carbone, le Danemark, la Finlande, la Norvège, les Pays-Bas, le Royaume-Uni et la Suède ayant grandement contribué à leur adoption depuis le début des années 90 (OCDE, 2009b). La Suède a été l'un des premiers pays à instaurer une taxe sur le carbone en 1991, puis à relever au fil des ans son taux global qui atteignait 111 EUR la tonne en 2010. La taxe sur le changement climatique du Royaume-Uni (*Climate Change Levy*), qui frappe la production d'électricité industrielle et commerciale responsable d'émissions de GES, a eu un effet positif indirect en stimulant l'innovation (OCDE, 2010b). Les entreprises qui bénéficient d'un taux d'imposition inférieur au taux normal au titre d'accords négociés sur le changement climatique (qui leur donnent droit à une réduction de 80 % de la taxe, à condition de respecter un objectif contraignant en ce qui concerne leur consommation d'énergie)[23] ont produit moins de brevets d'inventions visant le changement climatique que les entreprises assujettis au taux plein. Au Canada, la Colombie-Britannique applique une taxe sur le

carbone depuis 2008[24]. La taxe sur le carbone est un élément essentiel du Plan d'action climatique de la Colombie-Britannique qui vise à réduire de 33 % les émissions de GES d'ici 2020.

La situation dans les pays en développement. Les économies émergentes et les pays en développement participent déjà aux marchés du carbone dans le cadre du mécanisme pour un développement propre (MDP) mis en œuvre au titre du protocole de Kyoto[25]. Si les marchés du carbone continuent de se développer et de s'étendre, d'importants transferts de fonds privés pourraient avoir lieu, des pays développés vers les pays en développement. À court terme, ces transferts pourraient être assurés au moyen de versions à plus grande échelle des mécanismes d'attribution de crédits, tels que le MDP, déjà en place. L'amélioration du cadre du MDP et des institutions complémentaires, ainsi que la levée des obstacles aux investissements passant par ce mécanisme, pourraient permettre d'attirer plus facilement les flux nécessaires pour financer l'atténuation dans les pays en développement (Ellis et Kamel, 2007). L'existence de mécanismes d'attribution de crédits performants fait également baisser le coût de l'atténuation à l'échelle mondiale (OCDE, 2009a).

Certains pays en développement étudient par ailleurs actuellement la possibilité de recourir à des instruments de marché à l'échelle nationale pour atténuer leurs émissions de GES. Pour citer un exemple, en juillet 2010, l'Inde a mis en œuvre une taxe nationale « énergie propre » sur le charbon importé et produit localement afin de financer des activités de R-D dans le domaine des énergies renouvelables. En avril 2011 ce même pays a lancé l'initiative « *Perform, Achieve, Trade* » en vue d'améliorer l'efficacité énergétique des grandes industries énergivores (GoI, 2010). L'Afrique du Sud a mis en place en septembre 2010 un système de modulation des taxes sur les ventes de voitures neuves en fonction des émissions de carbone. Ce pays envisage aussi de mettre en œuvre des taxes sur le carbone pour réaliser ses scénarios d'atténuation à long terme (*South Africa Revenue Service*, 2010). En Chine, 10 zones ont été sélectionnées pour la préparation de plans de réduction des émissions de carbone dans le cadre d'un programme pilote bas carbone visant à étudier les possibilités de recourir aux mécanismes de marché pour promouvoir la réduction des émissions. Le lancement d'un système national d'échange de droits d'émission en 2015 a été annoncé (Reuters, 2011). En 2009, le Brésil a lancé une politique nationale de lutte contre le changement climatique, reflet de l'engagement de ce pays à réduire ses émissions de GES de 36 à 40 % par rapport aux niveaux prévus par les projections à l'horizon 2020. Il prévoit en outre de préparer une législation spécifique pour faire en sorte que la fiscalité stimule la réduction des émissions (gouvernement du Brésil, 2008). L'Indonésie a publié en décembre 2009 son Livre vert sur le changement climatique, qui proposait une tarification du carbone reposant dans un premier temps sur une taxe carbone, et pouvant évoluer ensuite vers des échanges de droits d'émissions. Bien que l'émergence de tous ces dispositifs d'échange marque une évolution positive, la coexistence de marchés fragmentés ne peut être aussi efficace et efficiente qu'un marché mondial (on trouvera une réflexion à ce sujet à la section 4).

Éliminer les subventions préjudiciables à l'environnement. La suppression ou la réforme des aides aux combustibles fossiles inefficientes et préjudiciables à l'environnement, constitue une étape importante pour « établir le juste prix » des émissions de GES. Une réforme des subventions aux combustibles fossiles pourrait contribuer à détourner l'économie des activités émettrices de CO_2, encourager les économies d'énergie, et stimuler la mise au point et la

diffusion de technologies bas carbone et de sources d'énergie renouvelables (la section 4 présente une simulation, par modélisation, de la réforme des subventions aux combustibles fossiles). La suppression des subventions aux combustibles fossiles et d'autres formes de soutien permettra de surcroît aux États et aux contribuables de faire des économies. Un inventaire effectué dans 24 pays de l'OCDE a permis de constater que la production et l'utilisation de combustibles fossiles ont bénéficié dans ces pays d'un soutien situé dans une fourchette de 45 à 75 milliards USD par an au cours de la période 2005-10 (OCDE, 2011b). Cet inventaire constitue un premier pas vers plus de transparence autour du soutien aux combustibles fossiles, mais l'analyse des mérites de chaque mesure en particulier doit être poursuivie pour comprendre lesquelles pourraient se révéler dommageables ou inefficaces. Les subventions à la consommation de combustibles fossiles dans les économies émergentes et en développement étaient estimées à plus de 300 milliards USD en 2009, et représentaient un peu plus de 400 milliards USD en 2010 (AIE, 2011b).

La suppression des subventions inefficientes peut cependant s'avérer difficile d'un point de vue politique, et elle pourrait également se solder par l'utilisation accrue de formes traditionnelles de bioénergies dans les pays en développement ce qui pourrait avoir des effets négatifs sur la santé (voir le chapitre 6 sur la santé et l'environnement). La combustion des sources traditionnelles de bioénergie est également associée à de fortes émissions de noir de carbone, lesquelles peuvent également contribuer au changement climatique. En conséquence les réformes des subventions en faveur des combustibles fossiles doivent être menées avec discernement, en particulier pour que les éventuels impacts négatifs sur le pouvoir d'achat et sur le bien-être des ménages soient atténués par des mesures appropriées (par exemple des programmes de protection sociale assortis de conditions de ressources).

Réglementations et instruments contraignants

Toute panoplie de mesures doit compléter les instruments de marché par des dispositions réglementaires, lesquelles risquent d'être particulièrement utiles lorsque les marchés ne peuvent fournir aux particuliers ou aux entreprises des signaux de prix reflétant les coûts des comportements polluants. Tel peut être le cas lorsque, par exemple, la pollution ne peut être surveillée correctement à la source ou qu'il n'existe pas de variables de substitution appropriées pour l'application de taxes. Les approches réglementaires peuvent par ailleurs être plus aisément applicables sur le plan politique lorsque certains secteurs sont fortement opposés aux hausses d'impôts. La conception des réglementations revêt une grande importance. Elles doivent être :

- précisément ciblées sur les objectifs des pouvoirs publics ;
- suffisamment strictes pour que les avantages l'emportent sur les coûts ;
- suffisamment stables pour inspirer confiance aux investisseurs ;
- suffisamment flexibles pour favoriser des solutions réellement innovantes ; et
- régulièrement mises à jour pour fournir des incitations à une innovation permanente.

Dans le secteur des transports, les normes de consommation de carburant et d'émissions de CO_2 revêtent de plus en plus un caractère obligatoire, et ont été largement mises en œuvre dans de nombreux pays. Des programmes de renouvellement du parc automobile ont également été mis en place, mais leurs résultats ont été mitigés. Ces programmes sont souvent motivés par la volonté de stimuler les dépenses des consommateurs et/ou d'aider les constructeurs automobiles dans les périodes de récession

économique. Au cours de la crise économique de 2008-09, plusieurs pays ont mis en œuvre des programmes de renouvellement du parc automobile dans le cadre de leurs plans de relance de l'économie, en faisant valoir qu'une telle mesure présente également des avantages non négligeables du point de vue de la réduction des émissions de CO_2 et de la pollution étant donné que les véhicules neufs consomment moins de carburant que les modèles plus anciens. Cependant, une analyse des programmes de ce type appliqués en Allemagne, aux États-Unis et en France porte à croire qu'ils ne constituent pas une option d'un bon rapport coûts-efficacité (OCDE/ITF, 2011). D'importants effets rebond risquent en outre de se produire si les prix des carburants ne sont pas relevés dans le même temps (puisque qu'une plus faible consommation de carburant fait baisser le coût au kilomètre parcouru).

La réglementation sert également d'outil pour réduire les émissions des gaz visés par le protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. L'Australie a ainsi adopté une réglementation relative à la protection de la couche d'ozone et à l'émission de gaz de synthèse à effet de serre, l'Union européenne, des directives sur les gaz fluorés, les systèmes de climatisation mobiles et la prévention et la réduction intégrées de la pollution et les États-Unis, le programme *Significant New Alternatives*[26]. La réglementation a aussi contribué depuis longtemps à la réduction des émissions de méthane des décharges, ainsi qu'à la réduction des émissions industrielles de N_2O et de HFC dans les pays industrialisés. En France, par exemple, elle a permis de réduire de 90 % les émissions de N_2O de l'industrie dans les années 90.

La tarification du carbone peut appuyer les mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique (voir ci-dessus) qui peuvent cependant appeler d'autres instruments réglementaires ciblés (tels que des normes de rendement énergétique pour les combustibles, véhicules et bâtiments). Si elles sont suffisamment bien conçues pour cibler les obstacles au fonctionnement du marché[27] et éviter un coûteux chevauchement avec les instruments de marché, ces mesures peuvent accélérer la diffusion des technologies propres, encourager l'innovation et permettre de réduire les émissions au meilleur coût. Les responsables de l'élaboration des politiques doivent en outre prendre garde aux « effets rebond », car une plus grande efficacité énergétique sans une tarification appropriée entraînera une diminution des coûts d'utilisation des équipements considérés, au risque d'inciter à les utiliser plus intensivement. Les mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique doivent donc impérativement aller de pair avec une tarification du carbone (OCDE, 2009a).

Encourager l'innovation et soutenir les technologies vertes

L'innovation technologique est un élément essentiel de la transition vers une économie sobre en carbone. De précédents travaux de l'OCDE ont par exemple montré que le coût de l'atténuation en 2050 pourrait être réduit de moitié et ramené d'environ 4 % à 2 % du PIB pour peu que la R-D fournisse deux technologies de rechange sans carbone dans le secteur de l'électricité et à l'extérieur de celui-ci (OCDE, 2011c). Toutefois, pour encourager l'innovation, il faudra surmonter un certain nombre de problèmes. Premièrement, il est difficile pour les entreprises de recueillir le fruit de leurs investissements consacrés à l'innovation (voir l'encadré 3.5). Deuxièmement, les nouvelles technologies et les nouveaux concurrents se heurtent à des obstacles à l'entrée spécifiques, du fait de la large diffusion des modèles dominants sur les marchés des transports et de l'énergie.

Trois facteurs doivent être réunis pour encourager l'innovation dans les technologies bas carbone. Chacun de ces facteurs sera étudié dans les sections qui suivent :

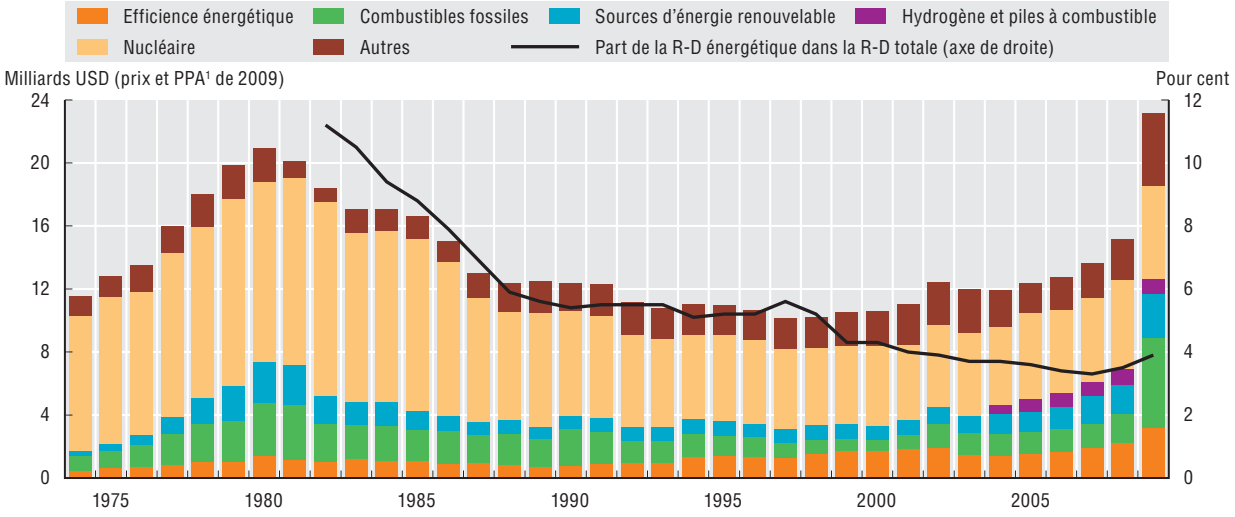
i) Investissements publics dans la recherche fondamentale : ce domaine d'activité est souvent trop risqué ou incertain pour attirer des investissements du secteur privé. La coopération internationale pourrait aider à partager le coût des investissement publics, à améliorer l'accès aux connaissances et à renforcer le transfert international de technologies.

ii) Tarification du carbone : en son absence, les utilisateurs potentiels ne seront guère incités à adopter les éventuelles technologies bas carbone qui pourraient être inventées, ce qui réduit sensiblement les incitations à développer de telles innovations. Cependant, la tarification du carbone ne suffira probablement pas à elle seule à susciter des investissements à court terme dans des technologies coûteuses dont les avantages en termes de réduction du CO_2 ne se manifesteront qu'à long terme.

iii) Cadres, instruments et moyens d'action des pouvoirs publics : ils peuvent aider à vaincre la domination exercée par les technologies, les systèmes et les entreprises déjà en place, grâce là encore à la création de conditions propices à un marché concurrentiel, mais aussi au soutien public à la R-D et à la commercialisation des innovations vertes.

Investissements publics dans la recherche fondamentale. Il importe d'intensifier les investissements dans les activités de recherche, développement et démonstration (RDD) consacrées aux technologies énergétiques bas carbone, y compris les financements directs de l'État, les subventions et les investissements privés. Après des années de stagnation, les dépenses publiques consacrées aux technologies énergétiques bas carbone ont progressé. Cependant les niveaux actuels sont encore très loin de ce qu'ils devraient être pour assurer une croissance verte (graphique 3.14). Les difficultés budgétaires actuelles auxquelles sont

Graphique 3.14. **Dépenses publiques de RDD énergétique dans les pays membres de l'AIE : 1974-2009**



1. PPA = Parités des pouvoirs d'achat. Les budgets de RDD de la Pologne, de la République slovaque et de la République tchèque n'ont pas été pris en considération faute d'être disponibles.

Source : AIE (2010), « Global Gaps in Clean Energy RD&D Update and Recommendations for International Collaboration », *Rapport de l'AIE présenté à la réunion ministérielle sur les énergies propres*, OCDE/AIE, Paris.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593971

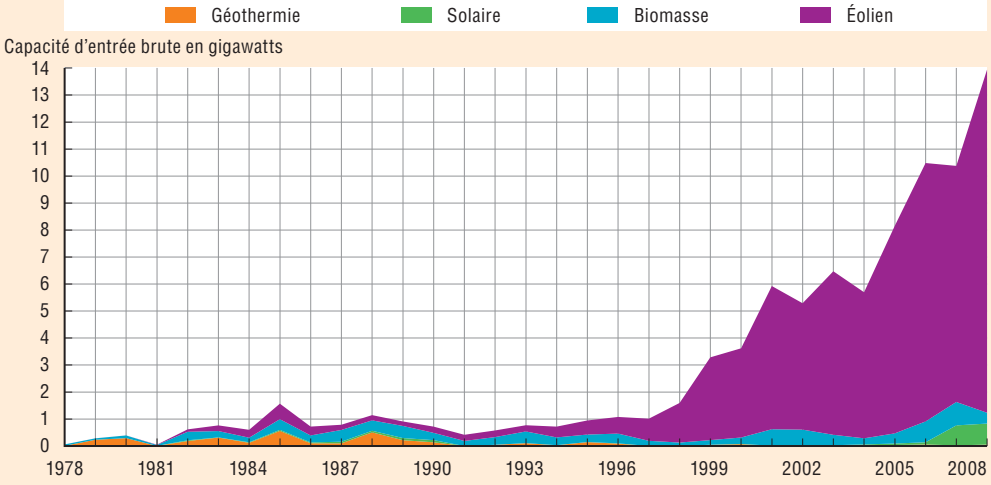
confrontés de nombreux gouvernements risquent en outre de limiter encore davantage les dépenses publiques de R-D dans le secteur énergétique.

En 2009, les gouvernements du Forum des grandes économies[28] et de l'AIE sont intervenus directement sur les marchés de l'énergie afin de promouvoir les investissements dans les technologies bas carbone, notamment de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables, l'objectif étant de doubler les investissements dans la RDD bas carbone d'ici à 2015. Ces mesures semblent avoir donné de bons résultats (encadré 3.5).

Encadré 3.5. **Croissance des centrales électriques à énergie renouvelable**

Le graphique 3.15 offre une vue d'ensemble des capacités d'entrée totales (mesurées en mégawatts électriques) des centrales, par grandes sources d'énergies renouvelables – éolien, solaire, biomasse et géothermie – au cours de la période 1978-2008. Le regain des investissements dans les centrales électriques à énergie renouvelable observé dans toutes les régions depuis 1997 coïncide avec l'adoption et la mise en œuvre du protocole de Kyoto. Au cours de cette période, les gouvernements des pays développés ont apporté des aides ciblées aux investissements dans les énergies renouvelables, ce qui peut se justifier par l'immaturité relative de ces technologies. Cette immaturité a pour conséquence qu'il est plus difficile pour les prêteurs de chiffrer précisément le risque relatif lié aux investissements dans les « énergies propres », et donc pour les investisseurs de ce secteur d'obtenir des financements à un coût raisonnable. De plus, il peut se produire dans certains cas d'importants effets d'apprentissage et de démonstration, qui ne pourront pas se matérialiser en l'absence de soutien initial (Kalamova *et al.*, 2011). Dans le même temps, le taux d'entrée de centrales au charbon ou au pétrole a fortement chuté dans ces pays.

Graphique 3.15. **Entrée de nouvelles centrales par types d'énergie renouvelable en Amérique du Nord, dans la zone Pacifique et dans l'UE15, 1978-2008**



Source : Kalamova, M., C. Kaminker et N. Johnstone (2011), « Sources of Finance, Investment Policies and Plant Entry in the Renewable Energy Sector », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 37.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932593990

Toutefois, l'intensification de l'effort de financement ne permettra pas à lui seul de se doter des technologies bas carbone nécessaires. Il conviendra d'améliorer les programmes et les politiques de RDD actuellement en vigueur en adoptant les meilleures pratiques de conception et de mise en œuvre. Il s'agira notamment d'élaborer des programmes stratégiques pour assurer l'adéquation des priorités nationales au regard des moyens disponibles ; d'évaluer rigoureusement les résultats et d'ajuster le soutien si nécessaire ; et de resserrer les liens entre l'administration publique et l'industrie, et entre le monde de la recherche fondamentale et celui des sciences appliquées dans le domaine de l'énergie, afin d'accélérer l'innovation. Au nombre des exemples de soutien public à la R-D axée sur les technologies sobres en carbone, on peut citer le programme des Plateformes technologiques européennes[29] (2007-13) et le programme pour l'innovation et les nouvelles technologies[30] en Allemagne.

Mettre à profit la tarification du carbone pour stimuler l'innovation. Pour stimuler l'innovation dans les technologies sobres en carbone, il sera indispensable de fixer le prix du carbone à des niveaux supérieurs à ceux pratiqués actuellement. Les gouvernements peuvent intervenir en prenant de nouvelles mesures destinées à relever le prix du carbone et créer un marché des options bas carbone (encadré 3.5). Les travaux de l'OCDE indiquent que la tarification du carbone stimule beaucoup plus l'innovation que les subventions en faveur de l'adoption de certaines technologies (OCDE, 2010b). Ces subventions peuvent en effet favoriser l'adoption de technologies sobres en carbone et une transformation des marchés, mais elles constituent une option onéreuse, surtout en période de restrictions budgétaires.

Aides au déploiement de nouvelles technologies. La plupart des nouvelles technologies auront, à un moment ou un autre, besoin de l'effet d'impulsion imprimé par les activités RDD mais aussi de l'effet d'attraction exercé par le déploiement sur le marché (AIE, 2010). Les pouvoirs publics devraient chercher avant tout à réduire certains des risques financiers et stratégiques pesant sur les investissements dans de nouvelles technologies sobres en carbone, à stimuler le déploiement de ces technologies et à réduire les coûts. Les données disponibles tendent à montrer qu'une grande partie des innovations majeures sont le fait de nouvelles entreprises qui remettent en cause les modèles imposés par les entreprises déjà en place. Les mesures prises par les pouvoirs publics pour lever les obstacles à l'entrée et pour soutenir la croissance des nouvelles entreprises ont donc un rôle important à jouer à l'appui du développement des technologies énergétiques sobres en carbone.

Les politiques d'aide publiques doivent être adaptées en fonction du stade de développement des technologies et elles devraient en outre s'appuyer sur une évaluation des coûts *escomptés* et des avantages *escomptés*, en tenant dûment compte des éventuelles interactions avec les autres instruments d'action. Parmi les instruments de soutien des technologies, il convient de citer les prix minimums d'achat de l'électricité produite à partir de sources renouvelables, la modulation des taxes sur le prix d'achat des véhicules automobiles en fonction de leur consommation de carburant, ainsi que les aides, les prêts et les garanties en faveur des projets d'atténuation des émissions. Cependant, si elles favorisent certaines technologies particulières, les politiques risquent d'installer durablement des choix technologiques dépassés et de contrecarrer les incitations à innover et à rechercher des possibilités d'atténuation moins onéreuses et plus performantes. Il est par ailleurs important d'examiner soigneusement comment ces politiques entrent en interaction avec les éventuels plafonds auxquels pourraient être

soumises les émissions totales (OCDE, 2011b). Les politiques mises en œuvre devraient être soigneusement conçues de manière à éviter que les intérêts en place s'en emparent à leur profit, et elles devraient être régulièrement évaluées pour garantir leur efficience et leur contribution à la réalisation des objectifs publics. S'il est vrai que la prévisibilité et des signaux à long terme sont nécessaires si l'on veut que les investisseurs investissent dans des technologies énergétiques sobres en carbone, il ne faut pas pour autant confondre prévisibilité et maintien jusqu'à la fin des temps. Il est important de supprimer le moment venu les mesures de soutien aux technologies.

Les travaux de l'OCDE sur l'innovation donnent à penser que, au-delà des politiques de soutien technologique, certains facteurs d'ordre général peuvent également jouer un rôle indirect essentiel en faveur de l'innovation et de la diffusion des technologies propres (OCDE, 2011g). Les conditions générales du marché telles que la politique de la concurrence, les régimes de protection de la propriété intellectuelle, et la politique de l'éducation sont d'importants compléments des politiques de soutien direct des technologies. La rigueur du cadre d'action dans le domaine de l'environnement (niveau des plafonds d'émission ou des prix du carbone, par exemple) a également son importance, tout comme la prévisibilité et la flexibilité des politiques mises en œuvre. Les gouvernements pourraient être tentés de « choisir les gagnants », mais les politiques devraient être aussi neutres que possible d'un point de vue technologique. L'utilisation d'instruments « flexibles » dans le cadre de la politique environnementale est un moyen d'assurer cette neutralité. Si un soutien ciblé s'avère nécessaire, il pourrait être plus efficient de l'apporter aux infrastructures à caractère général ou aux technologies susceptibles de bénéficier à un large éventail d'applications, telles qu'un meilleur stockage de l'énergie ou une meilleure gestion des réseaux dans le secteur de l'électricité. La conception des dispositifs de soutien doit être particulièrement soignée si l'on veut assurer une réelle mise en concurrence, privilégier les performances, éviter de favoriser les intérêts en place et permettre l'évaluation des politiques (Johnstone et Haščič, 2009 ; Haščič *et al.*, 2010).

Approches volontaires, campagnes de sensibilisation du public et outils d'information

Les instruments d'information, de même que les programmes d'éducation et de sensibilisation du public encouragent les consommateurs et les investisseurs à modifier leur comportement en améliorant la circulation et la précision de l'information. En font partie les systèmes d'étiquetage indiquant les caractéristiques de consommation d'énergie ou d'émissions des appareils ménagers et des véhicules automobiles, les audits des bâtiments et installations, et les manuels de bonnes pratiques. Bon nombre d'améliorations de l'efficacité énergétique, comme le retrait progressif du marché des lampes à incandescence, sont sans doute très peu coûteuses à réaliser et devraient offrir à bref délai d'importants avantages en termes de réduction des émissions, mais encore faut-il convaincre les consommateurs de franchir le pas. Les instruments d'information, tels que l'étiquette-énergie qui affiche l'efficacité énergétique des appareils électroménagers, peuvent donner de bons résultats s'ils sont bien conçus et associés à des instruments de marché et des mesures réglementaires (OCDE 2007a, b ; OCDE, 2011d ; encadré 3.6).

L'affichage des caractéristiques écologiques d'un produit telles que son empreinte carbone est une pratique de plus en plus fréquente. Aux États-Unis, la chaîne de magasins de détail Wal-Mart contraint certains de ses fournisseurs à utiliser des indicateurs des émissions de carbone. Au Royaume-Uni, il est de plus en plus courant d'indiquer

Encadré 3.6. **Écologiser les comportements des ménages : le rôle des politiques publiques**

Les consommateurs comptent pour 60 % de la consommation finale dans la zone de l'OCDE, aussi leurs décisions d'achat déterminent-elles pour une très large part le rôle que peuvent jouer les marchés en faveur des produits verts. Cependant, leurs décisions d'acheter « vert » dépendent du coût financier des options « vertes » et de l'infrastructure disponible pour les conforter dans leurs choix ; de la qualité et de la fiabilité de l'information sur les produits ; et de la connaissance qu'ont les consommateurs des enjeux environnementaux. L'industrie, l'administration publique et la société civile peuvent jouer un rôle important en instaurant un climat incitant les consommateurs à prendre des décisions d'achat plus écologiques.

Les récents travaux entrepris par l'OCDE sur la politique environnementale et le comportement des ménages visent à mieux comprendre les facteurs qui déterminent les décisions des ménages eu égard à l'environnement, afin d'en tenir compte lors de la conception et de la mise en œuvre des politiques. Les résultats d'une enquête réalisée auprès de plus de 10 000 ménages dans dix pays de l'organisation (Australie, Canada, Corée, France, Italie, Mexique, Norvège, Pays-Bas, République tchèque et Suède) confirment l'impact des incitations économiques sur le comportement des ménages et le rôle complémentaire important que joue l'information (étiquetage indiquant les performances énergétiques des appareils ménagers et logements, notamment).

Les résultats de l'enquête confirment qu'il est important de mettre en place des incitations économiques appropriées pour encourager les modifications des comportements, en particulier en ce qui concerne les économies d'énergie et d'eau. Les données font également apparaître que les effets d'une tarification de la consommation sur une base volumétrique ont leur utilité : le simple fait de mesurer à l'aide d'un compteur la consommation de ressources naturelles et de lui fixer un prix a une incidence sur les prises de décision individuelles. L'enquête indique en outre que les instruments de nature moins contraignante, reposant sur l'information des consommateurs et l'éducation du public, peuvent jouer un rôle complémentaire non négligeable. Les écolabels sont particulièrement utiles, pour peu qu'ils soient clairs et compréhensibles et qu'ils mentionnent tout aussi bien les avantages « publics » que « privés ». Il importe de ne pas perdre de vue l'utilité de ces instruments non contraignants lors de l'élaboration de stratégies de plus grande ampleur pour influer sur le comportement environnemental des consommateurs et des ménages.

Source : OCDE (2011d), *Politique d'environnement et comportement des ménages*, Éditions OCDE.

l'empreinte carbone des différents biens et services. L'étiquette-énergie de l'UE ou les labels *Energy Star* (au Canada, aux États-Unis, au Japon, en Nouvelle-Zélande, à Taiwan et dans l'UE) sont en place depuis plusieurs années. Pour l'heure, aucun de ces systèmes n'est obligatoire, bien que dans le cadre du Grenelle de l'environnement, le gouvernement français ait prévu de rendre obligatoire, à compter de 2012, l'affichage de plusieurs indicateurs environnementaux sur l'étiquette de certains produits.

Les approches volontaires sont moins utilisées ces dernières années dans les pays de l'annexe I qui ont plutôt recours aux instruments et règlements contraignants (CCNUCC, 2011b). Les accords volontaires ne sauraient venir remplacer les mesures obligatoires d'atténuation, les politiques de tarification du carbone ni les autres mesures en rapport avec le climat, mais ils peuvent renforcer les politiques nationales dans ce domaine. Leur adoption, souvent bien plus aisée que celle des instruments contraignants,

contribue à sensibiliser aux enjeux du changement climatique. Au Japon, les mesures volontaires comme le Plan d'action volontaire du Keidanren ont joué un rôle dans la réduction des émissions de GES d'origine industrielle. Les partenariats volontaires d'entreprises sont particulièrement importants aux États-Unis pour l'amélioration des performances énergétiques dans le bâtiment (programmes *Save Energy Now* et *Energy Star for Industry*) et dans le secteur des transports (*SmartWayTransport Partnership*). Des programmes de valorisation des déchets sont en cours également, comme le programme *Landfill Methane Outreach* aux États-Unis, qui vise à réduire les émissions de GES des décharges en finançant leur récupération et leur utilisation pour la production d'énergie.

Trouver la bonne panoplie de politiques

Les sections précédentes montrent qu'aucun des instruments dont disposent les responsables de l'élaboration des politiques ne peut remédier à lui seul à la totalité des multiples imperfections des marchés, et assurer ce faisant une réduction des émissions de GES d'un bon rapport coût/efficacité. Aussi faudra-t-il avoir recours à une panoplie de mesures. Si les panoplies de mesures utilisées sont mal conçues, elles risquent cependant d'aboutir à des chevauchements peu souhaitables, d'être peu efficaces par rapport aux coûts et même de porter atteinte à l'environnement (Duval, 2009 ; OCDE, 2011b ; Hood, 2011). Le vaste éventail des politiques de réduction des émissions de GES disponibles et leurs nombreuses interactions possibles conduisent à se poser la question de leur intégration dans un cadre cohérent et des moyens à utiliser à cette fin.

L'un des grands avantages des systèmes de plafonnement et d'échange, par exemple, par rapport aux autres instruments d'action, tient au fait qu'ils fournissent une incitation équivalente à réduire les émissions, quelle qu'en soit la source, d'où une meilleure rentabilité. Rappelons toutefois que, en cas de recours à un système de plafonnement et d'échange, les autres instruments d'action qui s'appliqueraient aux mêmes sources d'émission n'auront d'incidence sur les émissions totales que s'ils permettent de fixer un plafond plus strict par la suite. Aussi longtemps que le plafond demeurera inchangé, les instruments redondants n'auront aucune influence sur les émissions totales, et ne feront qu'accroître le coût global des efforts d'atténuation (OCDE, 2011b).

Les politiques doivent donc être conçues sous la forme d'un ensemble cohérent tenant compte de ces interactions. En outre, il peut se produire des interactions au-delà du champ des politiques spécifiquement climatiques. Il est possible de renforcer l'efficacité des mesures de réduction des émissions mondiales par rapport à leur coût en réformant diverses politiques ayant pour effet d'accroître les émissions de GES ou de fausser les incitations fournies par les instruments d'atténuation, et donc d'en alourdir les coûts. Au nombre des politiques en question figurent les dégrèvements de taxes sur les combustibles, les réglementations relatives aux prix de l'énergie et l'absence de droits de propriété sur les forêts dans certains pays en développement, les obstacles à l'importation des technologies de réduction des émissions, ainsi que le soutien accordé au secteur agricole dans différents pays développés.

Mesures nationales d'adaptation au changement climatique

Compte tenu du stock actuel de GES dans l'atmosphère, le monde s'apprête à connaître plusieurs décennies de changement climatique. Si les modifications du climat sont désormais inévitables, leurs effets sur les populations et les écosystèmes dépendront des mesures (d'adaptation) prises pour y faire face. L'adaptation peut aussi consister à exploiter toutes les possibilités intéressantes qui se présenteront.

L'adaptation comprend une multitude d'ajustements au niveau des comportements, des structures et des technologies. Il existe donc de nombreux types possibles de stratégies et d'instruments d'adaptation : mesures structurelles et technologiques ; instruments législatifs et réglementaires ; mesures institutionnelles et administratives ; instruments de marché et activités *in situ* (tableau 3.4). Cette section en fait la synthèse en mettant l'accent sur les éléments suivants :

- Stratégies d'adaptation et évaluation des risques au niveau national.
- Systèmes d'assurance novateurs favorisant la réduction des risques climatiques.
- Signaux-prix et marchés environnementaux pour l'amélioration de la gestion des ressources naturelles.
- Rôle du secteur privé.
- Intégration de l'adaptation à la coopération pour le développement.

Dans les régions touchées par des conditions climatiques ou des événements particulièrement extrêmes, les mesures d'adaptation risquent souvent de ne pas être suffisantes pour neutraliser les impacts. Dans ce cas, les alertes précoces et la gestion des risques de catastrophe ont un rôle particulièrement important à jouer.

Stratégies d'adaptation et évaluation des risques au niveau national

Il est particulièrement important de mettre en place des stratégies nationales pour définir et hiérarchiser les principales vulnérabilités climatiques. Des progrès ont été accomplis dans la mise en œuvre des stratégies nationales d'adaptation, et la gestion des risques climatiques est ainsi encouragée dans tous les secteurs visés. Dans le cadre d'un examen préliminaire des mesures d'adaptation prises par les pays de l'OCDE qui s'appuie sur les communications nationales au titre de la CCNUCC[31], Gagnon-Lebrun et Agrawala (OCDE, 2006) constatent cependant que les impacts du changement climatique et l'adaptation ont suscité beaucoup moins d'intérêt que les émissions de gaz à effet de serre et les mesures d'atténuation. Les analyses des impacts et de l'adaptation qui existent dans les communications nationales portent essentiellement sur l'évaluation des changements climatiques à venir et de leurs conséquences. Les pays se contentent souvent de présenter des options générales d'adaptation et non des plans d'action ou des politiques spécifiques. Cependant, Bauer *et al.* (2011), ont montré plus récemment que l'adaptation et l'information sur les risques climatiques étaient plus systématiquement prises en compte dans les politiques nationales des pays qu'ils ont étudiés[32]. D'autres études permettent aussi de constater que l'adaptation trouve sa place dans la plupart des pays, mais reste le plus souvent au second plan par rapport à l'atténuation (Townshend *et al.*, 2011 ; voir aussi le tableau 3.2). Toutefois, si les mesures touchant à la foresterie et à l'utilisation des sols (qui ont des effets bénéfiques sur le plan de l'adaptation) sont prises en compte parmi les mesures d'adaptation, le champ couvert se trouve considérablement élargi.

Tableau 3.4. **Options et instruments d'adaptation envisageables**

Secteur	Options d'adaptation	Instruments d'action envisageables
Agriculture	Assurance récolte ; investissements dans les nouvelles technologies ; élimination des distorsions de marché ; changement de cultures et de date des semis ; développement de cultures d'un meilleur rendement (variétés résistantes à la chaleur et à la sécheresse, par exemple).	Signaux-prix/marchés ; instruments d'assurance ; microfinance ; incitations en faveur de la R-D et autres formes de soutien public.
Pêche	Ouvrages de défense contre les tempêtes ; techniques permettant de faire face aux stress thermiques ; innovation en matière de technologies de reproduction ; amélioration de l'alimentation aquacole par une réduction de l'utilisation des farines de poisson ; réduction de la consommation d'antibiotiques ; approche écosystémique des pêches ; aquaculture.	Incitations en faveur de la R-D et autres formes de soutien public ; incitations réglementaires ; aménagement des espaces marins.
Zones côtières	Protection du littoral/digues maritimes ; ouvrages de protection contre les marées de tempête ; gestion des sédiments ; rechargement des plages ; protection des habitats ; planification de l'occupation des sols ; relocalisation.	Aménagement des zones côtières ; primes d'assurance différenciées ; PPP pour les dispositifs de protection du littoral.
Santé	Climatisation, normes de construction ; amélioration de la santé publique ; programmes de lutte contre les vecteurs de maladies ; programmes d'éradication des maladies ; R-D sur les vecteurs de maladies, les vaccins et l'éradication des maladies.	Incitations en faveur de la R-D et autres formes de soutien public ; incitations réglementaires (codes de construction, par exemple) ; assurance ; systèmes d'alerte et d'intervention en cas de canicule ; indices de qualité de l'air.
Ressources en eau	Lutte contre les fuites ; réservoirs ; désalinisation ; gestion des risques en relation avec la variabilité des précipitations ; autorisations de prélèvement, tarification de l'eau ; utilisation rationnelle de l'eau, récupération de l'eau de pluie.	Signaux-prix/marchés ; incitations réglementaires ; mécanismes de financement ; incitations en faveur de la R-D et autres formes de soutien public.
Écosystèmes	Réduction des pressions de base ; protection des habitats ; modification de la gestion des ressources naturelles ; marché des services écologiques ; facilitation de la migration des espèces ; sélection et modification génétiques dans les systèmes aménagés.	Marchés d'écosystèmes ; planification de l'occupation des sols ; normes environnementales ; microfinance ; incitations en faveur de la R-D et autres formes de soutien public.
Établissements humains et activités économiques	Assurance, produits dérivés climatiques ; amélioration de la résistance au changement climatique du parc immobilier et des infrastructures ; aménagement de zones, décisions d'implantation.	Normes de construction ; systèmes d'assurance ; adaptation des PPP dans le domaine des infrastructures, soutien public direct.
Événements météorologiques extrêmes	Assurance ; ouvrages de protection contre les inondations ; amélioration de la résistance du parc immobilier et des infrastructures aux tempêtes/inondations ; systèmes d'alerte précoce ; amélioration de la gestion des catastrophes ; planification de l'occupation des sols, décisions d'implantation ; adaptation fondée sur les infrastructures vertes ou les écosystèmes.	Codes de construction, planification de l'occupation des sols ; financements privés ou PPP pour les ouvrages de protection.

Source : D'après OCDE (2008c), *Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique : Coûts, bénéfices et instruments économiques*, Éditions OCDE, Paris.

L'analyse des risques climatiques et des vulnérabilités est fondamentale pour l'évaluation des différentes options d'adaptation envisageables à l'échelle nationale et locale ou au niveau des projets. Les gouvernements ont accompli des efforts considérables ces dernières années pour élaborer des méthodologies et des instruments permettant de sélectionner les projets en fonction des risques liés au changement climatique et pour effectuer des évaluations de la vulnérabilité. L'OCDE propose d'utiliser l'étude d'impact sur l'environnement (EIE) ou l'évaluation stratégique environnementale (ESE) pour prendre en compte les impacts du changement climatique et l'adaptation dans les démarches de conception, d'approbation et de mise en œuvre des projets en place dans les pays développés et en développement (Agrawala *et al.*, 2010a). L'utilisation d'un cadre global couvrant le changement climatique en même temps que d'autres impacts environnementaux diminuera aussi les risques d'erreurs d'adaptation, car l'évaluation intégrée permettra

d'éviter qu'un projet n'aggrave la vulnérabilité des systèmes naturels et humains. Les pays ont progressé dans l'examen des possibilités d'intégration des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation dans les EIE, mais il reste encore beaucoup à faire pour ajuster les cadres actuels de l'action publique, élaborer des orientations et prendre effectivement en compte le changement climatique dans les EIE. Les auteurs d'une évaluation récente n'ont pu trouver d'exemples d'intégration effective que dans trois pays – l'Australie, le Canada et les Pays-Bas (Agrawala *et al.*, 2010b). Des progrès ont été réalisés dans l'utilisation des ESE (Agrawala *et al.*, 2010a). C'est ainsi qu'en Espagne, le Plan national d'adaptation au changement climatique préconise notamment d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans la législation sectorielle.

Les données sur les coûts et bénéfices de l'adaptation présentent d'importantes lacunes. L'étude des travaux publiés montre qu'on dispose d'un volume d'informations relativement important sur les solutions d'adaptation envisageables et leurs coûts au niveau sectoriel, mais que leur répartition sectorielle et géographique est inégale (OCDE, 2008c ; Agrawala *et al.*, 2011). Il existe de nombreuses études sur l'évaluation de l'adaptation dans les zones côtières et dans le secteur agricole. En revanche, les informations disponibles sur les coûts de l'adaptation dans le secteur des ressources en eau, de l'énergie, des infrastructures, du tourisme et de la santé publique sont beaucoup moins nombreuses et limitées pour l'essentiel aux pays développés. Le Chili constitue une exception notable : entre 2008 et 2010, il a procédé à la première évaluation quantitative jamais réalisée sur les répercussions du changement climatique dans huit bassins hydrographiques situés le long de sa vallée centrale. De plus, ces informations sont aussi très influencées par le contexte, ce qui rend les généralisations difficiles.

Des systèmes d'assurance novateurs pour réduire les risques climatiques

On dispose d'une longue expérience en matière d'assurance des risques météorologiques. Les systèmes d'assurance devront tenir compte des effets de l'accroissement des dommages climatiques. Les compagnies d'assurance voient en l'assurance de l'adaptation au changement climatique un nouveau débouché commercial (NBS, 2009), et élaborent actuellement de nouveaux dispositifs de répartition des risques pour réduire la part supportée par les collectivités touchées, tout en encourageant les actions d'adaptation dans les populations exposées. Elles ont déjà mis au point des produits d'assurance spécifiques pour atténuer les risques climatiques, tels que les mécanismes de transfert des risques, les assurances liées aux conditions météorologiques et les obligations catastrophe, ainsi que les assurances fondées sur des indices météorologiques, particulièrement adaptées aux pays en développement. Swiss Re, grâce à son programme de développement de l'adaptation au changement climatique, a développé des marchés de transfert des risques financiers pour s'attaquer aux effets des conditions météorologiques défavorables dans les pays non membres de l'OCDE, dans le cadre de partenariats avec des assureurs, des banques, des institutions de microfinance, des organisations gouvernementales et non gouvernementales (PwC, 2011). Cette compagnie a déjà conçu et mis en œuvre des instruments de transfert de risques climatiques fondés sur des indices en Inde, au Kenya, au Mali et en Éthiopie.

Malgré les progrès encourageants observés dans ce domaine, le recours aux systèmes d'assurance pour l'adaptation au changement climatique se heurte à certaines difficultés, qui tiennent pour l'essentiel au manque de données et d'informations sur le changement climatique. Il est essentiel que les pouvoirs publics interviennent pour aider le secteur privé en collectant des informations, ou en partageant les risques dans le cadre de

partenariats public-privé. Toutefois, des précautions s'imposent car l'assurance n'est pas toujours viable[33] et son subventionnement risque d'être plus coûteux et de retarder l'adaptation (OCDE, 2008c). Les pouvoirs publics assument donc une autre fonction essentielle qui consiste à évaluer si le niveau de couverture de l'assurance est adéquat et le système de partage des risques équitable. Ils peuvent aussi être amenés à élaborer des mesures d'adaptation à financement public en vue de réduire les risques, ou à partager les risques les plus extrêmes avec des assureurs commerciaux.

Des signaux-prix et des marchés environnementaux pour améliorer la gestion des ressources naturelles

Les mesures de tarification des ressources naturelles incitent les propriétaires à préserver les actifs naturels et les consommateurs à les utiliser avec modération. Dans le domaine de l'adaptation, les marchés environnementaux et la tarification, par exemple des services écosystémiques, contribuent à réduire la pression et à renforcer la résilience des systèmes face au changement climatique. Ils permettent aussi de donner une valeur monétaire aux services d'adaptation assurés par les écosystèmes ou d'autres ressources naturelles (voir le chapitre 4). Ces mesures concernent les prix et les marchés de l'eau par exemple, ainsi que le paiement des services écosystémiques (protection des bassins hydrographiques, séquestration du carbone, préservation de la biodiversité, protection des paysages et conservation du patrimoine culturel ; voir le chapitre 4). Les pouvoirs publics doivent veiller à ce que les arbitrages entre la viabilité financière des dispositifs, l'efficacité de la répartition et les impacts sociaux soient bien pris en compte.

Le rôle du secteur privé

Dans un contexte de restrictions budgétaires dans les pays développés et en développement, le secteur privé jouera un rôle important dans le financement de l'adaptation, et pourra aider à surmonter les obstacles pratiques et à accélérer l'investissement dans les infrastructures (Agrawala *et al.*, 2011). Son intervention sera particulièrement utile pour les investissements dans des infrastructures coûteuses, notamment pour la construction et l'exploitation d'ouvrages de protection spéciaux (contre les inondations) ou l'amélioration de la résistance au changement climatique des infrastructures en place (réseaux routiers, réseaux de distribution d'eau et réseaux électriques), ce qui constitue la majeure partie des financements requis en matière d'adaptation.

L'action des acteurs privés en faveur de l'adaptation sera en partie motivée par l'intérêt personnel puisqu'elle permettra de réduire la vulnérabilité et d'améliorer la résistance au changement climatique. Des opportunités économiques peuvent aussi se présenter lorsque la mise en œuvre d'actions d'adaptation se traduit par la conception de nouveaux produits ou l'accès à de nouveaux marchés (OCDE, 2008c). La réduction ou la gestion des risques liés au changement climatique peuvent aussi se traduire par un avantage concurrentiel, des économies de coûts (mais peut-être pas à court terme), une réduction de la responsabilité et la confiance des investisseurs. Tout en intégrant l'adaptation au changement climatique dans leurs processus décisionnels, les entreprises peuvent appuyer l'adaptation au niveau local en développant les opportunités économiques et la croissance, en offrant des services, en fournissant des ressources financières, techniques et humaines, et en influant sur l'élaboration des politiques.

Toutefois, dans certaines zones particulièrement vulnérables, comme les îles basses, le défi est de taille, et le secteur privé risque de ne pas avoir la capacité nécessaire pour réduire les vulnérabilités. L'action du secteur privé peut être insuffisante en raison d'effets externes, de défaillances du marché ou de déficit d'informations. Les pouvoirs publics doivent mettre en œuvre la panoplie d'instruments qui convient pour permettre aux acteurs privés de prendre en temps opportun des décisions d'adaptation solidement étayées et efficaces. La mise en place de mécanismes d'incitation et de partenariat propres à promouvoir l'adaptation constituera une lourde tâche.

Les partenariats public/privé (PPP) constituent un moyen pour les pouvoirs publics de renforcer la capacité d'adaptation des industries. Ils peuvent aussi jouer un rôle important dans beaucoup de secteurs, en particulier en stimulant les investissements de R-D. En effet, l'innovation technologique est essentielle pour réduire le coût de l'adaptation au changement climatique. Toutefois, la valeur de bien public de ce type d'innovation risque de conduire à un sous-investissement du secteur privé dans la R-D. Dans ce cas, des instruments d'action publique doivent être mis en place pour inciter le secteur privé à participer. Les PPP peuvent contribuer au redéploiement des incitations en faveur de la recherche, parallèlement aux incitations fiscales et à la protection de la propriété intellectuelle assurée par des cadres d'action adéquats (OCDE, 2008c).

Intégrer l'adaptation à la coopération pour le développement

La gestion des risques climatiques est étroitement liée aux activités de développement car le changement climatique influe tout particulièrement sur les populations pauvres et vulnérables. Les organismes d'aide internationaux jouent un rôle important en renforçant le financement de l'adaptation et en intégrant le changement climatique à la coopération pour le développement. Ils peuvent appuyer toute une gamme d'activités qui comprennent la R-D et le développement technologique, la collecte et la diffusion d'informations, la coordination ou le renforcement des capacités d'adaptation. Pour aider les donneurs et les pays partenaires, l'OCDE a élaboré des orientations publiées sous l'intitulé *Adaptation au changement climatique et coopération pour le développement*, qui préconisent une approche à l'échelle de l'ensemble de l'administration (OCDE, 2009b). Ce document propose d'évaluer et de prendre en charge les risques et opportunités climatiques au niveau de l'administration centrale des pays, au niveau sectoriel, au niveau des projets, ainsi que dans des contextes urbains et ruraux.

Pour intégrer l'adaptation à chacun de ces niveaux, il faut analyser l'architecture de gouvernance et les différents stades du cycle d'élaboration des politiques, de façon à définir les points d'entrée où intégrer l'adaptation au changement climatique. Au niveau national, les points d'entrée se situent en règle générale aux différents stades de la formulation des politiques nationales, des plans de développement à long terme et pluriannuel, des processus d'attribution des enveloppes budgétaires au niveau sectoriel, ainsi que des procédures réglementaires. Dans le cas des projets sur le terrain, la situation est très différente car il peut être nécessaire de prendre en compte les questions d'adaptation au changement climatique à certains stades précis du cycle du projet.

Information, suivi et évaluation

Il est nécessaire de réunir et de fournir des informations sur les risques, la vulnérabilité, la résilience et la capacité d'adaptation face au changement climatique. La mise en place d'organisations internationales qui encouragent le partage et l'échange

d'informations est également très importante. C'est ainsi qu'a été lancé en octobre 2009 l'*Asia Pacific Adaptation Network* (réseau d'adaptation de l'Asie Pacifique – APAN) face à un besoin urgent d'actions immédiates et appropriées d'adaptation au changement climatique. Il s'agit d'une plateforme régionale du *Global Climate Change Adaptation Network* (Réseau mondial des Nations Unies pour l'adaptation au changement climatique – GAN). Le GAN a pour objectif d'aider les pays à assurer la résistance des systèmes humains, des écosystèmes et des économies vulnérables face au changement climatique, grâce à la mobilisation et au partage des connaissances et des technologies, pour appuyer le renforcement des capacités, l'élaboration de politiques, la planification et les pratiques dans ce domaine.

L'un des enjeux de taille, outre l'augmentation des investissements, consistera à constituer des ensembles d'indicateurs appropriés pour définir les priorités et des cadres de suivi et d'évaluation de l'adaptation. Alors que les progrès réalisés en matière d'atténuation peuvent être déduits de l'évolution des émissions nationales de GES, il n'existe pas encore de résultats mesurables comparables pour l'adaptation. Le suivi et l'évaluation de l'adaptation se heurtent à plusieurs difficultés qui tiennent entre autres à l'ambiguïté de sa définition, à la détermination des objectifs et au choix des indicateurs de suivi des résultats. Par conséquent, les débats internationaux sur l'adaptation portent essentiellement sur sa mise en œuvre et sur les coûts qui lui sont associés, mais les progrès accomplis dans ce domaine ne font généralement pas l'objet d'une évaluation systématique, une lacune à laquelle il faudra remédier (Lamhauge *et al.*, 2011).

Trouver la bonne panoplie de politiques : interactions entre adaptation et atténuation

La reconnaissance de l'importance de l'adaptation au changement climatique a progressé ces dernières années dans la compréhension des projections climatiques, ainsi que dans l'évaluation des impacts climatiques et des options envisageables en matière d'adaptation. Toutefois, il reste encore beaucoup à faire pour mettre en place les instruments et les institutions appropriés dans le domaine de l'adaptation. Des progrès sont nécessaires en particulier dans la mise en place de mécanismes institutionnels et l'intégration explicite des risques liés au changement climatique dans les projets et les politiques. Au niveau national, il faut aussi améliorer la compréhension du changement climatique pour pouvoir fixer les priorités. En outre, des progrès doivent être faits pour renforcer l'engagement du secteur privé et pour intégrer le changement climatique à la coopération pour le développement.

Les politiques d'atténuation et d'adaptation sont essentielles et complémentaires : le changement climatique a dès à présent des effets inéluctables à court terme, ce qui rend l'adaptation inévitable ; à plus longue échéance, en l'absence d'atténuation, l'ampleur et la rapidité du changement climatique dépasseraient les capacités d'adaptation des systèmes naturels et sociaux. Les analyses de l'OCDE et d'autres auteurs montrent que les coûts totaux du changement climatique sont les plus faibles quand les politiques d'atténuation et d'adaptation sont appliquées conjointement (Agrawala *et al.*, 2010b ; de Bruin *et al.*, 2009 ; GIEC, 2007b).

Il faut cependant trouver l'équilibre adéquat entre les mesures à court et à long terme, pour l'atténuation comme pour l'adaptation. L'intervention précoce implique un certain degré d'irréversibilité et des coûts d'opportunité, puisque, en théorie du moins, il peut être utile d'attendre de disposer de meilleures informations sur la gravité des impacts climatiques ou sur de nouvelles technologies de réduction de la pollution, et que beaucoup

d'investissements réalisés sont « irrécupérables » car incorporés dans des équipements ou des infrastructures à longue durée de vie. On ne connaît pas les moyens et les délais d'intervention optimaux, et il faut éviter à la fois des coûts de politiques irréversibles et des dommages irréversibles et peut-être extrêmes, un compromis difficile à trouver. Les politiques mises en œuvre peuvent cependant influer sur ce choix (Jamet et Corfee-Morlot, 2009 ; Weitzman, 2009).

L'orientation sectorielle des stratégies climatiques nationales, l'équilibre entre atténuation et adaptation et la panoplie des instruments d'action varieront selon les pays en fonction des circonstances nationales, des profils économiques et démographiques, des préférences culturelles (et réglementaires), de la part relative des diverses sources d'énergie, de la nature et de l'ampleur des dysfonctionnements du marché et des différences de capacités institutionnelles. Dans certains contextes, les stratégies d'atténuation et d'adaptation peuvent entrer en concurrence pour l'obtention de ressources. Cependant, la réalisation d'investissements élevés dans l'une des stratégies réduira nécessairement les besoins d'investissement dans l'autre. Même si les investissements d'adaptation étaient illimités, des mesures d'atténuation resteraient nécessaires.

La gouvernance multi-niveaux est de plus en plus présente dans les stratégies et plans d'atténuation et d'adaptation climatiques au niveau national, les initiatives prises au niveau régional et local/urbain apportant une contribution aux stratégies climatiques nationales considérées dans leur ensemble (OCDE, 2010a). Les villes et les collectivités locales, compte tenu de leur densité de population, d'activités économiques et d'émissions de GES, ont un rôle important à jouer dans l'atténuation du changement climatique et l'adaptation (OCDE, 2010a). Cependant, on pourra éviter les mesures redondantes ou coûteuses en harmonisant les incitations et en assurant une coordination efficace entre les différents niveaux d'administration. On peut craindre par exemple que les mesures prises par une ville ne soient automatiquement contrebalancées par la défaillance d'une autre ville qui ne réduirait pas ses émissions, surtout si les émissions totales sont plafonnées dans une zone donnée (OCDE, 2011b).

4. Les étapes à franchir demain : construire une économie sobre en carbone et résistante face au changement climatique

Les instruments en place au niveau international et national ayant été examinés, cette dernière section explique quelles sont les politiques complémentaires nécessaires pour limiter la hausse des températures à 2 °C. Elle s'appuie sur plusieurs scénarios de modélisation pour mettre en évidence les conséquences de différentes solutions de réduction des émissions sur le plan de la faisabilité, des coûts et des émissions. Elle étudie aussi les implications qu'auraient des objectifs moins ambitieux et l'élimination des subventions aux combustibles fossiles. Elle se termine par une analyse des synergies entre les politiques climatiques et d'autres objectifs.

Les Accords de Cancún indiquent aussi qu'il faut étudier la possibilité de renforcer l'objectif mondial à long terme, par exemple en limitant la hausse moyenne de la température à 1.5 °C. La réalisation de cet objectif plus rigoureux nécessiterait de prendre sans délai des mesures d'atténuation encore plus importantes. L'étude du PNUE (encadré 3.7 et PNUE, 2010) n'a mis en évidence pratiquement aucun modèle d'évaluation intégrée qui permette d'identifier des trajectoires présentant un bon rapport coût/efficacité et offrant une probabilité moyenne, voire élevée, d'atteindre cet objectif plus ambitieux à la fin du siècle.

Encadré 3.7. **Le rapport du PNUE sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction d'émissions**

L'Accord de Copenhague souligne qu'il faut une forte diminution des émissions mondiales de gaz à effet de serre pour maintenir la hausse des températures mondiales sous la barre des 2 °C. Il préconise une évaluation qui envisagerait le renforcement de l'objectif à long terme, à savoir une hausse de la température limitée à 1.5 °C. Depuis décembre 2009, de nombreux pays se sont engagés à réduire leurs émissions ou à en limiter la croissance jusqu'en 2020. Certains de ces engagements s'accompagnent de conditions, comme la fourniture de financements et de technologies ou l'adoption de mesures ambitieuses de la part d'autres pays. C'est pourquoi il n'est pas facile de se prononcer sur les résultats que pourront avoir ces différents engagements. Le PNUE (2010) a fait le point des travaux consacrés à l'évaluation des engagements.

Le rapport montre que des niveaux d'émissions de 44 gigatonnes environ d'équivalent CO_2 (Gt éq.-CO_2) (dans une fourchette comprise entre 39 et 44 Gt éq.-CO_2) en 2020 seraient compatibles avec une chance « probable » de limiter le réchauffement mondial à 2 °C (probabilité supérieure à 66 %) ; pour une probabilité moyenne (50 % au moins) de maintenir la hausse des températures en dessous de 2 °C, la fourchette est de 41 à 48 Gt éq.-CO_2. La fourchette correspondant à la probabilité moyenne est représentée au graphique 3.16. Dans les projections de *statu quo*, c'est-à-dire dans le cas où aucun engagement ne serait mis à exécution, les études prises en compte indiquent que les émissions mondiales pourraient atteindre 56 Gt éq.-CO_2 (dans une fourchette de 54 à 60 Gt éq.-CO_2) en 2020, ce qui laisse un écart de 12 Gt éq.-CO_2 avec la situation « probable » (dans une fourchette de 10 à 21).

Le rapport explique qu'il est possible de réduire fortement cet écart si :

- Les pays mettent en œuvre des engagements plus ambitieux et conditionnels, comme la mise à disposition d'une assistance financière adéquate et l'adoption de mesures ambitieuses de la part d'autres pays.
- Les négociations aboutissent à l'adoption de règles qui permettent d'éviter un accroissement net des émissions provenant : *i)* d'une comptabilisation « souple » autorisant l'attribution de crédits d'émission à des activités d'utilisation des terres, de changement d'affectation des terres et de foresterie (UTCATF) qui auraient eu lieu en tout état de cause en l'absence de nouvelle politique ; et *ii)* de l'utilisation des unités de réduction d'émissions en surplus, en particulier de celles qui peuvent être reportées au-delà de la période d'engagement en cours du protocole de Kyoto, pour satisfaire aux engagements des pays industrialisés.
- Les compensations ne sont pas comptées deux fois.

L'application de ces solutions permettrait de ramener l'écart à 5 Gt éq.-CO_2. Cette valeur correspond approximativement à ce que représentaient les émissions annuelles mondiales de l'ensemble des automobiles, autobus et autres moyens de transport en 2005, et aussi à plus de la moitié du chemin à parcourir pour atteindre l'objectif des 2 °C. Des mesures nationales plus ambitieuses, avec l'appui dans certains cas de financements internationaux, pourraient contribuer à réduire encore l'écart.

Ce rapport a été actualisé dans l'étude du PNUE (2011c), qui révèle que l'écart entre les niveaux d'émissions requis et les niveaux résultant des engagements pris s'est quelque peu creusé, non parce que les engagements eux-mêmes ont changé, mais parce que les projections d'émissions du scénario de *statu quo* pour 2020 ont été revues à la hausse.

Source : PNUE (2010), *Emissions Gap Report*, PNUE, Nairobi.

Les modèles utilisés dans ces *Perspectives* ne sont pas non plus en mesure de simuler les trajectoires requises offrant au moins une probabilité moyenne d'atteindre cet objectif plus ambitieux.

Et si… ? Trois scénarios de stabilisation des émissions à 450 ppm

Des travaux montrent que, si les concentrations mondiales de GES[34] pouvaient être stabilisées à 450 ppm d'équivalent CO_2, la probabilité de maintenir la hausse des températures mondiales au-dessous de 2 °C serait comprise entre 40 % et 60 % (Meinshausen *et al.*, 2006 ; 2009)[35]. Pour étudier la possibilité d'atteindre cet objectif et ses conséquences, on a modélisé trois scénarios différents de stabilisation des concentrations à 450 ppm à la fin du XXIe siècle. Le tableau 3.5 reprend les principales caractéristiques des trois scénarios, complété d'un scénario moins ambitieux de concentrations à 550 ppm à des fins de comparaison. L'annexe 3.A fournit des précisions sur les hypothèses utilisées dans ces scénarios, et le chapitre 1 donne des informations générales sur les modèles ayant servi à l'analyse.

Tableau 3.5. **Aperçu des scénarios d'atténuation des *Perspectives de l'environnement***

Scénario	Hypothèses	Émissions moyennes de GES par décennie (Gt éq.-CO_2)			
		2010-20	2020-30	2030-50	2050-2100
450 base	Limitation de la concentration de GES à 450 ppm d'ici à la fin du XXIe siècle ; début de l'application des mesures de lutte contre le changement climatique en 2013, avec une flexibilité complète dans le temps et entre les sources et les gaz ; mise en place d'un marché mondial du carbone.	485	450	315	80
450 action accélérée	Identique au scénario *450 base*, mais avec des efforts d'atténuation supplémentaires jusqu'en 2030.	480	435	280	85
450 action tardive	Identique au scénario *450 base*, mais aucune mesure d'atténuation ne dépasse les engagements pris dans le cadre des Accords de Copenhague/Cancún jusqu'en 2020 ; marchés régionaux du carbone fragmentés.	505	495	325	65
550 base	Identique au scénario *450 base*, mais avec une limitation à 550 ppm d'ici à la fin du siècle.	505	525	490	280

Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle IMAGE.

Le scénario ***450 base*** suppose une flexibilité complète du calendrier de réduction des émissions et l'utilisation de solutions d'atténuation, notamment de la bioénergie avec CSC, appelée BECCS[36] (voir aussi l'encadré 3.13). Comme il prévoit en outre l'instauration d'une coopération mondiale dans la lutte contre le changement climatique, la trajectoire de réduction est mise en œuvre dans le cadre d'un marché du carbone pleinement harmonisé englobant toutes les régions, tous les secteurs et tous les gaz. Cette trajectoire nécessite : *i)* d'agir sans tarder pour établir une tarification du carbone et exploiter immédiatement les solutions d'atténuation peu coûteuses dans tous les secteurs, toutes les régions et pour tous les gaz ; *ii)* de transformer progressivement le système énergétique pour en faire un secteur bas carbone ; et *iii)* de profiter des importantes opportunités offertes par les technologies avancées à bas coût – notamment la BECCS – encouragées par le prix du carbone. Comme l'analyse englobe toutes les options d'atténuation au moindre coût, ce scénario constitue la solution de référence rentable à prendre en compte pour comparer les autres scénarios.

Le scénario ***450 base*** table sur la possibilité d'émissions négatives dans certaines régions dans la seconde moitié du siècle, grâce à la BECCS. Cette trajectoire peut donc s'appliquer même si les niveaux d'émissions restent relativement élevés durant la première moitié du siècle. Cependant, on ne dispose pour l'instant que d'une expérience limitée des bioénergies et de la CSC. Ces deux technologies se heurtent à des difficultés liées à l'incertitude des politiques climatiques, à l'acceptation par le public, aux risques inhérents aux technologies pionnières, et (en particulier pour ce qui concerne la CSC) à leurs coûts élevés par rapport à d'autres technologies. Les bioénergies peuvent aussi avoir des effets secondaires préjudiciables du fait de changements indirects d'utilisation des sols susceptibles de provoquer une augmentation des émissions et des pertes de biodiversité. Les incertitudes relatives aux coûts et à l'efficacité de la technologie BECCS demeurent donc considérables (encadré 3.13). Si la BECCS ne tient pas ses promesses et ne permet pas d'aboutir à des émissions négatives, la planète court le risque d'être condamnée à de plus fortes hausses de la température. La solution optimale pour la décennie à venir devra concilier au mieux les risques climatiques à long terme, les coûts à court terme, les potentiels d'atténuation et les progrès technologiques escomptés.

En revanche, le scénario ***450 action accélérée*** repose sur l'hypothèse d'un effort d'atténuation plus intense dans la première moitié du siècle, et d'une moindre utilisation dans les dernières décennies des technologies d'atténuation des émissions qui n'ont pas fait leur preuves (comme les bioénergies avec CSC). Ce scénario présente en outre de meilleures possibilités d'atteindre des objectifs plus ambitieux de stabilisation des températures à long terme, comme une élévation de 1.5 °C, bien que les possibilités d'accélérer encore la réduction des émissions au-delà de la trajectoire présentée ici soient limitées.

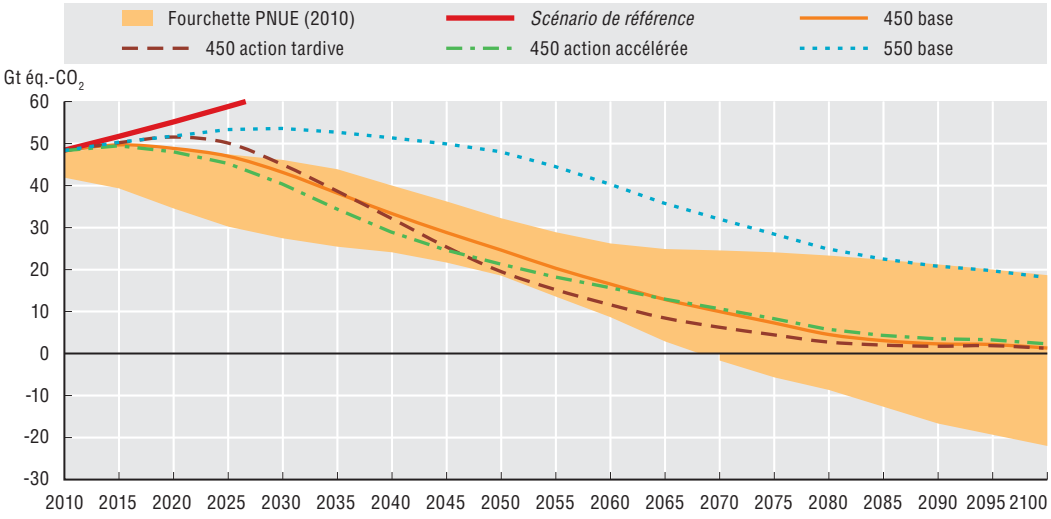
De son côté, le scénario ***450 action tardive*** part de l'hypothèse qu'il ne serait pas réaliste d'escompter d'importantes réductions des émissions dans la prochaine décennie[37]. Il correspond à la situation actuelle dans la mesure où il modélise la fourchette haute des engagements pris dans le cadre des Accords de Copenhague et de Cancún (avec des règles strictes de comptabilisation de l'utilisation des sols et aucune utilisation des surplus de droits d'émission dégagés au terme de la période d'engagement actuelle du protocole de Kyoto). Il repose aussi sur l'hypothèse de l'absence de liaison entre les différents marchés nationaux du carbone jusqu'en 2020. Si ce scénario se vérifie, les émissions se situeront en 2020 en dehors de la fourchette de 41-48 Gt éq.-CO_2 recommandée par le PNUE pour des trajectoires au moindre coût offrant une probabilité au moins moyenne de limiter la hausse de la température mondiale à 2 °C. Le scénario *450 action tardive* suppose que des efforts supplémentaires importants devront être réalisés après 2020 pour « rattraper le retard » et qu'un rythme de réduction très rapide sera nécessaire pour que la probabilité d'atteindre l'objectif des 2 °C soit de 50 %. Reporter au-delà de 2050 la compensation de la hausse des émissions à court terme accroîtrait la probabilité de dépasser la limite de température et les risques de conséquences négatives pour l'environnement d'une élévation annuelle de la température dans les décennies à venir supérieure de 10 % à celle du scénario *450 base*. En outre, le scénario repose aussi fortement sur la possibilité : *i)* de libérer le système énergétique mondial de sa dépendance à l'égard des combustibles à forte teneur en carbone ; *ii)* de transformer rapidement le système énergétique dans les décennies suivantes. Ces hypothèses vont à l'encontre des tendances observées, puisque l'asservissement du monde à un système énergétique à forte intensité de carbone s'aggrave en réalité chaque année (AIE, 2011b).

Enfin, le scénario 550 *base* étudie les conditions nécessaires pour limiter les concentrations de GES au niveau de 550 ppm à la fin du siècle. Dans ce scénario, la probabilité que la hausse de la température mondiale moyenne dépasse 2 °C est beaucoup plus forte, et il n'existe qu'une probabilité moyenne de la limiter à 2.5 °C-3 °C. Les autres impacts du changement climatique sont également plus marqués que dans les scénarios à 450 ppm.

Le graphique 3.16 montre l'incidence des différentes trajectoires sur l'augmentation du niveau des émissions mondiales dans le temps et la compare à la série de trajectoires présentée dans PNUE (2010) (voir l'encadré 3.7). Les trois scénarios à 450 ppm présentent un pic d'émissions avant 2020. Le scénario 450 *action tardive* indique un court délai avant que le niveau des émissions mondiales ne commence à baisser, ce qui signifie qu'il faudrait une inversion rapide de la tendance actuelle après 2025 pour atteindre néanmoins l'objectif des 2 °C. Notons que, jusqu'en 2020, la trajectoire du scénario 450 *action tardive* est pratiquement identique à celle du scénario à 550 ppm.

Graphique 3.16. **Évolution des émissions dans différents scénarios, 2010-2100**

Émissions nettes annuelles de l'ensemble des gaz visés par le protocole de Kyoto, en Gt éq.-CO_2

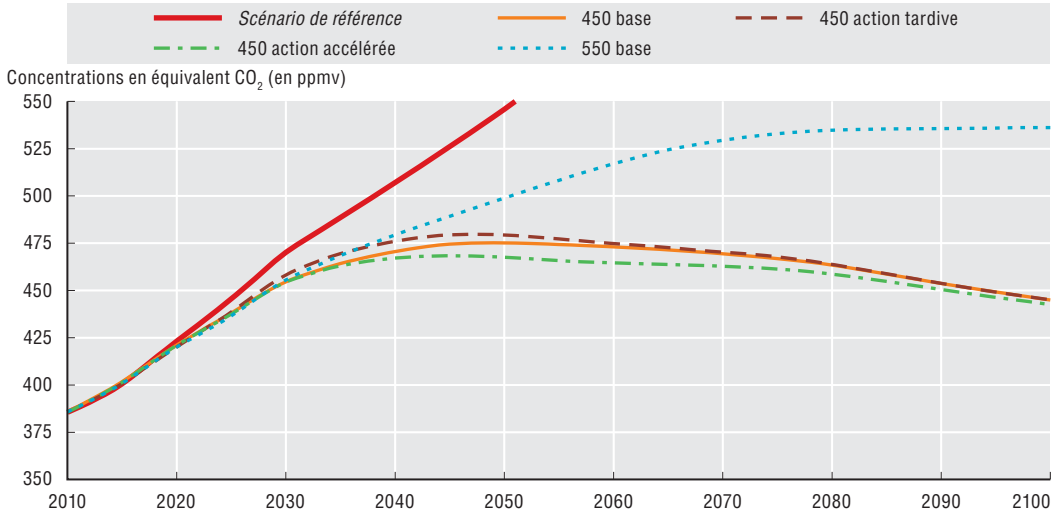


Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594009

Les trajectoires correspondant à une hausse de 2 °C présentées dans ces *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* supposent une répartition optimale des efforts d'atténuation entre les différentes sources et les différents gaz. Dans ces scénarios d'optimisation simplifiés, un dépassement temporaire du niveau de concentration ciblé (450 ppm) est observé au milieu du siècle, avant une baisse qui permet d'atteindre le niveau visé à la fin du siècle (graphique 3.17). Il n'en reste pas moins qu'un tel dépassement pourrait avoir de graves conséquences sur l'environnement en entraînant dans les prochaines décennies un taux de variation des températures plus élevé que dans les scénarios qui prévoient des mesures à un stade plus précoce. Une accélération du changement climatique et un dépassement plus important des concentrations visées pourraient avoir de graves conséquences pour certains systèmes déjà menacés à de plus faibles niveaux de variation (les récifs coralliens et peut-être les systèmes océaniques de manière plus générale ; GIEC, 2007a et b ; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007). Compte tenu du délai de réaction des

Graphique 3.17. **Évolution des concentrations dans les quatre scénarios des *Perspectives* compte tenu de tous les facteurs de forçage climatique, 2010-2100**



Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594028

températures aux variations de concentrations, les modifications des paramètres climatiques mondiaux seront en principe très modestes dans le cas de faibles variations des émissions, à supposer qu'elles soient compensées dans un délai de deux à trois décennies (den Elzen et van Vuuren, 2007) et les scénarios présentés ici ne conduisent pas à un dépassement de l'objectif de 2 °C.

Le graphique 3.17 montre les évolutions des concentrations qui résultent des projections dans les différents scénarios, en incluant tous les facteurs de forçage[38]. Elle montre que la trajectoire du scénario 450 *action tardive* présente un degré de dépassement plus important que les deux autres scénarios à 450 ppm. Le rattrapage des efforts d'atténuation au milieu du siècle se traduit par une diminution progressive des niveaux de concentration qui rejoignent la trajectoire du scénario 450 *base* et restent à peu près identiques à partir de 2080. En revanche, le scénario 450 *action accélérée* empêche un certain degré de dépassement et présente un pic des niveaux de concentration inférieur à 470 ppm. Dans les trois scénarios à 450 ppm, les niveaux de concentration diminuent après 2050 pour éviter un dépassement de la hausse de la température. Enfin, il faut noter que les scénarios 450 *action tardive* et 550 *ppm*, qui prévoient des efforts d'atténuation moins intenses dans la prochaine décennie, présentent des émissions plus élevées d'aérosols, en particulier soufrés. En effet, la réduction de la consommation d'énergie est en général moins marquée. L'effet de refroidissement de ces gaz fait baisser les températures à court terme par rapport au scénario 450 *base*, ce qui explique les niveaux de concentration très similaires jusqu'en 2030.

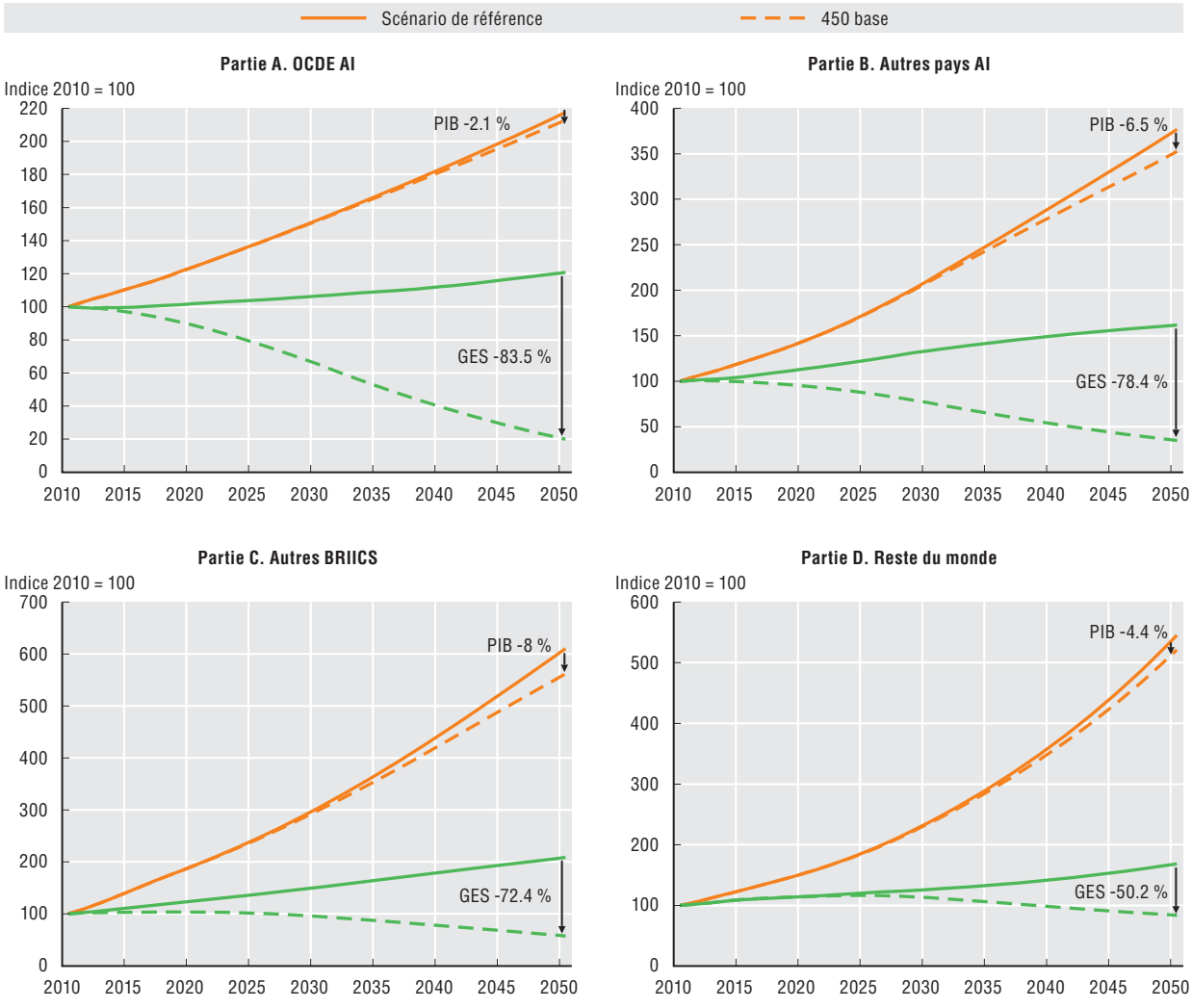
Par rapport à la projection du *scénario de référence* sans nouvelles politiques, les trois scénarios à 450 ppm auraient tous des impacts nettement plus faibles sur le climat, et présentent une probabilité au moins moyenne de limiter à 2 °C la hausse de la température moyenne du globe en 2100[39]. Les régimes pluviométriques sont également moins modifiés dans les scénarios à 450 ppm que dans le *scénario de référence* (voir les graphiques 3.10 et 3.11). Les efforts d'atténuation dans le cadre des scénarios à 450 ppm ne permettront pas

cependant d'éviter tous les impacts climatiques. L'adaptation aux impacts restants demeurera donc nécessaire.

Conséquences de la mise en œuvre du scénario 450 base

Le graphique 3.18 montre que, pour atteindre l'objectif de stabilisation à 450 ppm, il faudra réduire les émissions mondiales de 12 % en 2020 et de 70 % en 2050 par rapport au *scénario de référence* (le niveau des émissions en 2050 sera alors inférieur de 52 % à celui de 2005, et de 42 % à celui de 1990). Il faudrait par conséquent que les émissions baissent en moyenne de 1.7 % par an entre 2010 et 2050, alors que le *scénario de référence* prévoit une hausse de +1.3 %. La réduction des émissions de CO_2 dues à la combustion de combustibles

Graphique 3.18. **Scénario 450 *base* : émissions et coût d'atténuation, 2010-2050**



Notes : Les projections relatives aux émissions s'entendent avant l'échange de permis d'émission, c'est-à-dire qu'elles tiennent compte des quotas d'émission.

« OCDE AI » correspond au groupe des pays de l'OCDE inscrits à l'annexe I du protocole de Kyoto. « Autres pays AI » désigne les autres parties visées à l'annexe I, dont la Russie. Les « Autres BRIICS » sont les pays du groupe BRIICS à l'exception de la Russie, et le « Reste du monde » correspond à toutes les autres régions prises en compte dans le modèle ENV-Linkages.

Les chiffres de PIB n'incluent pas les coûts de l'inaction.

Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594047

fossiles représenterait 75 % de la réduction globale d'ici 2050. La situation est inversée dans le cas des émissions dues au changement d'affectation des terres : dans le scénario *450 base*, il faudrait affecter des terres supplémentaires à des cultures bioénergétiques. La réduction des émissions résultant du changement d'affection des terres serait ainsi moins rapide que dans le *scénario de référence* et les taux nets d'absorption du CO_2 plus faibles dans les dernières décennies (la différence étant de 1.2 Gt éq.-CO_2 en 2050). Pour atteindre l'objectif de 450 ppm, il faudrait compenser ces émissions supplémentaires (et ce taux d'absorption plus faible) par de plus fortes réductions des émissions dans les secteurs de l'énergie et de l'industrie.

Dans ce scénario, on suppose que la tarification du carbone sert à encourager les efforts d'atténuation dans tous les secteurs de l'économie. Une part assez importante de la réduction des émissions pourra être obtenue, rapidement et pour un coût relativement bas, par la limitation des émissions des gaz autres que le CO_2 émis par les industries (extraction du charbon, traitement et transport du pétrole et du gaz naturel, production d'acides, par exemple) et le secteur agricole (modification des modes de culture du riz et gestion des éléments nutritifs, par exemple) ; et par l'amélioration de la gestion des déchets (recyclage des déchets et valorisation du méthane de décharge). Pour faire baisser les émissions mondiales au-delà de 2020, il faudrait une hausse rapide du prix du carbone (qui s'établirait à 325 USD/t éq.-CO_2 en 2050) de façon à décourager la dépendance à l'égard des sources d'énergie à base de carbone. Seul un signal-prix fort et durable concernant le carbone permettra d'assurer la transition majeure nécessaire dans les secteurs à forte intensité de carbone et ceux qui font l'objet d'investissements de grande envergure dans les infrastructures.

Ce scénario suppose un ralentissement de la croissance entre 2010 et 2050 sous l'effet de la baisse de la consommation d'énergie et du recours à d'autres sources d'énergie par suite de la hausse des prix. Le taux moyen de croissance diminue, passant de 3.5 % par an dans le *scénario de référence* à 3.3 % par an dans le scénario *450 base*, d'où un PIB mondial inférieur de 5.5 % en 2050 à celui du *scénario de référence*. Il faut souligner toutefois que les résultats présentés ici présentent tous une lacune majeure (encadré 3.8) puisqu'ils ne tiennent pas compte des avantages des actions d'atténuation (voir le chapitre 2 sur le coût de l'inaction et le chapitre 3, section 4, sur les synergies avec d'autres questions environnementales). Les impacts économiques correspondent donc strictement au coût de l'action, et non aux coûts ou avantages nets.

Entre 2010 et 2020, la consommation d'énergie augmente dans le *scénario de référence* comme dans le scénario *450 base* (mais plus lentement dans ce dernier). Après 2020, les réductions d'émissions résulteraient essentiellement de l'amélioration de l'efficacité énergétique et de changements importants dans les sources d'énergie utilisées. Les simulations à l'aide du modèle ENV-Linkages permettent de constater que les améliorations de l'efficacité énergétique constituent le facteur principal (en particulier lorsque les producteurs remplacent les énergies les plus coûteuses par le travail et le capital, par exemple en se dotant de machines plus onéreuses mais présentant un meilleur rendement énergétique), et entraînent une forte baisse des émissions en 2050[40]. Une décarbonisation de grande envergure est nécessaire dans les secteurs de la production d'électricité et des transports, ainsi que le remplacement des sources d'énergie polluantes utilisées par les consommateurs (pour la cuisson des aliments par exemple) par des technologies plus efficientes reposant sur l'électricité, mesures qui exigent une restructuration radicale du secteur énergétique.

Encadré 3.8. **Incertitudes relatives aux coûts et cadres de modélisation**

De nombreuses incertitudes entourent l'évolution du climat et le calendrier de réduction des émissions, mais aussi les coûts de mise en œuvre des politiques de lutte contre le changement climatique. Les variations entre les estimations des coûts dans les différents cadres de modélisation montrent que la disponibilité des solutions technologiques envisageables, leurs coûts et leur évolution dans le temps sont marqués par des incertitudes fondamentales, de même que les hypothèses relatives à la croissance économique, le traitement des options susceptibles de présenter des coûts nets négatifs (économies d'énergie par exemple) et les autres caractéristiques du modèle. Par rapport à la suite de modèles IMAGE, le modèle ENV-Linkages prend par exemple pour hypothèse un plus fort potentiel d'atténuation à un coût modéré pour les GES autres que le CO_2. En conséquence, le scénario *450 base* conduit en 2020 à des prix du carbone sensiblement plus bas avec le modèle ENV-Linkages qu'avec le modèle IMAGE (10 USD/t éq.-CO_2 contre 50 USD/t éq.-CO_2).

Si les résultats présentés ne proviennent que des modèles ENV-Linkages et IMAGE, ceux-ci font toutefois partie d'une large famille de modèles conçus pour étudier les politiques de lutte contre le changement climatique. Certains auteurs ont procédé à des comparaisons entre modèles pour mieux comprendre l'influence des cadres de modélisation sur les résultats, et pour déterminer la fourchette des estimations de coûts (voir Edenhofer *et al.*, 2009 et 2010 ; Clarke *et al.*, 2009 ; et van Vuuren *et al.*, 2009). Une trajectoire à 450 ppm entraînerait en 2050 une réduction du PIB qui serait de 5 %-6 % (avec ENV-Linkages) ou de 4 % (avec IMAGE). Ces résultats se situent dans la fourchette des estimations de Luderer *et al.* (2009), comprises entre –0.5 % environ et 6.5 % (en 2060), et sont identiques aux estimations de coûts pour 2050 citées par le GIEC (2007c). Comme le soulignent Tavoni et Tol (2010), ces fourchettes sont à évaluer avec précaution, car elles excluent généralement les modèles qui ne permettent pas d'atteindre l'objectif. À l'intérieur de la fourchette donnée, des coûts d'atténuation plus élevés peuvent résulter, par exemple, d'hypothèses plus prudentes concernant la substitution entre facteurs de production et technologies énergétiques, ou de la disponibilité limitée des technologies avancées dans les modèles (Edenhofer *et al.*, 2010). La partie basse de la fourchette correspond généralement à des modèles comportant un large portefeuille de technologies et des hypothèses optimistes sur le progrès technologique.

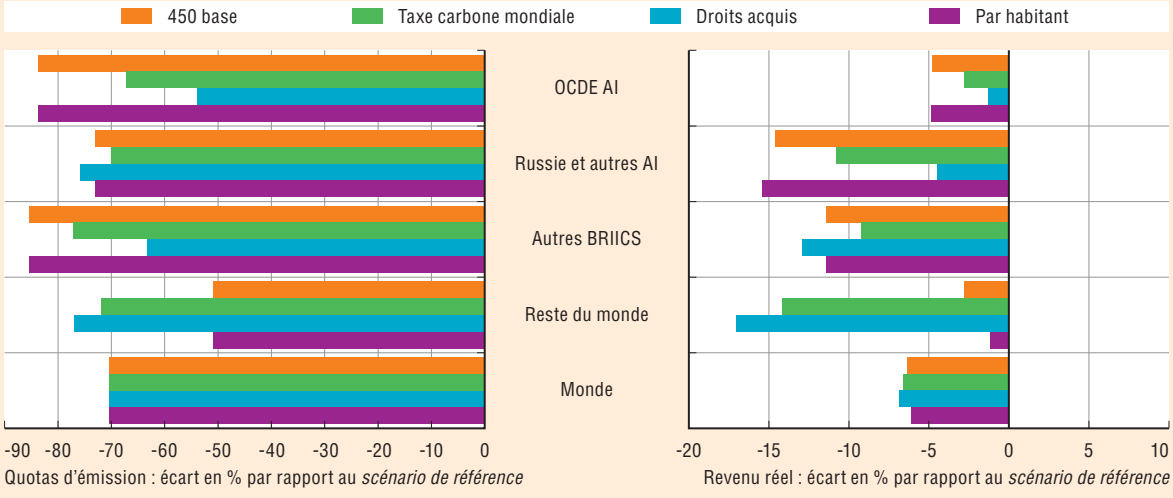
Les coûts indiqués dans le graphique 3.18 résultent d'une règle d'attribution des droits d'émission régionaux, selon laquelle les droits d'émission régionaux évoluent au fil du temps pour converger vers un droit d'émission égal par habitant (encadré 3.9). Cette règle d'attribution, dite de « contraction et convergence », qui ne constitue pas une recommandation pratique, est utilisée ici uniquement à titre d'illustration. D'autres règles d'attribution des droits débouchent sur des coûts mondiaux analogues, du moins quand les échanges sont autorisés pour tous les droits d'émission, mais la répartition de ces coûts entre régions peut varier considérablement.

Lorsque l'échange intégral des permis d'émission est autorisé, toutes les régions présentent des trajectoires de réduction des émissions de GES similaires (réduction comprise entre 67 % et 71 % en 2050 par rapport au *scénario de référence*), car la rigueur de l'objectif fixé dans le scénario *450 base* les incitent à agir. Cependant, les stratégies d'atténuation diffèrent en fonction du niveau de développement économique et des perspectives de croissance. En adoptant rapidement les technologies bas carbone, les économies de l'OCDE peuvent se « décarboniser » en partie, tandis que, dans les BRIICS,

Encadré 3.9. **Et si… la charge de l'atténuation était répartie autrement ? Importance des règles d'attribution**

Dans un système mondial de plafonnement et d'échange (hypothèse du scénario 450 *base*), des droits d'émission sont attribués à chaque pays. Comme le montre le graphique 3.19, la détermination de droits d'émission au niveau régional pourrait constituer une mesure efficace pour déplacer une partie de la charge des coûts d'atténuation des économies en développement vers les pays de l'OCDE. Dans tous les cas présentés ici, on suppose que les pays peuvent vendre aux enchères les permis d'émission qui leur ont été alloués, les recettes ainsi générées étant redistribuées aux ménages sur une base forfaitaire. Le régime de répartition de la charge au niveau international vise donc principalement à répartir les coûts entre les pays, et non entre tel et tel pollueur. On suppose aussi que l'échange intégral des droits au niveau international est autorisé. Il en résulte pour l'essentiel une séparation entre le lieu de l'action d'atténuation et le lieu de sa prise en charge économique. Sauf lorsque les coûts de transaction sont prohibitifs, ces règles de répartition des droits permettent très efficacement de faire en sorte que les choix à effectuer se portent sur les solutions les moins coûteuses.

Graphique 3.19. **Impact des systèmes d'attribution des permis sur les quotas d'émission et sur le revenu réel en 2050**



Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594066

Les différentes règles d'attribution des droits envisagées ici – qui présentent toutes la même trajectoire d'émissions que le scénario 450 *base* – sont les suivantes[1] :

- Le scénario 450 *base* repose sur une règle de « contraction et convergence » : l'allocation des droits d'émissions entre les régions vise une convergence progressive des niveaux réels d'émissions (en 2010) vers des quotas d'émission par habitant égaux dans tous les pays en 2050 ; on passe en fait de la règle d'attribution sur la base des droits acquis à une règle d'attribution par habitant. D'autres critères ou échéances de convergence sont aussi envisageables.
- Dans le scénario des *droits acquis*[2], chaque pays reçoit chaque année la même part de la quantité totale de droits, sur la base des émissions effectives (en 2010).
- Dans le scénario des *émissions par habitant*, chaque pays se voit attribuer une part de la quantité totale de droits allouée, qui est fonction des niveaux démographiques projetés, de sorte que les quotas d'émission par habitant sont les mêmes d'un pays à l'autre.

Encadré 3.9. **Et si… la charge de l'atténuation était répartie autrement ? Importance des règles d'attribution** *(suite)*

- Dans le scénario de la *taxe carbone mondiale*, une taxe sur le carbone s'applique dans le monde entier ; elle équivaut à un système d'allocation de droits dans lequel les quotas sont attribués de façon que les coûts marginaux soient égaux dans toutes les régions et qu'il n'y ait donc pas d'échange de droits.

Comme le PIB est un mauvais indicateur des effets des politiques sur le bien-être lorsque les volumes de permis d'émission échangés sont importants, il faut comparer ces systèmes d'attribution en s'appuyant sur une variation équivalente du revenu réel[3].

À l'échelle mondiale, les systèmes d'attribution n'influent pas beaucoup sur les niveaux de revenu dans la mesure où tous restreignent les émissions globales à des niveaux identiques (graphique 3.19) et permettent l'échange d'émissions. Il existe en revanche entre les régions des différences très prononcées, qui reflètent dans une large mesure les différences d'attribution de droits d'émission. Dans le scénario des *émissions par habitant*, des régions pauvres et très peuplées comme l'Inde et les pays en développement (groupe du « reste du monde » ou RdM) deviendraient de gros exportateurs de permis d'émission et les échanges de droits y réduiraient le coût de l'atténuation. Les pays de l'OCDE subissent en général les pertes les plus faibles dans le scénario des *droits acquis*. La Russie et la Chine seraient aussi mieux loties dans un tel système (compte tenu de leurs fortes intensités d'émissions actuelles), encore que les pertes de revenu dans ces régions du monde seraient supérieures aux niveaux mondiaux quel que soit le système.

1. Pour plus de détails concernant les parts des régions dans le système de répartition des quotas, voir l'annexe 3.A.
2. Dans le scénario des *droits acquis*, les quotas futurs sont calculés sur la base des émissions antérieures d'une entreprise, d'un secteur ou d'un pays.
3. La variation équivalente du revenu réel est définie comme l'évolution du revenu réel (en pourcentage) nécessaire pour assurer le même niveau d'utilité au consommateur que celui du *scénario de référence*. L'utilisation de variations du PIB réel est problématique dans la mesure où les échanges de permis ne sont pas évalués (voir OCDE, 2009b, pour plus de détails). Il importe aussi de remarquer que des transferts de permis d'un pays à un autre modifieraient les structures des échanges internationaux et exerceraient une pression sur les taux de change, c'est-à-dire que les termes de l'échange au niveau international en seraient perturbés. Pour cette raison, il est possible que le revenu réel des ménages soit plus affecté par l'attribution des permis que les niveaux de PIB (OCDE, 2009b).

ce sont les mesures d'efficacité énergétique qui constituent la principale option d'atténuation[41]. Selon les projections, l'intensité énergétique, définie comme le rapport entre la consommation d'énergie primaire et le PIB, diminue de 3.2 % par an dans les pays de l'OCDE, taux proche de la moyenne mondiale, et atteint respectivement 3.9 % et 4.5 % par an dans les BRIICS et le reste du monde. Le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique est plus important dans ces régions car leur intensité en carbone est en moyenne plus élevée que celle des pays de l'OCDE (AIE, 2009b)[42].

Compte tenu de la répartition des droits d'émission par « contraction et convergence » dans le scénario *450 base*, c'est la zone de l'OCDE qui achète le plus de permis, de sorte qu'une partie des réductions d'émissions qui lui sont attribuées est effectuée ailleurs. Les pays en développement du groupe RdM sont les principaux fournisseurs de permis. Les coûts correspondants pour les économies varient plus fortement d'une région à l'autre. Les pertes de PIB relativement élevées dans les BRIICS sont en grande partie concentrées : *i*) en Russie, pays pénalisé par la réduction de la demande d'énergies fossiles ; et *ii*) en Chine où les émissions augmentent beaucoup plus rapidement que la population ; il aurait donc fallu que la Chine achète ces dernières décennies des quantités importantes de permis d'émission sur le marché international.

L'utilisation d'un système approprié de redistribution des recettes dégagées grâce aux politiques nationales d'atténuation fondées sur le marché pourrait réduire les coûts économiques de l'atténuation. Par exemple, on pourrait se servir de la taxe carbone ou des recettes tirées des permis pour faire baisser la fiscalité sur le travail, ce qui permettrait de stimuler l'emploi et de diminuer le coût de l'atténuation à court terme (voir par exemple Château *et al*., 2011). À long terme, lorsque les marchés du travail seront plus souples, les possibilités de « double dividende » se réduiront néanmoins.

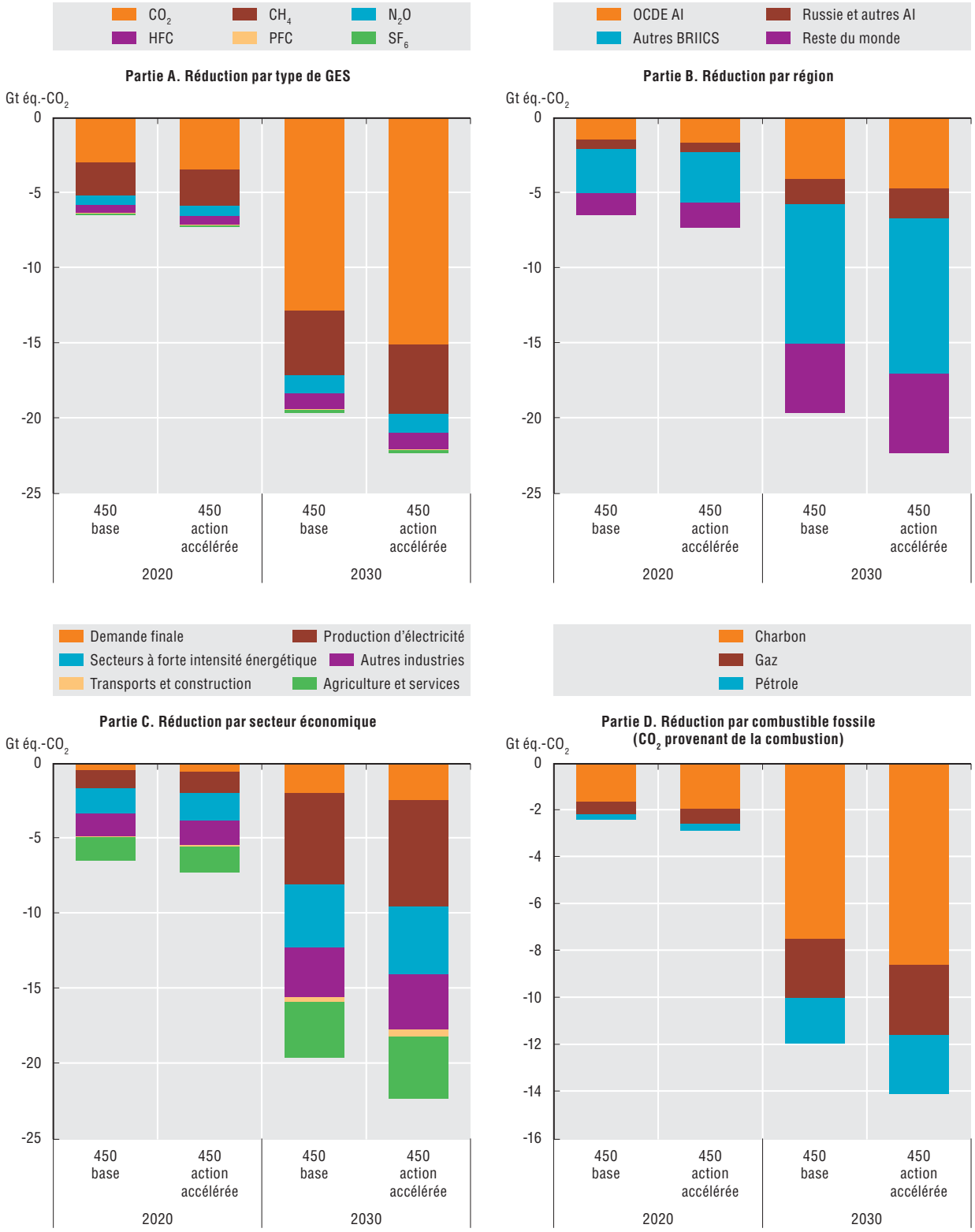
Conséquences de la mise en œuvre du scénario 450 action accélérée

Les scénarios *450 action accélérée* et *450 base* réduisent tous les deux les émissions prévues dans le *scénario de référence* de plus de 75 % à l'horizon 2050. La principale différence entre les deux scénarios est le calendrier des efforts mondiaux d'atténuation dans les deux décennies à venir. Elle se traduit par des différences concernant les gaz qui font l'objet des plus fortes réductions (ou les combustibles dans le cas des émissions de CO_2 résultant de la production énergétique), et les choix de réduction par région et par secteur, comme le montrent les quatre parties du graphique 3.20. De toute évidence, les efforts d'atténuation plus intenses dans le scénario *450 action accélérée* entraînent des risques moins élevés pour l'environnement mais des coûts plus élevés que le scénario *450 base*. Les prix du carbone seraient de 50 % plus élevés environ en 2030 dans le scénario *450 action accélérée* que dans le scénario *450 base*.

Globalement, les deux scénarios mènent à des modèles de réduction des émissions très semblables entre les régions, du fait de la règle commune d'allocation des permis. Les pays du groupe BRIICS représentent environ la moitié de l'ensemble des efforts d'atténuation, l'autre moitié étant répartie également entre les pays de l'OCDE et le reste du monde. Toutefois, l'analyse des informations de chaque pays révèle de plus amples différences selon les scénarios : la Chine et le Moyen-Orient qui représentent respectivement environ un tiers et 7 % de l'ensemble des efforts d'atténuation dans le scénario « *450 action accélérée* » sont plus sensibles au niveau d'émissions ciblé en 2020. Dans d'autres pays comme l'Inde, les efforts d'atténuation dépendent moins de l'architecture du scénario car les potentiels d'atténuation dans ces pays sont moins sensibles au niveau du prix du carbone autour des années 2020 et 2030.

Dans ces deux simulations, les options d'atténuation au moindre coût sont mises en œuvre dans les premières phases de l'action, indépendamment du prix du carbone. Le niveau d'ambition détermine ensuite la panoplie optimale des mesures de réduction. Les GES autres que le CO_2 (méthane, hémioxyde d'azote et gaz fluorés tels que HFC, PFC et hexafluorure de soufre – SF_6) présentent des potentiels de réduction intéressants pour un coût modéré. Ces potentiels pourraient être exploités, même si le prix du carbone est faible. Par exemple, les activités industrielles faciles à adapter et la modification des pratiques agricoles devraient permettre des réductions importantes et efficaces des volumes de méthane (par exemple, dans l'extraction de charbon, la transformation et le transport du pétrole et du gaz, le recyclage des déchets et la capture du méthane issu des décharges). La réduction des émissions de méthane représente à elle seule plus de 60 % de la réduction totale des gaz autres que le CO_2 d'ici à 2020. La réduction des émissions d'hémioxyde d'azote découlant des changements opérés dans les modes de culture du riz, la production d'acide ou la gestion des nutriments couvre 20 % de plus.

Graphique 3.20. **Réduction des émissions de GES dans les scénarios 450 *action accélérée* et 450 *base* par rapport au *scénario de référence*, 2020 et 2030**



Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594085

Le scénario d'action accélérée exigerait une « décarbonisation » plus rapide de la production d'électricité alors qu'une action plus progressive face au changement climatique mobiliserait relativement plus d'effort de la part des secteurs à forte intensité énergétique de l'industrie, des services et de l'agriculture. Dans les deux scénarios, le pétrole est le combustible fossile le plus touché dans la décennie à venir. L'utilisation du charbon est particulièrement découragée pour la production d'énergie et même des prix modérés du carbone sont suffisants pour entraîner des améliorations de rendement dans la production d'électricité au moyen de charbon et favoriser un basculement vers des centrales au gaz, plus sobres en carbone, particulièrement en Chine et en Inde. Le gaz naturel est affecté de manière identique dans les deux scénarios et représente environ 20 % de la réduction totale en 2020 et 2030. Dans les deux scénarios, le gaz joue le rôle de combustible de transition jusqu'à ce que les technologies bas carbone deviennent largement disponibles. L'énergie nucléaire devrait fournir près des deux tiers de l'électricité bas carbone en 2020 et seulement la moitié en 2030 dans les deux cas. La part de l'hydroélectricité tend à diminuer à mesure que les énergies éolienne, solaire et les autres énergies renouvelables non hydrauliques prennent le relais. Toutefois, l'écart des prix du carbone entre les deux scénarios n'est pas suffisamment significatif pour entraîner des modifications notables de la part relative des différentes technologies renouvelables d'ici 2030. Enfin, la production d'électricité à partir de combustibles fossiles avec CSC joue un rôle majeur à un stade ultérieur de la période de projection (voir l'encadré 3.10 sur les conséquences des choix technologiques).

Conséquences de la mise en œuvre du scénario 450 action tardive

Comme indiqué plus haut, on suppose dans le scénario *450 action tardive* que les efforts d'atténuation accomplis jusqu'en 2020 viseront la fourchette haute des engagements pris dans le cadre des Accords de Copenhague et de Cancún (tableau 3.6). Dans le cadre de l'Accord de Copenhague de 2009, un grand nombre de pays ont proposé des objectifs de réduction ou des plans nationaux d'atténuation, ultérieurement intégrés par la CCNUCC dans les Accords de Cancún de 2010. Les pays développés se sont pratiquement tous engagés à atteindre des objectifs chiffrés d'émissions à l'échelle nationale pour 2020, et 44 pays en développement se sont engagés à prendre des mesures d'atténuation[43]. Le tableau 3.6 fait le point des objectifs quantitatifs et des mesures correspondantes, et indique la réduction des émissions de GES découlant de ces engagements par rapport aux niveaux d'émission des simulations en 1990 (pour les parties visées à l'annexe I) et en 2020 dans le *scénario de référence* (pour les pays non inscrits à l'annexe I)[44]. De nombreux pays visés à l'annexe I n'ont pas précisé comment ils utilisaient les compensations ; ces informations ne sont donc fournies que pour quelques régions, et l'hypothèse par défaut dans tous les autres cas est que les compensations représentent un pourcentage maximum de 20 % des objectifs de réduction. Les parties visées à l'annexe I pourraient utiliser des crédits au titre de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie (UTCATF) pour remplir leurs engagements ; la dernière colonne indique dans quelle mesure cette possibilité est prise en compte dans la simulation (voir l'annexe 3.A pour plus de précisions).

Jusqu'en 2020, les réductions d'émission sont plus faibles dans le scénario *450 action tardive* que dans le scénario *450 base*, mais les pertes de revenu réel sont plus importantes pour la plupart des régions dans le scénario *450 action tardive*, du fait de la fragmentation du marché du carbone (graphique 3.22). Les prix du carbone varient d'une région à l'autre dans le scénario *450 action tardive*, de 0 dans les régions sans engagement contraignant

Encadré 3.10. **Conséquences des choix technologiques**

Pour un objectif de réduction donné, il existe de nombreuses trajectoires possibles. Les scénarios étudiés dans le cadre des *Perspectives* modélisent différentes solutions technologiques de réduction des émissions. Dans le *scénario de référence*, le secteur de la production d'électricité représente globalement plus de 40 % des émissions de CO_2 en 2050 et joue donc un rôle essentiel dans la décarbonisation de l'économie. Pour étudier le rôle des technologies énergétiques dans le scénario 450 *action accélérée*, on a réalisé trois simulations différentes à l'aide du modèle ENV-Linkages, et envisagé plusieurs hypothèses (voir l'annexe 3.A pour plus de précisions). Ces scénarios visent tous la même trajectoire d'émission à 450 ppm, avec le même calendrier de réduction des émissions, mais s'appuient sur des hypothèses différentes pour ce qui concerne les technologies :

i) *Faible efficacité énergétique et énergies renouvelables* : on suppose que le renforcement de l'efficacité énergétique est moins marqué que dans les hypothèses par défaut du scénario 450 *action accélérée*, du fait d'une amélioration moins sensible des moyens de production et d'un accroissement plus lent de la production d'énergie renouvelable.

ii) *Sortie progressive du nucléaire* : on suppose que les centrales nucléaires actuellement en construction et planifiées jusqu'en 2020 seront effectivement construites et connectées au réseau. Après 2020, aucune nouvelle centrale nucléaire ne sera construite, de sorte que la puissance mondiale totale en 2050 sera réduite du fait de la fermeture des installations existantes telle que prévue aujourd'hui.

iii) *Pas de CSC* : on suppose que le recours aux technologies de CSC ne progressera pas par rapport au *scénario de référence*.

À court terme – d'ici 2020 – les changements opérés dans la panoplie des technologies d'atténuation n'entraînent que des modifications limitées des parts relatives des différentes sources d'énergie car la pénalité carbone est trop faible pour agir sur l'inertie du système énergétique. Dans toutes les simulations, la majeure partie de la réduction des émissions à cette échéance est ainsi atteinte par une réduction des émissions de méthane, d'hémioxyde d'azote et de gaz fluorés, bien que le prix du carbone entraîne aussi une certaine réduction de la consommation d'énergie.

À longue échéance – d'ici 2050 – le rôle de ces technologies énergétiques est cependant plus significatif, puisque les technologies bas carbone auront été adoptées dans toutes les régions du monde (graphique 3.21). La partie A illustre, pour chaque scénario, les impacts sur le PIB et sur les prix du carbone, et la partie B montre, pour chacune des trois macro-régions, les parts relatives des différentes sources d'énergie dans la production d'électricité et le niveau global de production. Il ressort clairement de la partie A qu'une flexibilité suffisante du système énergétique permettra de protéger les régions contre des hausses importantes, soudaines et inattendues des coûts, ou une moindre disponibilité d'une technologie particulière par rapport aux prévisions initiales*.

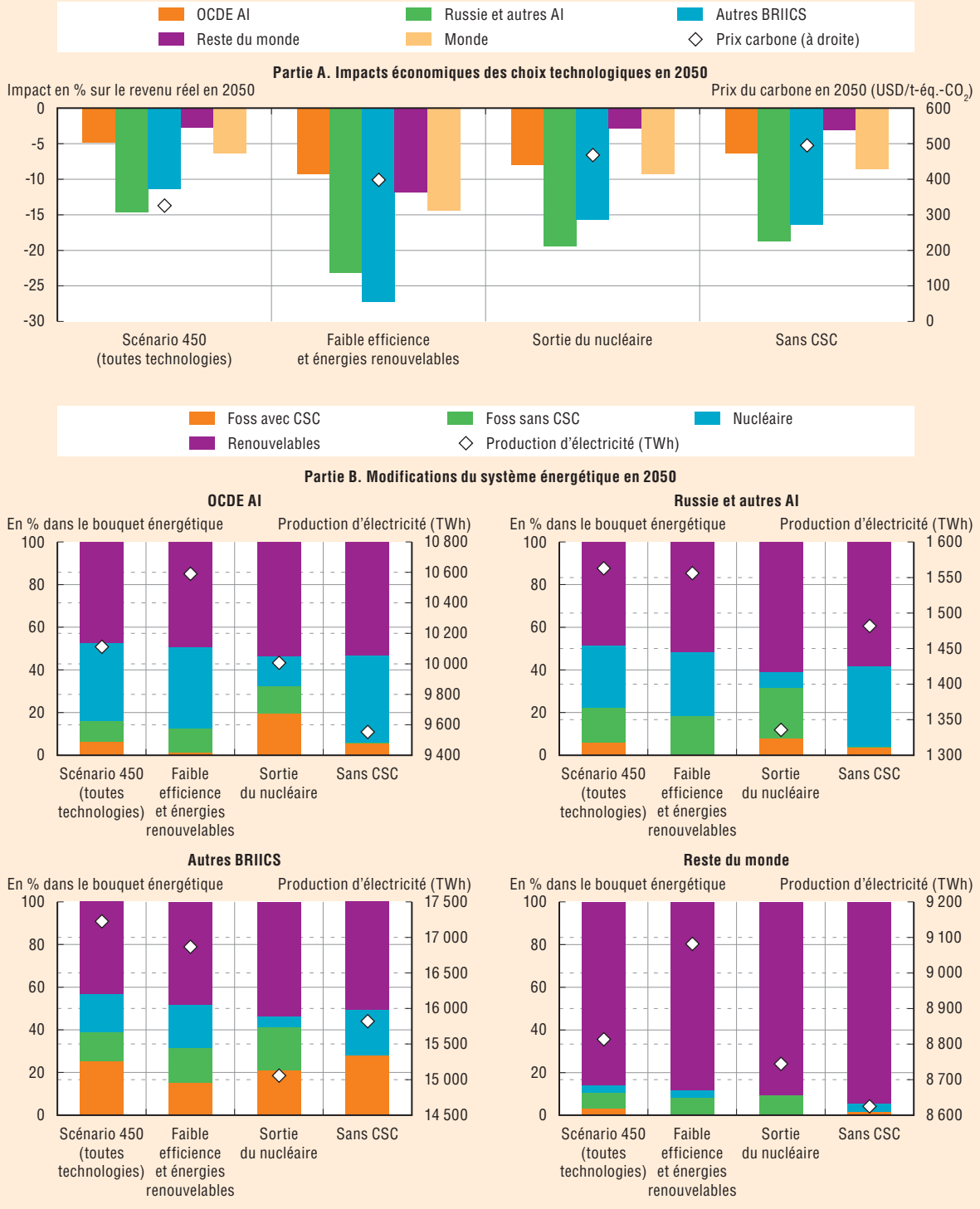
Toutes les technologies étant disponibles en 2050, on suppose que l'électricité d'origine renouvelable couvrira la moitié environ des besoins des pays de l'OCDE et des BRIICS, qui feront également appel aux centrales nucléaires à forte intensité capitalistique et aux centrales à combustibles fossiles avec CSC. Les résultats révèlent de fortes complémentarités entre le nucléaire et les combustibles fossiles (avec ou sans CSC) dans la plupart des régions. L'arrêt progressif des centrales nucléaires dans les BRIICS, où la majeure partie des capacités nouvelles sont censées être construites dans les décennies à venir, provoque une réduction significative de la production d'électricité. Les centrales électriques avec CSC deviennent compétitives vers 2030 et le sont de plus en plus à l'horizon 2050 dans les pays de l'OCDE comme dans les BRIICS. En l'absence de centrales avec CSC en 2050, l'adoption de technologies plus coûteuses provoque une hausse des prix de l'électricité et modifie les modes de consommation. Les centrales à combustibles fossiles sans CSC ne représenteront alors plus que 10 % environ de l'offre énergétique totale mondiale, du fait du prix élevé du carbone, à moins que le nucléaire ne soit abandonné, auquel cas une telle baisse ne sera pas possible.

Le reste du monde devrait suivre une stratégie d'atténuation différente, reposant principalement sur le développement des sources d'énergie renouvelables. La région est donc très sensible aux hypothèses relatives à l'efficacité énergétique et à la productivité des technologies des énergies renouvelables, mais moins touchée par l'exclusion du nucléaire et de la CSC. Compte tenu de la stratégie envisagée, se détourner des sources d'énergie renouvelables est plus difficile et plus coûteux. Par contrecoup, les pertes de revenu correspondantes dans le reste du monde font plus que doubler dans le scénario *faible efficacité et énergies renouvelables* par rapport au scénario 450 *action accélérée*.

* L'accident de la centrale nucléaire de Fukushima en 2011 et la remise en cause de l'utilisation de l'énergie nucléaire qui a suivi dans d'autres pays ont rappelé avec brutalité qu'il ne fallait pas écarter la possibilité de perturbations de grande envergure du système énergétique.

Encadré 3.10. **Conséquences des choix technologiques** *(suite)*

Graphique 3.21. **Choix technologiques dans le scénario 450 *action accélérée***



Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594104

Tableau 3.6. **Interprétation des objectifs et mesures annoncés pour 2020 au titre des engagements pris dans le cadre des Accords de Copenhague/Cancún, en termes de variation des émissions par rapport à 1990 dans le scénario *450 action tardive***

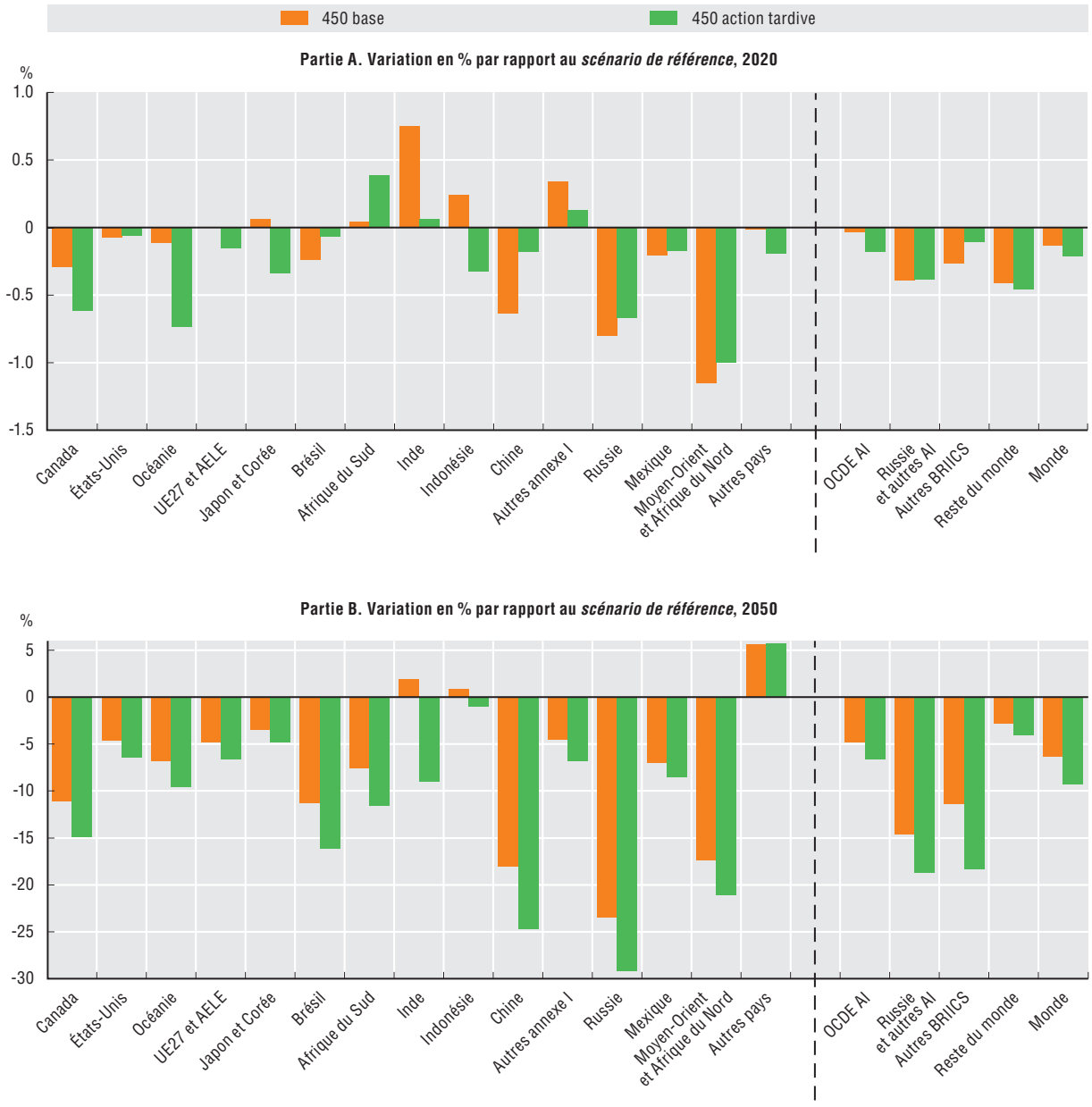
Région	Objectifs de réductions d'émissions et mesures déclarés par les pays	Émissions dans le scénario *450 action tardive*
Canada	–17 % par rapport à 2005 ; aucun crédit provenant des compensations internationales n'est envisagé.	+2.5 % par rapport à 1990 (5 Mt éq.-CO_2 de crédits UTCATF).
Japon et Corée	Japon –25 % par rapport à 1990 ; Corée –30 % par rapport au *statu quo*.	–16 % par rapport à 1990 (35 Mt éq.-CO_2 de crédits UTCATF).
Océanie	Australie –5 % à –25 % par rapport à 2000 ; Nouvelle-Zélande –10 % à –20 % par rapport à 1990.	–12 % par rapport à 1990 (0 Mt éq.-CO_2 de crédits UTCATF).
Russie	–15 % à –25 % par rapport à 1990.	–25 % par rapport à 1990 (0 Mt éq.-CO_2 de crédits UTCATF).
États-Unis	–17 % par rapport à 2005.	–3.5 % par rapport à 1990 (150 Mt éq.-CO_2 de crédits UTCATF).
UE27 et AELE	UE27, Liechtenstein et Suisse –20 % à –30 % par rapport à 1990 ; Norvège –30 % à –40 % par rapport à 1990 ; Islande et Monaco –30 % par rapport à 1990 ; max. 4 points de pourcentage de crédits provenant des compensations internationales ; aucun crédit UTCATF pour les engagements les moins ambitieux.	–30 % par rapport à 1990 (195 Mt éq.-CO_2 de crédits UTCATF).
Autres pays d'Europe	Ukraine –20 % par rapport à 1990 ; Bélarus –5 % à –10 % par rapport à 1990 ; Croatie –5 % par rapport à 1990 ; les émissions des autres pays du groupe sans engagement (y compris la Turquie) sont supposées demeurer au niveau du *statu quo*.	–19.5 % par rapport à 1990 (25 Mt éq.-CO_2 de crédits UTCATF).
Brésil	–36 % à –39 % par rapport au *statu quo*.	–39 % par rapport au *statu quo* (y compris 775 Mt éq.-CO_2 de REDD).
Chine	Intensité en carbone –40 % à –45 % par rapport à 2005 ; part des combustibles non fossiles dans la consommation d'énergie primaire à 15 % ; couverture forestière +40 millions d'ha et volume +1.3 milliard de m^3.	–4 % par rapport au *statu quo*.
Indonésie	–26 % par rapport au *statu quo*.	–26 % par rapport au *statu quo* (y compris 200 Mt éq.-CO_2 de REDD).
Inde	Intensité de carbone –20 % à –25 % par rapport à 2005.	–2 % par rapport au *statu quo*.
Moyen-Orient et Afrique du Nord	Israël –20 % par rapport au *statu quo* ; aucun engagement de la part des autres pays du groupe.	Aucune restriction concernant les émissions.
Mexique	–30 % par rapport au *statu quo*.	–30 % par rapport au *statu quo* (y compris 115 Mt éq.-CO_2 de REDD).
Afrique du Sud	–34 % par rapport au *statu quo*.	–25 % par rapport au *statu quo*[1].
Reste du monde	Des engagements ont été pris par certains pays (notamment le Costa Rica, les Maldives, les Îles Marshall) mais pas par les principaux émetteurs du groupe.	Aucune restriction concernant les émissions.

Note : Le tableau présente une interprétation des principaux aspects quantitatifs des engagements servant à établir un scénario de modélisation simplifié. Dans de nombreux cas, les rapports des pays à la CCNUCC sont plus détaillés et nuancés, et font clairement état des conditions. Pour plus d'informations sur les engagements, voir FCCC/SB/2011/INF.1/Rev.1 et FCCC/AWGLA/2011/INF.1 sur le site *www.unfccc.int*.

1. La projection nationale de *statu quo* utilisée par l'Afrique du Sud présente des émissions sensiblement plus élevées que dans la projection du *scénario de référence* de l'OCDE ; l'objectif de ce pays a par conséquent été ajusté pour tenir compte de cette différence.

(notamment le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord et les pays du reste du monde) à plus de 50 USD/t éq.-CO2 pour la région Japon-Corée. Ces résultats dépendent de plusieurs hypothèses cruciales mais incertaines concernant l'interprétation des engagements (encadré 3.11).

Graphique 3.22. **Impacts régionaux sur le revenu réel dans les scénarios *450 base* et *450 action tardive***



Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594123

Comme le scénario 450 *action tardive* suppose que les échanges de droits d'émission ne sont pas autorisés avant 2020, de nombreuses options d'atténuation à bas coût demeurent inexploitées jusqu'en 2020, ce qui a pour effet d'accroître les coûts mondiaux. Le graphique 3.22 montre clairement que les politiques intérieures ne sont pas le déterminant unique, ni même parfois le principal, des coûts macroéconomiques des politiques. Les projections indiquent que les exportateurs de combustibles fossiles, comme la Russie ou le Moyen-Orient, subissent des pertes de revenu plus élevées, bien que les coûts des efforts d'atténuation nationaux soient faibles ou nuls. La partie A du graphique montre également

Encadré 3.11. **Des écarts à surveiller : les engagements de Copenhague sont-ils suffisants ?**

Les engagements de Copenhague pris en compte dans le scénario 450 *action tardive* ne suffisent pas pour que l'objectif de 450 ppm soit atteint de façon efficiente par rapport aux coûts. C'est ce que confirme une autre analyse qui montre que ces engagements sont insuffisants au regard de la fourchette de 41-48 Gt éq.-CO_2 d'émissions mondiales en 2020 donnée par le PNUE (2010) (voir l'encadré 3.8). Il s'agit du niveau maximal d'émissions permettant de donner au monde une chance moyenne à probable d'atteindre l'objectif des 2 °C au moindre coût (Dellink *et al.*, 2010 ; PNUE, 2010). Le tableau 3.7 le confirme : les émissions mondiales en 2020 s'élèveraient à 51.6 Gt éq.-CO_2 pour les engagements les plus ambitieux et à plus de 52 Gt éq.-CO_2 pour les moins ambitieux (en intégrant cependant les engagements conditionnels)[1]. L'écart entre les réductions d'émissions dans le scénario 450 *action tardive* et la trajectoire compatible avec la limitation à 2 °C de la hausse des températures est donc compris entre 3 et 11 Gt éq.-CO_2 (alors que le bilan de l'ensemble des efforts d'atténuation dans le scénario 450 *action tardive* en 2020 est inférieur à 4 Gt éq.-CO_2)[2]. Comme l'indique le PNUE (2010) et comme le confirme notre analyse (voir la section suivante), il est pratiquement impossible de savoir sur quelle hausse des températures déboucheront ces engagements à l'horizon 2020, car l'évolution des températures dépendra largement des hypothèses relatives à la trajectoire après 2020.

Tableau 3.7. **Influence de différents éléments des engagements des Accords de Cancún et Copenhague sur les émissions et le revenu réel : scénario 450 *action tardive* (écart par rapport au *scénario de référence*)**

Sur la base des variations correspondant aux principales hypothèses (écart en % par rapport au *scénario de référence*)

Scénario	Émissions mondiales de GES, dont UTCATF (en Gt éq.-CO_2)	Impact de la variation équivalente du revenu			
		Pays OCDE visés à l'annexe I	Russie et autres pays annexe I	Autres BRIICS	Reste du monde
… niveau des engagements *(ambitieux/non ambitieux)*	51.6/52.2	–0.2/–0.1	–0.4/–0.3	–0.1/–0.1	–0.5/–0.4
… utilisation de surplus d'UQA *(0 %/100 %)*	51.6/51.6	–0.2/–0.2	–0.4/–0.4	–0.1/–0.1	–0.5/–0.5
… comptabilisation de l'utilisation des terres *(net-net/aucun crédit UT)*	51.6/50.8	–0.2/–0.3	–0.4/–0.6	–0.1/–0.2	–0.5/–0.6
… financement international *(100 %/0 %)*	51.6/51.6	–0.2/–0.2	–0.4/–0.4	–0.1/–0.1	–0.4/–0.5
… utilisation de compensations *(50 %/0 %)*	51.6/51.6	–0.1/–0.3	–0.3/–0.5	–0.1/0	–0.3/–0.5
… liaison des marchés du carbone *(aucune/annexe I)*	51.6/51.8	–0.2/–0.1	–0.4/0	–0.1/0	–0.4/–0.2
… liaison associée à l'utilisation de surplus d'UQA	53.6	0	–0.2	0	–0.1

Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932595149

Si l'on combine la fourchette basse des engagements et les règles de comptabilisation des activités UTCATF[3] qui aboutissent à des crédits ne résultant pas d'un changement des activités de gestion ni de l'utilisation des surplus d'unités de quantité attribuée (UQA)[4] de la période d'engagement en cours du protocole de Kyoto (2008-12), l'écart risque de se creuser davantage. D'autres incertitudes aux effets moins marqués sur l'efficacité environnementale influent néanmoins sur les coûts. Elles portent par exemple sur les restrictions concernant l'utilisation des compensations, le financement international des mesures d'atténuation dans les pays en développement et la liaison des marchés du carbone dans les pays de l'annexe I. Le tableau 3.7 montre les effets de ces incertitudes sur les émissions mondiales (en Gt éq.-CO_2) et sur les coûts régionaux (sur la base de la variation du revenu réel par rapport au *scénario de référence*).

Encadré 3.11. **Des écarts à surveiller : les engagements de Copenhague sont-ils suffisants ?** *(suite)*

Les deux niveaux d'engagement, ambitieux et non ambitieux, affichent des coûts globaux limités, même s'ils peuvent être un peu plus élevés pour certaines régions et certains secteurs (voir le graphique 3.22). Les coûts augmentent dans les pays de l'annexe I membres de l'OCDE, en particulier lorsque ceux-ci ne font pas appel aux crédits et/ou aux compensations liés à l'utilisation des terres. Dans ces pays, des engagements moins ambitieux, la liaison des marchés du carbone ou l'autorisation des surplus d'UQA peuvent faire baisser les coûts ; cependant, ces réductions sont obtenues dans tous les cas en contrepartie d'émissions globales plus élevées. Les financements internationaux supérieurs au niveau de la participation au mécanisme de compensation peuvent réduire les coûts des pays en développement. Cependant, l'effet est limité puisque les simulations reposent sur l'hypothèse que seuls le Brésil, le Mexique et l'Afrique du Sud peuvent bénéficier de tels financements (voir l'annexe 3.A et noter que les autres pays non inscrits à l'annexe I peuvent accueillir des projets de compensations). La Russie et le reste de la région Europe (y compris l'Ukraine) bénéficient principalement de la liaison des marchés du carbone, car ces derniers disposent de grandes quantités de permis à vendre. Enfin, il faut remarquer qu'on peut limiter les coûts pour le « reste du monde » en autorisant davantage de compensations ou en liant les marchés du carbone dans les pays de l'annexe I. Les deux options mènent à une harmonisation des prix dans les pays de l'annexe I et limitent les retombées négatives grâce à une contraction globale des échanges internationaux.

Le recours à des instruments de marché, comme les taxes sur le carbone ou les dispositifs de plafonnement et d'échange associés à une mise aux enchères des droits d'émission, peut entraîner des recettes budgétaires. Si les engagements et mesures pris au titre des Accords de Copenhague et de Cancún par les pays de l'annexe I, comme indiqué ci-dessus, étaient mis en œuvre sous la forme d'une taxe sur le carbone ou d'un dispositif de plafonnement et d'échange associé à une mise aux enchères intégrale des droits d'émission, les recettes budgétaires s'élèveraient en 2020 à plus de 250 milliards USD, c'est-à-dire à plus de 0.6 % de leur PIB[5]. Ces recettes pourraient bien sûr être affectées à de nombreuses utilisations concurrentes, mais une simple fraction de leur montant représenterait une contribution significative au financement de la lutte contre le changement climatique visé dans les Accords de Cancún[6].

1. Certains pays ont pris à la fois des engagements inconditionnels (moins ambitieux) et conditionnels (plus ambitieux). Ces derniers seraient honorés si les conditions attachées aux engagements étaient remplies, c'est-à-dire si des financements adéquats étaient fournis à l'appui de l'atténuation du changement climatique ou si des mesures ambitieuses étaient prises dans d'autres pays.
2. Ces chiffres diffèrent de ceux de Dellink *et al.* (2010) non pas parce que les engagements ont notablement changé, mais parce que l'analyse repose ici sur la méthodologie de den Elzen *et al.* (2011) et inclut les émissions liées à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie.
3. Les règles comptables concernant l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (UTCATF) peuvent affaiblir les objectifs d'atténuation des pays industrialisés, si des crédits sont attribués à des activités UTCATF qui auraient eu lieu de toute façon en l'absence d'intervention.
4. Une « unité de quantité attribuée » (UQA) est une « unité Kyoto » échangeable ou un crédit carbone et correspond à l'autorisation d'émettre une tonne de GES. Les UQA ne peuvent pas dépasser le niveau initial de la « quantité attribuée » aux parties à l'annexe I du protocole de Kyoto. Voir l'annexe 3.A pour plus de précisions.
5. Ces chiffres sont inférieurs à ceux de Dellink *et al.* (2010), non pas parce que les engagements ont notablement changé, mais principalement parce que l'utilisation de crédits UTCATF fait baisser le prix du carbone et que les coûts sont exprimés ici en dollars constants de 2010.
6. Dans les simulations présentées, les recettes sont redistribuées aux ménages de manière forfaitaire, et des destinations différentes influeraient sur ce transfert forfaitaire et indirectement sur l'économie.

comment le financement international des mesures d'atténuation (visant l'Afrique du Sud, le Brésil et le Mexique, voir l'annexe 3.A) peut contribuer à limiter les coûts des mesures nationales. Si l'on y ajoute la possibilité de vendre les crédits sur le marché des compensations, les autres pays du groupe BRIICS ne subissent que de très faibles pertes de revenu dans le scénario 450 *action tardive*.

À plus long terme (2050), il faut dans le scénario *450 action tardive* des efforts d'atténuation plus ambitieux pour faire baisser les niveaux de concentration à 450 ppm avant la fin du siècle. Comme ces efforts sont accomplis plus tardivement que dans le scénario *450 base*, il n'est pas surprenant que les pertes de revenu soient à nouveau plus importantes dans le scénario *450 action tardive* (graphique 3.22, partie B). Dans les deux scénarios *450 base* et *450 action tardive*, il s'est formé en 2050 un marché mondial du carbone dans lequel les permis sont attribués en fonction de la population ; les pertes de revenu les plus élevées résultent donc des coûts supplémentaires dus aux efforts d'atténuation inadaptés des décennies précédentes. On observe à la fois un effet direct, résultant de l'accroissement nécessaire des efforts d'atténuation en 2050 pour limiter les concentrations, et un effet indirect lié à l'absence de réforme structurelle dans le secteur énergétique dans les décennies précédentes.

Le tableau 3.8 montre les effets que pourraient avoir les mesures d'atténuation du scénario *450 action tardive* sur la compétitivité. Sans surprise, on constate que les producteurs d'énergie, y compris les centrales électriques, réduisent leur production et leurs exportations à la suite de la diminution de la demande due à la tarification du carbone. Toutefois, comme la production électrique fait l'objet d'échanges intercontinentaux restreints, le secteur énergétique est moins exposé à des problèmes de compétitivité que les industries grosses consommatrices d'énergie. Les pays de l'OCDE présentent une intensité d'émission relativement faible des industries énergivores, de sorte que, même s'ils doivent faire face à des augmentations de coût substantielles en raison de leur politique d'atténuation, ils peuvent gagner à long terme des parts de marché aux dépens de

Tableau 3.8. **Effets sur la compétitivité du scénario *450 action tardive*, 2020 et 2050 : variation en % par rapport au *scénario de référence***

	2020					2050				
	OCDE annexe I	Autres BRIICS	Russie et autres AI	Reste du monde	Monde	OCDE annexe I	Autres BRIICS	Russie et autres AI	Reste du monde	Monde
	%									
Partie I : indicateurs macroéconomiques										
Termes de l'échange (% variation par rapport au *scénario de référence*)	0.3	0.6	–0.6	–0.7	0.0	2.9	23.4	–4.4	–14.4	3.5
Part des IE dans le PIB	7.2	15.0	6.8	6.8	8.5	7.2	4.3	6.7	8.1	3.9
Partie II : volume de production dans certains secteurs (% variation par rapport au *scénario de référence*)										
Agriculture	–1.1	–0.2	0.3	0.2	–0.4	–14.8	–11.6	–16.2	–19.7	–15.4
Industries énergivores (IE)	–0.9	0.3	1.4	1.0	–0.2	5.2	–30.1	4.1	–12.0	–14.1
Producteurs d'énergie	–3.9	–1.0	0.1	–0.4	–2.0	–36.0	–44.5	–43.3	–45.2	–42.1
Services	0.0	–0.1	–0.2	–0.2	0.0	–2.3	–6.3	–6.7	–1.1	–3.2
Reste de l'économie	–0.1	–0.3	0.0	0.0	–0.1	–1.0	–17.9	–4.4	–8.4	–8.2
Partie III : volume des exportations dans certains secteurs (% variation par rapport au *scénario de référence*)										
Agriculture	–2.4	–2.3	1.3	1.0	–1.4	–27.2	–34.1	–19.0	–41.4	–29.7
Industries énergivores	–1.4	0.8	2.1	1.9	–0.4	9.7	–28.1	14.1	–11.3	–3.8
Producteurs d'énergie	–4.0	–4.1	–1.0	–1.3	–2.0	–43.6	–30.6	–55.0	–52.0	–49.1
Services	–0.1	–0.5	–0.6	0.0	–0.2	–5.2	12.2	2.8	–4.0	–0.3
Reste de l'économie	–0.2	–0.6	–0.3	0.1	–0.3	0.2	–17.0	0.8	–15.0	–7.8

Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932595168

concurrents moins performants dans les BRIICS et le reste du monde, et peuvent même accroître ainsi leurs niveaux de production par rapport au *scénario de référence*. Une analyse plus détaillée au niveau sous-sectoriel permettrait de définir plus précisément dans quelles branches les effets sont les plus marqués.

La fragmentation des marchés du carbone dans le scénario 450 *action tardive* entraîne également des fuites de carbone. Le tableau 3.6 montre que, comme tous les grands pays émetteurs se sont engagés à procéder à des réductions qui limitent réellement leurs niveaux d'émission, les taux de fuite seront assez faibles. En 2020, les fuites au niveau mondial sont estimées à environ 50 Mt éq.-CO2, soit 1 % de l'ensemble des mesures d'atténuation des pays qui ont pris des engagements. Les taux de fuites mentionnés dans la littérature pour la fourchette haute des engagements pris à Copenhague varient beaucoup, d'un taux nul ou très faible (McKibbin *et al.*, 2011, par exemple) jusqu'à 13 % (547 Mt éq.-CO_2) dans Peterson *et al.* (2011) et 16 % dans Bollen *et al.* (2011). Deux différences essentielles semblent influencer les évaluations des fuites : *i)* pour les pays ne figurant pas à l'annexe I, le niveau de prise en compte des objectifs contraignants (qui limitent la possibilité d'occurrence des fuites) ; et *ii)* la sensibilité de l'offre aux fluctuations du prix des combustibles fossiles. Si l'offre de combustibles est élastique par rapport au prix, la baisse des prix des combustibles entraîne une baisse de l'offre globale de combustibles et par conséquent moins de fuites dans cette filière (voir Burniaux et Oliveira-Martins, 2000).

Pour neutraliser les fuites et les impacts négatifs sur la compétitivité, les gouvernements ont envisagé l'exemption des entreprises ou activités exposées au risque, l'indemnisation financière, par exemple par l'attribution gratuite de permis, l'octroi de crédits-carbone étant des droits acquis afin de maintenir le niveau d'activité de production, ou des ajustements fiscaux aux frontières. Il est possible de recourir temporairement à certaines mesures ciblées pour faciliter la transition vers une économie à faible intensité de carbone, mais il faut vérifier avec soin leur efficience économique, les incitations positives ou négatives qu'elles créent par rapport à la réduction des émissions de GES et leurs impacts sur les pays en développement (OCDE, 2010d ; Agrawala *et al.*, 2010a). En outre, d'autres travaux ont montré que ces mesures réduisaient le taux d'innovation dans les entreprises (OCDE, 2010e), et les avantages de ces systèmes diminueront à mesure de l'accroissement du nombre de pays appliquant des mesures d'atténuation (OCDE, 2009b ; Burniaux *et al.*, 2010). Une coordination multilatérale des politiques pourrait en revanche se substituer efficacement aux mesures unilatérales. Des travaux accomplis dans le cadre de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance de la CEE-ONU montrent ainsi que les transferts de connaissances et de technologies sont plus nombreux entre les pays signataires (OCDE, 2011e).

Scénarios moins contraignants d'atténuation du changement climatique (550 ppm)

Dans les scénarios à 450 ppm, le niveau des émissions mondiales atteint un pic avant ou vers 2020, ce qui ne sera possible que si les émissions peuvent être réduites dans la quasi-totalité des régions du monde et si les mesures nécessaires sont prises dès aujourd'hui. À défaut, les émissions risquent en 2020 d'être trop élevées pour permettre la réalisation à coût maîtrisé de l'objectif de 2 °C/450 ppm, comme l'indique le scénario 450 *action tardive*. Pour que l'objectif de 450 ppm soit atteint, il faudra porter les taux de réduction des émissions à des niveaux sans précédent après 2020. Le seul moyen d'y parvenir consiste à transformer radicalement le système énergétique à forte intensité en carbone dans lequel le monde s'enferme inexorablement d'année en année (AIE, 2011b).

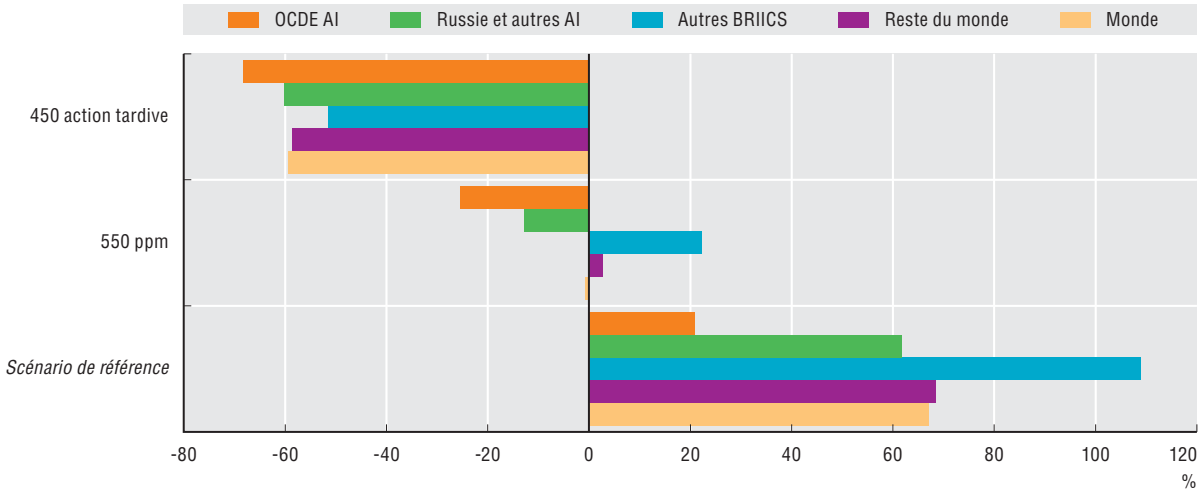
Notre capacité de procéder à une telle transformation reste très incertaine, de sorte qu'il faut aussi envisager des objectifs à long terme moins ambitieux. Jusqu'en 2020, le scénario 450 *action tardive* est très proche d'un scénario 550 *base*, supposant donc un effort d'atténuation réduit dans le reste du siècle (voir plus haut le graphique 3.17). Cependant, le scénario 550 *base* présente une probabilité beaucoup plus forte de hausse moyenne de la température supérieure à 2 °C. Ainsi, à moins que la transformation rapide nécessaire ne se produise après 2020, les engagements de Copenhague conduiront plus probablement à une hausse des températures de 2.5 °C à 3 °C que de 2 °C.

Le scénario 550 *base* suppose un arbitrage entre des coûts d'atténuation plus faibles à court terme et des coûts plus élevés à long terme, du fait d'impacts climatiques plus graves et de la nécessité de parvenir à des niveaux d'adaptation plus élevés que dans le scénario 450 *action tardive*[45]. Une fois épuisées les solutions faciles (options d'atténuation peu coûteuses), le coût marginal de réduction des émissions des mesures d'atténuation augmente considérablement[46]. Dans le scénario 550 *base*, les émissions sont ramenées en 2050 à leurs niveaux de 2010 (graphique 3.23). Il en résulte une baisse du revenu réel mondial de 1.3 %, comme le montre le graphique 3.24. Pour obtenir la baisse de 28 Gt éq.-CO_2 nécessaire dans le scénario 450 *action tardive*, il faudrait une diminution supplémentaire de 8 points de pourcentage du revenu réel, et les émissions mondiales seraient alors inférieures de 60 % à leurs niveaux de 2010[47].

Mesures nécessaires pour la mise en place d'un cadre mondial ambitieux de politique climatique

La première et la meilleure des solutions pour aborder les considérations de compétitivité présentées ci-dessus consisterait à se doter d'un cadre mondial, exhaustif et ambitieux en matière de politique climatique, qui instaurerait des conditions équitables en couvrant tous les secteurs et tous les GES (Agrawala *et al.*, 2010a). L'élargissement du champ des mesures d'atténuation permet également de réduire le problème connexe des fuites de carbone qui se produisent lorsque la politique d'atténuation dans un pays entraîne une augmentation des

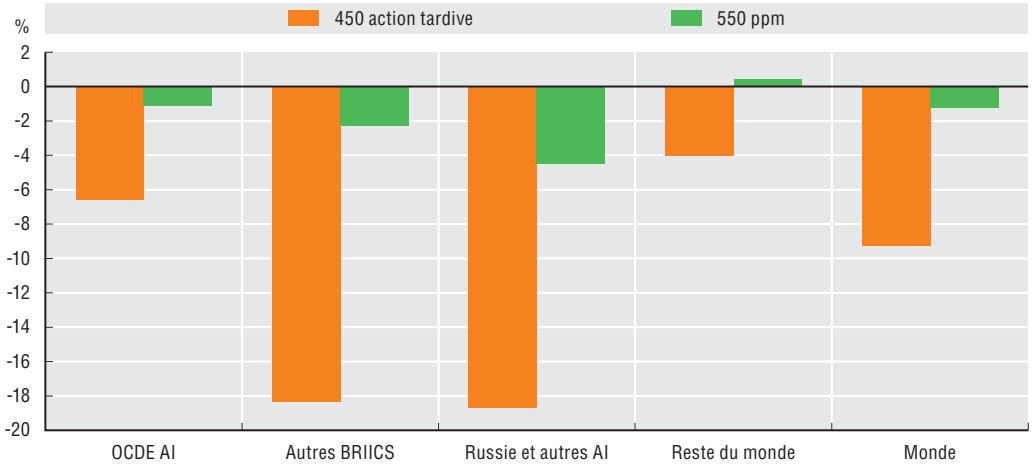
Graphique 3.23. **Évolution des émissions mondiales de GES en 2050 par rapport à 2010 : scénarios *450 action tardive* et *550 ppm***



Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594142

Graphique 3.24. **Évolution du revenu réel dans les scénarios *450 action tardive* et *550 base* par rapport au *scénario de référence*, 2050**



Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594161

émissions dans d'autres pays, compromettant ainsi l'efficacité environnementale globale de la politique. Les fuites peuvent résulter d'une réorientation de l'activité économique vers des pays non réglementés ou d'une consommation accrue d'énergies fossiles dans ces pays, en raison d'une baisse des prix internationaux des combustibles découlant de la baisse de la demande d'énergie dans les pays qui ont pris des mesures d'atténuation.

Tant que les pays opteront pour des approches aussi différentes des marchés du carbone, les considérations relatives aux fuites et à la compétitivité internationale continueront de faire obstacle à l'adoption de mesures ambitieuses de lutte contre le changement climatique dans de nombreux pays de l'OCDE (encadré 3.12). Dans l'évaluation des impacts potentiels sur la compétitivité, les gouvernements pourront se préoccuper particulièrement des fuites d'émissions et de la préservation de la production et de l'emploi, tandis que les industries grosses consommatrices d'énergie se préoccuperont probablement davantage de leurs profits et de leur part de marché. En fait, les effets des mesures relatives au changement climatique sur la compétitivité se limiteront à quelques secteurs représentant une faible part de l'activité économique totale, c'est-à-dire aux secteurs exposés au commerce extérieur et gros consommateurs d'énergie (chimie, métaux non ferreux, ouvrages en métal, sidérurgie, pâte et papier, et produits minéraux non métalliques en particulier).

L'hétérogénéité des mesures climatiques en place aujourd'hui dans le monde entraîne des coûts de mise en conformité plus élevés dans certains pays que dans d'autres et suscite parfois des préoccupations relatives à la compétitivité internationale des industries énergivores et/ou à forte teneur en carbone. Ces coûts ont à leur tour pour effet de retarder l'adoption de mesures ou de décourager les décisions plus ambitieuses. La solution la moins coûteuse consisterait à fixer un prix mondial du carbone – il faudrait pour cela assurer la liaison entre les différents systèmes de quotas d'émissions qui se créent localement. De façon générale, les pollueurs pourraient ainsi acheter des crédits à davantage de fournisseurs. L'accès à des options d'atténuation moins onéreuses diminue les coûts en réduisant les efforts nationaux des acheteurs de crédits ; il peut être intéressant pour les pollueurs ayant des options d'atténuation relativement peu coûteuses d'accroître les efforts de réduction nationaux et de vendre leurs crédits sur le marché international.

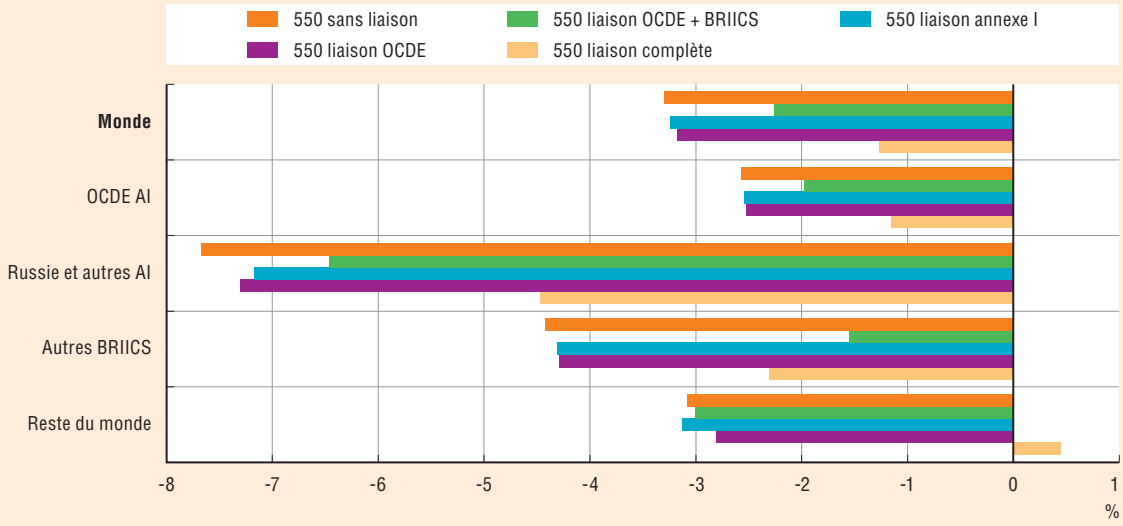
Encadré 3.12. **Et si… le marché du carbone ne prenait pas une envergure mondiale ?**

Sachant que l'objectif de 450 ppm exige les efforts conjugués de tous les pays, cet encadré analyse les effets de la fragmentation du marché dans le cadre du scénario 550 *base*. Une liaison des marchés du carbone qui ne concernerait que certaines régions entraînerait des problèmes d'efficacité, illustrés dans le graphique 3.25 pour divers scénarios. Les différentes situations modélisées sont les suivantes :

- 550 *sans liaison* : actions unilatérales seulement, aucune liaison.
- 550 *liaison OCDE* : liaison régionale au niveau de sous-groupes de pays de l'OCDE.
- 550 *liaison annexe I* : liaison entre les pays de l'annexe I uniquement.
- 550 *liaison OCDE-BRIICS* : liaison au niveau des pays de l'OCDE et des BRIICS uniquement.
- 550 *liaison complète* : correspond au scénario 550 *base*.

Graphique 3.25. **Impact sur les revenus de la fragmentation des systèmes d'échanges de quotas d'émission dans le scénario 550 par rapport au *scénario de référence*, 2050**

Variation en % du revenu réel



Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594180

Ces simulations permettent de conclure que la liaison entre les marchés peut contribuer à limiter les coûts des politiques d'atténuation des pays participants, mais la situation dépend essentiellement des pays participants. Ceux qui recourent essentiellement aux sources d'énergie renouvelables pour leur production d'électricité et qui, de ce fait, peuvent plus difficilement se « décarboniser », sont généralement ceux qui profitent le plus de la liaison entre les marchés. La liaison n'a que des effets mineurs sur les pays qui ne sont pas directement impliqués dans les systèmes liés, même s'ils bénéficient de ce marché du carbone plus efficace du fait de l'accroissement des échanges internationaux.

Selon les projections, les pays de l'OCDE seront les principaux acheteurs de quotas. L'atténuation dans les pays de l'OCDE représente environ un tiers de l'ensemble des efforts lorsque les échanges de quotas sont limités aux pays de l'annexe I, et n'a que des effets très limités sur les coûts macroéconomiques. Si le marché s'ouvre davantage et que le reste des BRIICS participe aux échanges, la Chine et l'Inde deviennent les principaux fournisseurs de droits (comme dans le cadre du MDP), réduisant la contribution de l'OCDE de 8 points de pourcentage des niveaux globaux d'atténuation. L'ouverture complète des échanges ramène la contribution des pays de l'OCDE à 22 % de l'effort mondial.

Encadré 3.12. **Et si… le marché du carbone ne prenait pas une envergure mondiale ?** *(suite)*

En 2050, l'atténuation dans les pays du reste du monde représenterait 25 % de la réduction totale des émissions dans le scénario 550 *base* (*liaison complète*), pourcentage qui serait ramené à 10 % environ si les marchés du carbone ne sont pas liés au niveau international. Permettre aux pays du reste du monde de vendre d'importants quotas d'émissions constituerait une solution intéressante et peu coûteuse, qui leur apporterait aussi des recettes substantielles. Un examen détaillé du potentiel et des risques relatifs à une liaison entre les systèmes d'échange de quotas d'émission figure dans OCDE (2009b).

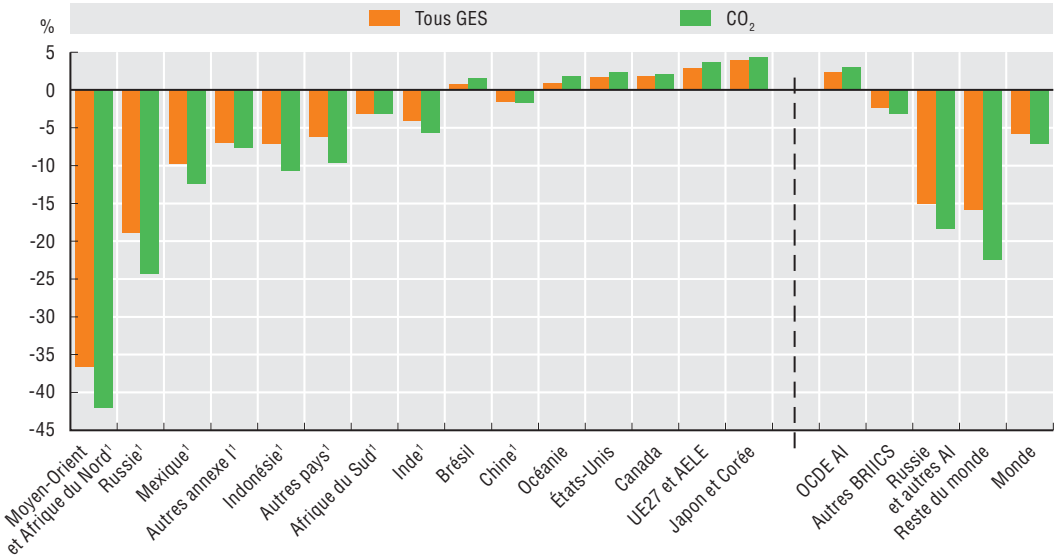
Réforme du soutien aux combustibles fossiles

La réforme des subventions préjudiciables à l'environnement, et plus particulièrement des subventions aux combustibles fossiles, est importante pour « fixer le juste prix » des émissions de GES et les réduire. Un inventaire effectué dans 24 pays de l'OCDE permet de constater que la production et l'utilisation de combustibles fossiles y ont bénéficié d'un soutien situé dans une fourchette de 45 à 75 milliards USD par an de 2005 à 2010 (OCDE, 2011f). Les subventions à la consommation de combustibles fossiles dans 37 économies émergentes et en développement ont représenté des montants estimés à 554 milliards USD en 2008, à 300 milliards USD en 2009 et à 409 milliards USD en 2010 (AIE/OCDE/OPEP/Banque mondiale, 2010 ; AIE, 2011b ; voir aussi l'annexe 3.A à la fin de ce chapitre)[48].

La suppression de ces subventions réduirait le coût mondial de la stabilisation des concentrations de GES, ce qui ferait faire des économies aux pouvoirs publics comme aux contribuables. Elle contribuerait à détourner l'économie des activités émettrices de CO_2, encouragerait l'efficacité énergétique, et stimulerait la mise au point et la diffusion de technologies sobres en carbone et de sources d'énergie renouvelables. Les simulations des *Perspectives de l'OCDE* réalisées à l'aide des données de l'AIE (estimations de 2008) indiquent que l'élimination progressive des subventions à la consommation de combustibles fossiles dans les pays en développement et émergents pourrait réduire les émissions mondiales de GES (exception faite des émissions liées aux changements d'affectation des terres) de 6 % d'ici 2050, par rapport à un scénario de politiques inchangées, et de plus de 20 % en Russie et dans les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord (graphique 3.26). Sachant que les subventions réduisent artificiellement le prix payé par le consommateur final, la suppression de cette distorsion influerait sur les comportements et réduirait la demande finale d'énergie. Elle pourrait accroître le revenu réel mondial de 0.3 % en 2050, et serait particulièrement bénéfique pour les BRIICS (+1.1 % pour la catégorie « Autres BRIICS »).

Ces réformes des subventions ont cependant sur les échanges certains effets qui compensent les gains d'efficience économique dans les principaux pays exportateurs de combustibles fossiles (Russie et Moyen-Orient par exemple). En effet, le fléchissement de la demande de combustibles fossiles dans les pays qui suppriment les subventions fait baisser les prix de l'énergie à l'échelle mondiale. En outre, cette baisse des prix internationaux pourrait se traduire dans certains pays de l'OCDE par une hausse des émissions par rapport au *scénario de référence*, à moins qu'ils ne limitent leurs émissions totales, de sorte que la réduction initiale de la demande et des émissions de GES serait en partie neutralisée. Malgré ce risque de fuite, les projections indiquent un effet net positif sur les émissions mondiales.

Graphique 3.26. **Impact sur les émissions de GES* de la suppression des subventions aux combustibles fossiles, 2050**



* Les émissions résultant des changements d'affectation des terres ne sont pas prises en compte.

1. Régions auxquelles s'applique une simulation de réforme des subventions aux combustibles fossiles.

Source : Modèle ENV-Linkages de l'OCDE, sur la *Base de données de l'AIE sur les subventions aux combustibles fossiles* (AIE, 2009b).

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594199

Si la suppression progressive des subventions aux combustibles fossiles est intégrée au scénario 450 *base*, le coût des mesures d'atténuation devrait être inférieur à celui du scénario 450 *base* sans réforme des subventions. La baisse des coûts concernerait en premier lieu les pays qui suppriment les subventions, mais se ferait sentir également au niveau mondial (voir le tableau 3.9). Les coûts élevés prévus pour les pays du reste du monde en 2020 – dans le cas d'une mesure isolée de réforme des subventions aux combustibles fossiles comme dans celui du scénario 450 *base* intégrant la réforme – sont dus aux effets de cette mesure sur les pays exportateurs de pétrole du Moyen-Orient. Les gains de revenu résultant de la réforme sont moins élevés dans le scénario 450 *base* que dans le cas d'une politique isolée de réforme des subventions. En effet, la consommation d'énergie fossile étant plus faible dans le scénario 450 *base*, les économies qui résultent de la suppression des subventions sont également moins élevées.

La suppression de ces subventions peut cependant poser des problèmes sur le plan politique, et risque également d'accroître la consommation de bioénergies traditionnelles dans les pays en développement (cuisson des aliments au bois ou aux excréments d'animaux par exemple), avec des effets qui peuvent être préjudiciables à la santé (voir le chapitre 6). En outre, les combustibles traditionnels rejettent beaucoup de noir de carbone qui peut aussi contribuer au changement climatique (voir l'encadré 3.14 ci-dessous). Aussi faut-il procéder avec prudence dans la mise en œuvre des réformes des subventions aux combustibles fossiles, en veillant à ce que leurs éventuels effets négatifs sur le pouvoir d'achat et sur le bien-être des ménages soient atténués par des mesures appropriées (par exemple par des programmes de protection sociale assortis de conditions de ressources).

Tableau 3.9. **Impacts sur le revenu réel d'une réforme des subventions aux combustibles fossiles associée ou non au scénario *450 base*, 2020 et 2050**

Écart en % du revenu par rapport au *scénario de référence*

Région	2020			2050		
	Réforme des subventions aux CF uniquement	*450 base* pas de réforme	*450 base* avec réforme des subventions aux CF	Réforme des subventions aux CF uniquement	*450 base* pas de réforme	*450 base* avec réforme des subventions aux CF
Monde	**0.1**	**–0.1**	**–0.1**	**0.3**	**–6.3**	**–6.0**
OCDE AI	0.2	0.0	0.2	0.2	–4.8	–4.5
Autres BRIICS	0.6	–0.3	0.3	1.1	–11.4	–10.7
Russie et autres AI	–0.6	–0.4	–1.0	0.2	–14.6	–13.8
Reste du monde	–1.2	–0.4	–1.4	–0.3	–2.8	–2.6

Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide de données sur les subventions aux combustibles fossiles de l'AIE (AIE, 2009b).

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932595187

Rechercher des synergies entre les stratégies adoptées face au changement climatique et d'autres objectifs

La mise en place de politiques qui répondent simultanément à plusieurs objectifs (environnementaux, sociaux et économiques), permet d'en multiplier les retombées positives. Cette dernière section étudie certaines possibilités offertes par l'association des actions qui visent le changement climatique et des politiques de protection de la biodiversité, de santé et de croissance verte.

Changement climatique, biodiversité et bioénergie

Les projections indiquent que le changement climatique sera le facteur principal de perte de biodiversité à l'avenir (chapitre 4). Les stratégies bien adaptées à l'atténuation du changement climatique devront donc aussi présenter des avantages pour la biodiversité, en ralentissant la disparition des espèces. Certaines politiques d'atténuation peuvent cependant être préjudiciables à la biodiversité. Ainsi, les bioénergies peuvent apparaître comme une option attrayante, puisqu'elles permettent de réduire les émissions et se substituent facilement aux carburants liquides dans les transports (surtout dans certaines applications spécifiques comme le transport aérien et le transport de marchandises), dans la production électrique ou même pour créer des émissions négatives (quand elles sont associées à la CSC). Mais elles peuvent aussi influer défavorablement sur les émissions directes ou indirectes de GES et sur la biodiversité, puisque la production de biocarburants nécessite des terres supplémentaires (encadré 3.13). En revanche, d'autres stratégies d'atténuation, comme les mesures REDD-plus, les changements d'affectation des sols dans des zones forestières qui évitent certaines émissions, ou l'utilisation de bioénergies de deuxième génération, se traduiraient par des avantages connexes supplémentaires en termes de biodiversité (voir le chapitre 4 sur la biodiversité qui présente d'autres simulations concernant cet aspect).

Encadré 3.13. **Les bioénergies : panacée ou boîte de Pandore ?**

Les bioénergies sont produites au moyen de cultures vivrières telles que céréales, canne à sucre et huiles végétales (bioénergies de première génération), ou de cellulose, d'hémicellulose ou de lignine provenant de produits agricoles non alimentaires ou de déchets non comestibles (bioénergies de deuxième génération). Elles peuvent jouer un rôle important dans l'atténuation du changement climatique : sous forme de biocarburant, elles peuvent servir de combustible liquide dans le secteur des transports et faire baisser les émissions de CO_2 ; elles sont également susceptibles de remplacer le charbon ou le gaz naturel dans la production d'électricité. Dans la production d'électricité et d'hydrogène, les bioénergies peuvent aussi se combiner avec la CSC pour donner naissance à une technologie appelée BECCS permettant d'extraire des émissions de l'atmosphère. Dans ce cas, le CO_2 est absorbé au cours de la phase de croissance de la biomasse puis capturé et stocké tandis que la biomasse est convertie en électricité ou en hydrogène (Azar *et al.*, 2010 ; Read et Lermit, 2005).

Inconvénients des bioénergies

L'utilisation des bioénergies peut cependant présenter de graves inconvénients. Tout d'abord, la production de cultures bioénergétiques nécessite des terres, et entre ainsi en concurrence avec d'autres activités, comme la production de denrées alimentaires (Azar, 2005 ; Bringezu *et al.*, 2009 ; Searchinger *et al.*, 2008). Certaines études font état d'importantes hausses des prix des denrées alimentaires susceptibles de résulter des impacts directs et indirects des bioénergies en termes d'occupation des terres (de fait, les augmentations des prix en 2008 et 2011 ont en partie été attribuées à la croissance rapide de l'utilisation des bioénergies). En outre, la production de ces bioénergies peut être à l'origine d'importantes émissions de GES ; il peut s'agir d'émissions provenant des engrais azotés et des carburants utilisés dans la phase de croissance et de conversion, ou d'émissions de CO_2 liées aux changements d'affectation des terres, soit directement (conversion des écosystèmes naturels), soit indirectement (la concurrence avec d'autres formes d'utilisation des terres peut entraîner la conversion d'écosystèmes naturels en terres agricoles ; Searchinger *et al.*, 2008 ; Smeets *et al.*, 2009). Dans certains cas, les émissions associées aux bioénergies peuvent être du même ordre que celles des combustibles fossiles, ou même supérieures. Ces effets peuvent être en partie atténués par les moyens suivants : *i)* utilisation de bioénergies de deuxième génération (production de combustibles à partir de graminées, de biomasse ligneuse ou même de déchets d'origine biologique par exemple, ne nécessitant pas de terres supplémentaires) ; *ii)* application de critères de durabilité ; *iii)* réalisation de choix judicieux de productions à haut rendement limitant les superficies de terres nécessaires ou de systèmes extensifs de production de bioénergies ; ou *iv)* utilisation de la biomasse dans des applications à la fois matérielles et énergétiques (utilisation en cascade). En définitive, on ne dispose encore que d'une expérience limitée des bioénergies et de la CSC. Ces deux solutions se heurtent à des difficultés liées à l'incertitude des politiques climatiques, à l'acceptation par le public, aux risques inhérents aux technologies pionnières. La CSC reste à l'heure actuelle beaucoup plus coûteuse que d'autres technologies.

Les impacts des bioénergies sur la biodiversité, l'utilisation des terres, les prix et la disponibilité des denrées alimentaires dépendent ainsi d'interactions complexes au sein des systèmes agricoles et énergétiques. Les calculs réalisés pour les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* reposent sur l'hypothèse que les bioénergies sont surtout utilisées dans le secteur de l'électricité, et que la production de combustibles s'appuie pour l'essentiel sur des bioénergies de seconde génération (produites principalement par le traitement de déchets). D'après les hypothèses du scénario 450 *base* dans les simulations du modèle IMAGE, l'énergie primaire consommée en 2050 sera fournie à hauteur de 20 % environ par des bioénergies. Cette situation réduit fortement les émissions provenant de la combustion des combustibles fossiles, mais elle entraîne également des émissions accrues du fait de l'utilisation des terres. Les conséquences qui en résultent sont examinées au chapitre 4. Comme les rééquilibrages précis ne sont pas bien connus à ce stade, il faut assurer un suivi plus attentif de l'utilisation et des impacts des bioénergies.

Encadré 3.13. **Les bioénergies : panacée ou boîte de Pandore ?** *(suite)*

Peut-on se passer des bioénergies ?

Le scénario 550 *base* associé au modèle IMAGE suppose que les bioénergies occupent une place moins importante dans l'économie : l'énergie primaire totale consommée est fournie à 13 % environ par les bioénergies, pourcentage qui tombe à 6.5 % dans le scénario 550 *bioénergies faibles*. Il est important de déterminer s'il existe des substituts valables dans le secteur des transports. Dans ces calculs, l'hydrogène produite à partir de combustibles fossiles avec CSC constituerait une solution aux coûts additionnels limités ; toutefois, si cette option n'est pas disponible, la réduction de la consommation de bioénergies peut entraîner une hausse considérable des coûts des politiques climatiques. La réalisation des objectifs de concentration plus faible (450 ppm) dépend fortement de l'utilisation de la technologie BECCS. Dans les scénarios de politiques climatiques ambitieuses accordant moins d'importance aux bioénergies, celles-ci seront utilisées essentiellement dans le secteur énergétique (avec la BECCS). Si les bioénergies sont complètement exclues, les objectifs de concentration très faible risquent cependant de ne pouvoir être atteints. Compte tenu de ces incertitudes, il est important de poursuivre les travaux pour étudier les possibilités d'utilisation de bioénergies durables, et il faudra plusieurs modèles pour mieux comprendre les effets des différents pourcentages de bioénergies dans l'éventail des options d'atténuation.

Avantages de l'atténuation du changement climatique pour la santé

Certains gaz responsables du réchauffement climatique – comme le noir de carbone (encadré 3.14), le méthane, le dioxyde de soufre (SO_2)et les oxydes d'azote (NO_x) – ont aussi des polluants atmosphériques aux effets néfastes sur la santé. Des politiques d'atténuation du changement climatique bien conçues peuvent donc aussi contribuer aux objectifs de réduction de la pollution atmosphérique. Les mesures d'atténuation ont une incidence à long terme sur le climat, tandis que les bénéfices pour la santé résultant d'une réduction de la pollution atmosphérique locale se font sentir à court ou moyen terme (Bollen *et al.*, 2009 ; PNUE, 2011b). Dans ce cas, les analyses coûts-bénéfices doivent prendre en compte ces avantages connexes supplémentaires (voir le chapitre 6). Tout en ciblant les agents de forçage climatique à courte durée de vie ou les GES, il ne faut pas porter atteinte aux politiques plus globales d'atténuation des émissions de GES ni à l'objectif de décarbonisation durable de l'économie, mais il faut aussi constater que ces politiques peuvent venir compléter tout l'éventail des actions contre le changement climatique.

L'existence de retombées positives sur la santé peut aussi dépendre dans une certaine mesure des instruments d'action utilisés. Si l'on se sert d'un dispositif de plafonnement et d'échange pour limiter les émissions de CO_2, l'application de tout instrument supplémentaire aux mêmes sources d'émissions n'entraînera pas (comme indiqué plus haut) de nouvelles réductions de ces émissions, ni de réductions des émissions de SO_2 ou de NO_x par exemple, en raison d'interactions avec le plafonnement du CO_2 (OCDE, 2011b).

Encadré 3.14. **Le cas du noir de carbone**

Le noir de carbone provient de la combustion incomplète de substances solides ou liquides comme les combustibles fossiles, les biocarburants et la biomasse. Il ne s'agit pas d'une substance unique, mais de la fraction des particules qui absorbent le mieux la lumière visible (Bond *et al.*, 2004 ; PNUE, 2011b). Les sources d'émissions de noir de carbone sont nombreuses : moteurs diesel mobiles sans piège à particules, fourneaux, incendies de savane et de forêt, combustion des déchets agricoles, petites industries telles que briqueteries et production de coke (Bond et Sun, 2005). Bien que le noir de carbone ne soit pas un GES, il constitue un important facteur de forçage climatique à courte durée de vie, et influe directement sur le climat de la planète en absorbant les rayonnements solaires dans les couches supérieures de l'atmosphère où il demeure pendant des jours, voire des semaines (Molina *et al.*, 2009). En outre, les dépôts de noir de carbone sur la neige et sur la glace changent l'albédo, c'est-à-dire la proportion de lumière incidente réfléchie, si bien que le sol absorbe davantage le rayonnement solaire.

Il est difficile de mesurer l'effet total net du noir de carbone, mais la limitation de ses émissions doit prendre une place importante dans les stratégies de protection du climat (PNUE, 2011a). Par exemple, certaines mesures d'atténuation des émissions de CO_2 entraînent un réchauffement à court terme, en limitant aussi les émissions concomitantes d'oxyde de soufre (PNUE, 2011a). La réduction des émissions de noir de carbone est bénéfique sur le plan climatique mais peut aussi avoir des avantages significatifs en termes de santé publique et de productivité agricole. L'application complète des mesures de réduction du noir de carbone et des précurseurs de l'ozone troposphérique (c'est-à-dire de la basse atmosphère) permettrait d'éviter 2.4 millions de morts prématurées, et la perte de 1 % à 4 % de la production annuelle totale de blé, de riz, de maïs et de soja (PNUE, 2011a). Les méthodes d'atténuation varient largement d'un pays à l'autre, car les activités émettrices sont différentes. Les émissions des pays de l'OCDE proviennent en grande partie des véhicules diesel (EPA, 2011). Dans d'autres pays comme la Chine et l'Inde, les sources d'émissions sont les fourneaux, les briqueteries et les fours à coke, qui sont aussi responsables d'une pollution de l'air à l'intérieur des locaux.

Les coûts marginaux des mesures d'atténuation des émissions de noir de carbone varient selon les régions du monde : ils sont plus élevés en Amérique du Nord et en Europe, où des mesures relativement peu coûteuses de limitation des émissions de particules ont déjà été prises (Rypdal *et al.*, 2009). Compte tenu des disparités régionales des émissions de noir de carbone, il faudra des travaux complémentaires pour établir quelle est la meilleure stratégie de réduction. Les analyses et comparaisons des stratégies d'atténuation des émissions de noir de carbone intéressantes sur le plan économique devront prendre en compte plusieurs critères, à savoir : *i)* les conditions atmosphériques locales ; *ii)* la proportion de noir de carbone par rapport aux autres particules émises simultanément ; *iii)* l'impact sur les régions sensibles où l'effet albédo est important ; et *iv)* l'impact des activités émettrices de noir de carbone dans des domaines autres que le climat, comme la santé et l'agriculture.

Changement climatique, croissance verte et emplois verts

La croissance verte consiste à favoriser la croissance économique et le développement tout en veillant à ce que les actifs naturels continuent de fournir les ressources et les services environnementaux sur lesquels repose notre bien-être. Pour ce faire, elle doit stimuler l'innovation et l'investissement qui étaieront une croissance durable et créeront de nouvelles opportunités économiques. Les besoins de financement et d'investissement que représente la transformation du secteur énergétique traditionnel à forte teneur en carbone en un secteur sobre en carbone atteindraient 1 600 milliards USD par an entre 2030 et 2050 (750 milliards USD de 2010 à 2030), en plus des investissements en cours (AIE, 2010). L'AIE estime aussi que l'augmentation de 17 % (soit 46 000 milliards USD) des investissements mondiaux dans le secteur énergétique qu'exigerait la mise en place de systèmes énergétiques bas carbone pourrait permettre des économies d'énergie cumulées de l'ordre de 112 000 milliards USD entre 2010 et 2050 (AIE, 2010). Des mesures nationales seront nécessaires pour assurer un arbitrage risque/rendement qui permette de conférer aux investissements verts une meilleure rentabilité que les options de *statu quo*, certains auteurs préconisant à cet égard des politiques climatiques « de qualité investissement » (Hamilton, 2009 ; OCDE, 2012). La transition vers une économie bas carbone impliquera le développement de nouveaux secteurs et de nouvelles activités, d'où la nécessité de disposer d'un nouvel ensemble de compétences dans les emplois nouvellement créés comme dans les emplois existants (OCDE, 2011a). Parmi les secteurs clés figurent les transports, axés sur des véhicules plus efficients ou alternatifs, la remise en état des bâtiments et leur équipement en installations solaires, et la « décarbonisation » du secteur de la production d'électricité, essentiellement au moyen d'investissements dans les technologies des énergies renouvelables. Si les cadres de l'action publique réussissent à réorienter les investissements du secteur privé en direction de solutions bas carbone qui permettent de faire face au changement climatique, ces investissements créeront de nouvelles activités et de nouveaux emplois et compenseront les pertes liées au modèle économique à forte teneur en carbone (AIE, à paraître).

Les politiques du marché du travail et de développement des compétences peuvent apporter une contribution importante à la croissance verte. En limitant au maximum les pénuries de main-d'œuvre et en évitant la hausse du chômage structurel, elles peuvent accélérer la transition vers une croissance verte et en accentuer les retombées positives. Le rapport de l'OCDE *Vers une croissance verte* (OCDE, 2011e) souligne qu'un nombre croissant d'études font état des possibilités de créations nettes d'emplois associées à la restructuration du secteur de l'énergie en faveur d'une palette énergétique moins polluante[49]. En réorientant l'économie vers des sources d'énergie renouvelables et en mettant l'accent sur les secteurs moins consommateurs d'énergie, les politiques climatiques pourraient donc créer plus d'emplois qu'il n'en serait perdu à long terme. En modifiant sensiblement les prix relatifs, les politiques de réduction des émissions de GES rejailliront sur la composition de la demande finale comme de la demande intermédiaire et, par conséquent, sur la composition de la demande de main-d'œuvre. En particulier, les prix relatifs de l'énergie et des produits et services à forte intensité énergétique augmenteront[50]. Les politiques climatiques ont des conséquences macroéconomiques diverses sur l'emploi, et leur effet global n'est pas facile à établir ; certaines panoplies de mesures peuvent cependant améliorer les performances sur le plan de l'environnement comme du marché du travail (voir l'exemple donné dans l'encadré 3.15).

Encadré 3.15. **Et si… la réduction des GES pouvait accroître le taux d'emploi ?**

L'OCDE a étudié les effets des politiques d'atténuation des GES sur le marché du travail (Château *et al.*, 2011 ; OCDE, 2011e). Elle a utilisé pour cette analyse une version spécialement révisée du modèle ENV-linkages intégrant des rigidités du marché du travail, c'est-à-dire des frictions dans l'ajustement des salaires aux variations entre l'offre et la demande de main-d'œuvre, pour simuler un scénario de politique climatique indicatif, dans lequel l'ensemble de la zone de l'OCDE réduit ses émissions de 50 % en 2050 par rapport aux niveaux de 1990 (par la mise en œuvre d'un système d'échange de quotas d'émission). Les pays non membres de l'OCDE sont supposés tous réduire leurs émissions de 25 % en 2050 par rapport aux niveaux du *statu quo*.

Le tableau 3.10 indique que cette politique d'atténuation influe peu sur la croissance économique (les niveaux de PIB réel sont réduits de 0.8 % dans l'hypothèse d'une faible rigidité du marché du travail et de 2.1 % dans l'hypothèse d'une forte rigidité) et sur la création d'emploi (niveaux d'emploi en baisse de 0.3 % à 2.2 %). Lorsque les recettes tirées des permis sont redistribuées sous la forme de transferts forfaitaires uniformes, les coûts d'atténuation augmentent avec le degré de rigidité du marché du travail. Cependant, même dans le scénario le plus défavorable, caractérisé par de très fortes rigidités du marché du travail, la croissance économique n'est que légèrement affectée par l'introduction de permis d'émission de carbone : en moyenne, dans la zone OCDE, le PIB réel augmente de près de 41 % au cours de la période 2013-30, contre 44 % en l'absence de mesures d'atténuation. Le ralentissement qui en résulte en termes de création d'emplois est plus prononcé, mais demeure relativement faible.

Tableau 3.10. **Impact économique d'un système d'échange de quotas d'émission à l'échelle de la zone OCDE, pour des marchés du travail rigides, dans l'hypothèse d'une redistribution des recettes sous forme forfaitaire, 2015-2030**

Écart en % par rapport au scénario de *statu quo*

	PIB réel		Emploi		Salaires réels		Revenu réel	
	Faible rigidité	Forte rigidité	Faible rigidité	Forte rigidité	Faible rigidité	Forte rigidité	Faible rigidité	Forte rigidité
2015	–0.04	–0.10	–0.03	–0.12	–0.11	–0.03	–0.04	–0.13
2020	–0.23	–0.62	–0.13	–0.70	–0.53	–0.18	–0.25	–0.80
2030	–0.78	–2.09	–0.32	–2.19	–1.30	–0.56	–0.83	–2.68

Source : Modèle ENV-Linkages de l'OCDE (d'après Chateau *et al.*, 2011).

Cependant, pour un niveau moyen de rigidité du marché du travail (entre les deux extrêmes présentées au tableau 3.10), et si l'on substitue à la redistribution forfaitaire une politique de réduction de la fiscalité du travail par l'utilisation des recettes tirées des permis, la croissance de l'emploi est stimulée (tableau 3.11). L'emploi dans la zone de l'OCDE s'accroîtrait de 0.8 % en 2030 par rapport au *scénario de référence*, soit une hausse de 7.5 % entre 2013 et 2030, contre 6.5 % en l'absence de mesures d'atténuation. De surcroît, les travailleurs ne subissent aucune perte de pouvoir d'achat.

Tableau 3.11. **Impact économique d'un système d'échange de quotas d'émission à l'échelle de la zone OCDE pour différentes options de recyclage des recettes, dans l'hypothèse d'une rigidité moyenne du marché du travail, 2015-2030**

Écart en % par rapport au scénario de *statu quo*

	PIB réel		Emploi		Salaires réels		Revenu réel	
	Transferts forfaitaires	Baisse de la fiscalité du travail	Transferts forfaitaires	Baisse de la fiscalité du travail	Transferts forfaitaires	Baisse de la fiscalité du travail	Transferts forfaitaires	Baisse de la fiscalité du travail
2015	–0.06	0.06	–0.05	0.12	–0.08	0.11	–0.07	0.09
2020	–0.34	0.26	–0.29	0.59	–0.44	0.54	–0.40	0.44
2030	–1.08	–0.03	–0.75	0.80	–1.14	0.76	–1.26	0.24

Source : Modèle ENV-Linkages de l'OCDE (Château *et al.*, 2011).

Encadré 3.15. **Et si… la réduction des GES pouvait accroître le taux d'emploi ?** *(suite)*

Ces estimations montrent que certaines panoplies de mesures peuvent améliorer les performances environnementales comme celles du marché du travail. Elles montrent aussi qu'il faut tenir compte simultanément de la qualité des institutions du marché du travail et de la redistribution des recettes tirées des permis d'émission si l'on veut pouvoir mettre pleinement à profit les politiques climatiques en termes de créations d'emplois. Toutefois, les estimations empiriques du degré d'imperfection du marché du travail étant rares, les chiffres présentés ici le sont donc à titre purement illustratif.

Ces conclusions sont conformes à celles de nombreuses autres études visant à analyser l'impact sur l'emploi des mesures d'atténuation dans le cadre d'un modèle d'équilibre général. Certains modèles, comme ENV-Linkages, permettent une évaluation des coûts de la transition, mais à plus long terme. Ils ne rendent pas compte de certains des gains d'emploi induits (ou des pertes d'emplois évitées) par les politiques d'atténuation. De fait, l'innovation étant par nature difficile à prévoir, on ne peut mesurer pleinement les effets potentiels des politiques d'environnement sur l'innovation en matière de technologies vertes.

Source : Chateau, J., T. Manfredi, A. Saint-Martin et P. Swaim (2011), « Employment Impacts of Climate Change Mitigation Policies in OECD: A General-Equilibrium Perspective », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 32, Éditions OCDE, Paris.

L'influence positive que peut avoir la croissance verte sur l'emploi est néanmoins restreinte pour plusieurs raisons. D'une part, l'effet direct de la composition du secteur de l'énergie sur l'emploi reste limité, car les industries très polluantes ne représentent qu'une petite partie de la main-d'œuvre totale. D'autre part, ces effets « immédiats » en termes de créations nettes d'emplois ne tiennent pas pleinement compte des effets « secondaires » d'une modification de la palette énergétique : ils ne restituent pas pleinement l'impact macroéconomique des politiques climatiques. Les obstacles aux restructurations industrielles pourraient freiner le processus de redéploiement consécutif aux politiques d'atténuation et, à terme, ralentir le rythme de croissance de l'emploi. Enfin, ces politiques auraient en général pour effet de réduire le PIB (voir la section 3), ce qui risque d'être préjudiciable à l'emploi global.

Les recettes publiques générées par les mécanismes de tarification du carbone pourraient servir à réduire d'autres taxes et à atténuer les distorsions fiscales dans l'économie. Ces politiques d'atténuation sans incidence sur les recettes fiscales sont parfois préconisées au motif qu'elles peuvent produire un « double dividende », en réduisant les émissions de GES et en améliorant l'efficience, grâce à la baisse des impôts, par exemple sur le travail, qui présentent des effets de distorsion.

Notes

1. Voir le chapitre 1 pour une description de la méthodologie utilisée pour les *Perspectives de l'environnement*, et le chapitre 2 pour les principales hypothèses socio-économiques qui sous-tendent le *scénario de référence*. Voir la section 2 de ce chapitre, consacrée aux tendances et projections, pour un examen plus approfondi des politiques existantes dont il est tenu compte dans le *scénario de référence*.
2. L'atténuation désigne les activités qui visent à réduire les émissions de GES, directement ou indirectement, soit en évitant la production de GES ou en les captant avant leur rejet dans l'atmosphère, soit en piégeant les GES déjà présents dans l'atmosphère par l'augmentation des « puits » notamment forestiers. Ces activités peuvent impliquer des changements de comportement, des progrès technologiques et la diffusion de techniques nouvelles (GIEC, 2007).
3. L'adaptation est l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'en atténuer les inconvénients ou de tirer parti des avantages (GIEC, 2001).

4. Le protocole de Kyoto est un accord international lié à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Il a été adopté à Kyoto, au Japon, le 11 décembre 1997 et est entré en vigueur le 16 février 2005. La principale particularité du protocole de Kyoto est qu'il fixe des objectifs contraignants de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) pour 37 pays industrialisés et la Communauté européenne. Ces objectifs impliquent d'assurer sur la période 2008-12 une réduction de 5 % en moyenne par rapport aux niveaux de 1990.

5. Voir *www.iea.org/index_info.asp?id=1959*.

6. Voir *www.epa.gov/methane/scientific.html*.

7. Dans le rapport du GIEC, la valeur médiane est de 3 °C, alors que la fourchette de 2 °C-4.5 °C représente l'intervalle de confiance à 66 %. C'est sur cette hypothèse que s'appuient les projections des présentes perspectives.

8. La sensibilité climatique est une mesure de la réponse du système climatique à une modification du forçage radiatif·Elle est généralement exprimée sous la forme de la variation de la température associée à une multiplication par deux de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère terrestre.

9. Le terme « circulation thermohaline » désigne la part de la circulation océanique à grande échelle qui est régie par des gradients mondiaux de densité créés par la chaleur en surface et par les flux d'eau douce. Les modèles informatiques indiquent qu'un afflux d'eau douce en certains points de l'Atlantique Nord pourrait ralentir, voire même stopper, la formation de masses d'eaux denses et leur plongée. Cela pourrait enrayer le flux de retour de ce courant.

10. D'autres économistes (par exemple Nordhaus, 2011 ; et Pindyck, 2011) suggèrent que la théorie funeste de Weitzman, selon laquelle l'analyse coûts-avantages vole en éclats face aux risques de catastrophes, n'est valable que dans certaines circonstances très particulières.

11. Voir *http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf*.

12. Les parties visées à l'annexe I de la CCNUCC de 1992 sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, le Bélarus, la Belgique, la Bulgarie, le Canada, la Communauté économique européenne, la Croatie, le Danemark, l'Espagne, l'Estonie, les États-Unis, la Russie, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, la Lettonie, le Liechtenstein, la Lituanie, le Luxembourg, Malte, Monaco, la Nouvelle-Zélande, la Norvège, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, la Roumanie, le Royaume-Uni, la Slovénie, la Suède, la Suisse, la Turquie et l'Ukraine. Voir *www.unfccc.int*. Les pays de l'annexe II, qui constituent un sous-ensemble des pays de l'annexe I, sont ceux qui se sont engagés à soutenir financièrement les mesures prises dans les pays en développement. Les pays de l'annexe II incluent ceux qui étaient membres de l'OCDE en 1992, à l'exclusion de ceux qui étaient des économies en transition.

13. Pour consulter la liste des parties ne figurant pas à l'annexe I, voir : *http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/non_annex_i/items/2833.php*.

14. Il convient de noter que les États-Unis n'ont pas ratifié le protocole de Kyoto, et que la Turquie n'avait pas ratifié la CCNUCC à l'époque de la négociation du protocole de Kyoto. Ces deux pays de l'annexe I n'ont donc pas pris d'engagements de réduction des émissions dans le cadre du protocole.

15. Pour consulter la liste complète des engagements souscrits, voir *http://unfccc.int/resource/docs/2011/sb/eng/inf01r01.pdf* (pays développés) et *http://unfccc.int/resource/docs/2011/awglca14/eng/inf01.pdf* (pays en développement).

16. Le Groupe consultatif de haut niveau sur le financement de la lutte contre le changement climatique suggère que 85 % des fonds pourraient devoir être fournis par le secteur privé dès 2020 (AGF, 2010).

17. Ce nouveau Fonds vert pour le climat sera dirigé par un conseil composé de 24 membres, la parité étant assurée entre les représentants des pays en développement et ceux des pays développés, et il sera administré par la Banque mondiale pendant les trois premières années (Accords de Cancún de 2010, *http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=2*, para. 102-112).

18. L'arrêt Massachusetts v. Environmental Protection Agency, *549 US 497* (2007), est une décision de la Cour suprême des États-Unis rendue par une majorité de 5 voix contre 4 après que douze États et plusieurs villes des États-Unis aient intenté une action contre l'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis (EPA) pour l'obliger à réglementer les émissions de dioxyde de carbone et d'autres GES en tant que polluants. Voir *www.supremecourt.gov/opinions/06pdf/05-1120.pdf*.

19. La capture et le stockage du carbone (CSC) permettent de réduire la contribution au réchauffement climatique des émissions imputables aux combustibles fossiles. Ils consistent à capter le *dioxyde* de carbone (CO_2) émis par les grandes sources ponctuelles, telles que les *centrales* électriques à combustibles fossiles, et à le stocker de telle sorte qu'il n'entre pas dans l'atmosphère.

20. Dans les programmes de crédits de réduction des émissions, les émissions totales ne sont pas plafonnées. Les droits d'émission des entreprises sont établis par rapport à un niveau de référence. Ce niveau peut être calculé sur la base de leurs émissions passées ou d'une norme de performance spécifiant le volume des émissions rapporté à la production. Les entreprises dont les émissions sont inférieures au niveau de référence créent des crédits de réduction des émissions.

21. Le terme « compensations » désigne généralement les crédits qui permettent de s'affranchir de la nécessité de réduire les émissions ailleurs.

22. L'Application conjointe est l'un des trois mécanismes de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto pour aider les pays à respecter leurs engagements vis-à-vis des objectifs d'émission de GES (parties visées à l'annexe I). Aux termes de l'article 6, tout pays visé à l'annexe I peut, au lieu de réduire ses émissions au plan national, investir dans des projets visant à réduire les émissions (dits « projets d'application conjointe ») dans un autre pays visé à l'annexe I.

23. Cette réduction a été ramenée à 65 % le 1er avril 2011.

24. *www.fin.gov.bc.ca/tbs/tp/climate/carbon_tax.htm*, consulté en septembre 2011.

25. Le MDP vise à promouvoir un développement propre dans les pays en développement. Il permet en outre aux pays industrialisés d'investir dans des projets de réduction des émissions à chaque fois que cela revient moins cher à l'échelle mondiale. Les projets visant à réduire les émissions dans les pays en développement peuvent donner droit à des crédits (unités de réduction certifiées des émissions) équivalant chacun à une tonne de CO_2. Ces crédits peuvent être négociés et vendus, et utilisés par les pays industrialisés pour remplir une partie des engagements de réduction des émissions qu'ils ont souscrits au titre du protocole de Kyoto.

26. Ce programme limite la fabrication de gaz contenant du fluor utilisés comme substituts des substances appauvrissant la couche d'ozone ou en améliore la fabrication, la manipulation, l'utilisation et la récupération en fin de vie.

27. Les mesures en faveur des économies d'énergie se heurtent à des obstacles complexes : obstacles de marché et d'ordre financier avec des problèmes d'incitations partagées lorsque les investisseurs ne peuvent tirer parti des avantages qui s'ensuivent ; coûts de transaction ; distorsions des prix ; problèmes d'information qui empêchent les consommateurs de prendre des décisions rationnelles en matière de consommation et d'investissement ; incitations dont la structure encouragent les fournisseurs d'énergie à vendre toujours plus d'énergie plutôt qu'à investir dans les économies d'énergie ; et obstacles techniques (voir AIE, 2009a).

28. Le Forum des grandes économies sur l'énergie et le climat (FGE) a été lancé le 28 mars 2009 pour faciliter un dialogue franc et ouvert entre les grandes économies développées et en développement, pour aider à susciter la volonté politique nécessaire pour que la conférence des Nations Unies sur le climat prévue en décembre à Copenhague soit couronnée de succès, et pour faire progresser l'exploration d'initiatives et coentreprises concrètes contribuant à accroître l'offre d'énergies non polluantes tout en réduisant les émissions de GES. Participent au FGE les 17 grandes économies suivantes : Afrique du Sud, Allemagne, Australie, Brésil, Canada, Chine, Corée, États-Unis, France, Inde, Indonésie, Italie, Japon, Mexique, Royaume-Uni, Russie et Union européenne. Le Danemark, en sa qualité de pays ayant assumé la Présidence de la Conférence des Parties à la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques de décembre 2009, et les Nations Unies ont également été invités à participer à ce dialogue. Voir *www.majoreconomiesforum.org*.

29. Voir *www.cordis.europa.eu/technology-platforms/*.

30. Voir *www.fp7.org.tr/tubitak_content_files/270/ETP/PV/energyresearchprogramme.pdf*.

31. Les parties à la CCNUCC doivent présenter des rapports nationaux sur la mise en œuvre de la Convention à la Conférence des Parties (CdP). Les principaux éléments des communications nationales des parties visées à l'annexe I et des autres pays sont les informations relatives aux émissions et aux réductions de GES ainsi qu'aux mesures prises pour mettre en œuvre la Convention.

32. Cette étude porte sur les pays suivants : Allemagne, Australie, Autriche, Canada, Danemark, Espagne, Finlande, Norvège, Pays-Bas et Royaume-Uni.

33. Souvent, les risques liés au changement climatique ne sont pas monotones, de sorte qu'il est difficile de dégager des tendances. Dans ce cas, l'assurance fondée sur les conditions météorologiques n'est pas viable.

34. Les différents GES ont été agrégés sur la base des équivalents CO_2 (éq.-CO_2).

35. Rogelj *et al.* (à paraître) estiment que, dans un scénario à 450 ppm, l'élévation de la température a une probabilité d'environ 60 % de dépasser 2 °C à long terme (à l'équilibre), une probabilité de 15 % de dépasser 3 °C, et une probabilité de 5 % d'être supérieure à 4 °C.

36. La BECCS combine l'utilisation de bioénergies dans la production d'électricité et d'hydrogène avec la capture et le stockage géologique du carbone (CSC) pour créer une technologie qui permet d'extraire des émissions de l'atmosphère : le CO_2 est absorbé au cours de la phase de croissance de la biomasse puis capturé et stocké tandis que la biomasse est convertie en électricité ou en hydrogène (Azar *et al.*, 2010 ; Read et Lermit, 2005). Plusieurs études concluent que la technologie BECCS offre une solution intéressante de réduction des émissions dans la deuxième moitié du siècle (van Vuuren et Riahi, 2011).

37. L'expression « action tardive » ne signifie pas que toutes les actions sont retardées, mais plutôt que les efforts d'atténuation dans les décennies à venir sont moins importants que dans les autres scénarios.

38. En raison de l'effet de refroidissement des aérosols, ces niveaux de concentration sont inférieurs aux concentrations observées si l'on ne tient compte que des gaz de Kyoto.

39. La hausse de la température à long terme (à l'équilibre) sera inférieure à 2 °C, puisqu'il est déjà prévu que la baisse des concentrations de GES fera baisser le forçage radiatif à la fin du siècle.

40. Dans la suite de modèles IMAGE, qui présente des estimations plus prudentes des améliorations de l'efficience énergétique, on suppose qu'une part plus importante des réductions résulterait du changement de combustibles.

41. Cependant, l'efficience énergétique joue aussi un rôle dans la région de l'OCDE ; son amélioration est un élément essentiel de toute panoplie d'options d'atténuation d'un bon rapport coût-efficacité.

42. L'intensité énergétique moyenne diffère aussi d'une région à l'autre du fait des conditions propres aux pays, notamment du climat.

43. Information provenant du site web de la CCNUCC (*www.unfccc.int*), consulté en août 2011.

44. Les calculs sont effectués au moyen de la méthode décrite par den Elzen *et al.* (2011), mais révisée pour tenir compte des projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*. De plus amples informations concernant les hypothèses sur lesquelles repose l'évaluation des engagements sont données à l'annexe 3.A.

45. Il faut rappeler que les avantages des actions d'atténuation ne sont pas pris en compte dans les coûts calculés à l'aide du modèle ENV-Linkages.

46. De toute évidence, ces estimations de coûts dépendent de façon décisive des hypothèses formulées sur la disponibilité et l'efficience économique des principales options d'atténuation telles que présentées dans l'encadré 3.10 concernant les technologies énergétiques clés.

47. Les pertes de revenu régionales dépendent du système d'allocation des permis, qui repose sur des droits d'émission par habitants égaux dans les deux scénarios d'atténuation.

48. Ce niveau annuel fluctue beaucoup en fonction des variations des prix internationaux de l'énergie, mais indique aussi que des réformes ont été entreprises récemment dans certains grands pays (Chine et Inde).

49. Voir par exemple le rapport du PNUE, de l'OIT, de l'OIE et de la CSI intitulé *Emplois verts : Pour un travail décent dans un monde durable, à faibles émissions de carbone* (UNEP/ILO/IOE/ITUC, 2008).

50. L'éco-innovation aura probablement, elle aussi, des répercussions importantes sur les prix relatifs, tout en agissant directement sur les besoins en main-d'œuvre et en qualifications dans les secteurs utilisateurs de nouvelles technologies. C'est ainsi que de nouveaux emplois seront créés tandis que de nombreux emplois existants devront être « verdis », alors que d'autres devront être redéployés des secteurs ou entreprises en déclin vers ceux en expansion.

Références

AEE (Agence européenne pour l'environnement) (2010), *L'environnement en Europe : état et perspectives 2010*, Agence européenne pour l'environnement, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg.

AEE (2010a), « Atmospheric Greenhouse Gas Concentrations (CSI 013): Assessment published Nov. 2010 », site web de l'AEE, *www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-assessment-3*, consulté le 27 septembre 2011.

Agrawala, S. *et al.* (2010a), « Incorporating Climate Change Impacts and Adaptation in Environmental Impact Assessments: Opportunities and Challenges », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 24, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5km959r3jcmw-en*.

Agrawala, S. *et al.* (2010b), « Plan or React? Analysis of Adaptation Costs and Benefits Using Integrated Assessment Models », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 23, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5km975m3d5hb-en*.

Agrawala, S. *et al.* (2011), « Private Sector Engagement in Adaptation to Climate Change: Approaches to Managing Climate Risks », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 39, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kg221jkf1g7-en*.

Agrawala, S., F. Bosello, C. Carraro, E. de Cian et E. Lanzi (2011), « Adapting to Climate Change: Costs, Benefits, and Modelling Approaches », *International Review of Environmental and Resource Economics*, vol. 5, n° 3, pp. 245-284, *http:/dx.doi.org/10.1561/101.00000043*.

AIE (Agence internationale de l'énergie) (2009a), *Implementing Energy Efficiency Policies: Are IEA Member Countries on Track?*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264075696-en*.

AIE (2009b), *Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios and Strategies to 2050*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/energy_tech-2010-en*.

AIE (2010), « Global Gaps in Clean Energy RD&D Update and Recommendations for International Collaboration », *Rapport de l'AIE pour la Conférence au niveau des ministres sur les énergies propres*, OCDE/AIE, Paris.

AIE (2011a), *CO_2 Emissions from Fuel Combustion: Highlights*, OCDE/AIE, Paris.

AIE (2011b), *World Energy Outlook 2011*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/weo-2011-en*.

AIE, OCDE, OPEC et Banque mondiale (2010), « Analysis of the Scope of Energy Subsidies and Suggestions for the G-20 Initiative », *Rapport conjoint établi pour le Sommet du G20 à Toronto*, 26-27 juin 2010, AIE/OPEP/Éditions OCDE/Banque mondiale.

Alberth, S. et C. Hope (2006), « Policy Implications of Stochastic Learning Using a Modified PAGE2002 Model », *Cambridge Working Papers in Economics*, Faculty of Economics, University of Cambridge, Cambridge, Royaume-Uni.

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) (2009), *The Greenland Ice Sheet in a Changing Climate: Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA)*, AMAP, Oslo.

Azar, C. (2005), « Emerging Scarcities: Bioenergy-Food Competition in a Carbon Constrained World », dans D. Simpson, M. Toman et R. Ayres (dir. pub.), *Scarcity and Growth in the New Millennium*, John Hopkins University Press, Baltimore.

Azar, C. *et al.* (2010), « The Feasibility of Low CO_2 Concentration Targets and the Role of Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS) », *Climatic Change*, vol. 100, pp. 195-202.

Barrett, S. (1994), « Self-Enforcing International Environmental Agreements », *Oxford Economic Papers*, n° 46, pp. 878-894.

Bauer, A., J. Feichtinger et R. Steurer (2011), *The Governance of Climate Change Adaptation in Ten OECD Countries: Challenges and Approaches*, *Discussion Paper*, n° 1-2011, Institute of Forest, Environmental, and Natural Resource Policy, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienne.

Bollen, J. *et al.* (2009), « Co-Benefits of Climate Change Mitigation Policies: Literature Review and New Results », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 693, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/224388684356*.

Bollen, J., P. Koutstaal et P. Veenendaal (2011), *Trade and climate change*, CPB, La Haye.

Bond, T.C. *et al.* (2004), « A Technology-Based Global Inventory of Black and Organic Carbon Emissions from Combustion », *Journal of Geophysical Research*, vol. 109, n° D14 et D14203.

Bond, T.C. et H. Sun (2005), « Can Reducing Black Carbon Emissions Counteract Global Warming? », *Environmental Science and Technology*, vol. 39(16), pp. 5921-5926.

Bowen, A. et J. Rydge (2011), « Climate-Change Policy in the United Kingdom », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 886, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kg6qdx6b5q6-en*.

Bringezu, S. *et al.* (2009), *Towards Sustainable Production and Use of Resources: Assessing Biofuels*, Groupe d'experts international pour la gestion durable des ressources, PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement), Nairobi.

de Bruin, K., R. Dellink et S. Agrawala (2009), « Economic Aspects of Adaptation to Climate Change: Integrated Assessment Modelling of Adaptation Costs and Benefits », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 6, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/225282538105*.

Buchner, B. (2007), « Policy Uncertainty, Investment and Commitment Periods », OCDE/AIE, Paris.

Burniaux, J. et J. Oliveira Martins (2000), « Carbon Emission Leakages: A General Equilibrium View », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 242, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/410535403555*.

Burniaux, J., J. Chateau et R. Duval (2010), « Is there a Case for Carbon-Based Border Tax Adjustment? An Applied General Equilibrium Analysis », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 794, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kmbjhcqqk0r-en*.

Burniaux, J. et J. Chateau (2011), « Mitigation Potential of Removing Fossil Fuel Subsidies: A General Equilibrium Assessment », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 853, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kgdx1jr2plp-en*.

CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques) (2009), *Accord de Copenhague*, CCNUCC, Bonn, Allemagne, *http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/fre/11a01f.pdf*.

CCNUCC (2011a), *Rapport de la Conférences des Parties sur sa seizième session, tenue à Cancùn du 29 novembre au 10 décembre 2010*, CCNUCC, Bonn, Allemagne, *http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/fre/07a02f.pdf*.

CCNUCC (2011b), *Compilation-synthèse des cinquièmes communications nationales des Parties visées à l'annexe I de la Convention*, CCNUCC, Bonn, Allemagne.

Chateau, J., T. Manfredi, A. Saint-Martin et P. Swaim (2011), « Employment Impacts of Climate Change Mitigation Policies in OECD: A General-Equilibrium Perspective », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 32, OCDE, Paris, à paraître.

Clapp, C., G. Briner et K. Karousakis (2010), « Low-Emission Development Strategies (LEDS): Technical, Institutional and Policy Lessons », OCDE/AIE, Paris.

Clarke, L. *et al.* (2009), « International Climate Policy Architectures: Overview of the EMF22 International Scenarios », *Energy Economics*, vol. 31, pp. S64-S81.

Dellink, R., G. Briner et C. Clapp (2010), « Costs, Revenues, and Effectiveness of the Copenhagen Accord Emission Pledges for 2020 », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 22, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5km975plmzg6-en*.

Dietz, S. *et al.* (2006), « On Discounting Non-Marginal Policy Decisions and Cost-Benefit Analysis of Climate-Change Policy », paper presented at the *ISEE 2006: Ninth Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics*, 15-19 décembre 2006, India Habitat Centre, Delhi, Inde.

Duval, R. (2008), « A Taxonomy of Instruments to Reduce Greenhouse Gas Emissions and their Interactions », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 636, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/236846121450*.

Edenhofer, O. *et al.* (2009), *The Economics of Decarbonization: Report of the RECIPE Project*, Potsdam-Institute for Climate Impact Research, Potsdam.

Edenhofer, O. *et al.* (2010), « The Economics of Low Stabilization: Model Comparison of Mitigation Strategies and Costs », *The Energy Journal*, vol. 31, n° 1 (spécial).

Ellerman, A. et B. Buchner (2008), « Over-Allocation or Abatement? A Preliminary Analysis of the EU-ETS Based on the 2005-06 Emissions Data », *Environmental and Resource Economics*, vol. 41, n° 2, pp. 267-287.

Ellerman, A., F. Convery et C. de Perthuis (2010), *Pricing Carbon: The European Union Emissions Trading Scheme*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

Ellis, J. et S. Kamel (2007), « Overcoming Barriers to Clean Development Mechanism Projects », *OECD Papers*, vol. 7/1, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/oecd_papers-v7-art3-en*.

Elzen, M. den et D.P. van Vuuren (2007), « Peaking Profiles for Achieving Long-term Temperature Targets with More Likelihood at Lower Costs », *PNAS*, vol. 104, n° 46, pp. 17931-17936.

Elzen, M. den, A.F. Hof et M. Roelfsema (2011), « The Emissions Gap between the Copenhagen Pledges and the 2 °C Climate Goal: Options for Closing and rRsks that Could Widen the Gap », *Global Environmental Change*, n° 21, pp. 733-743.

EPA (Environmental Protection Agency) (2011), *Report to Congress on Black Carbon*, EPA, Washington, DC.

GIEC (2007a), « Résumé à l'intention des décideurs », dans M.L. Parry *et al.* (dir. pub.), « Bilan 2007 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité », contribution du groupe de travail III au *Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York.

GIEC (2007b), « Bilan 2007 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité », contribution du groupe de travail II au *Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge.

GIEC (2007c), « Climate change 2007: Mitigation of climate change », contribution of Working Group II to the *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.

Gouvernement du Brésil (2008), *National Climate Change Plan*, gouvernement du Brésil, Brasília.

Gouvernement de l'Inde (2010), *Notification No. 01/2010-Clean Energy Cess*, 22 juin 2010, ministère des Finances, Gouvernement de l'Inde, New Delhi, *www.coal.nic.in/cbec140710.pdf*.

Hamilton, K. (2009), « Unlocking Finance for Clean Energy: The Need for "Investment Grade" Policy », *Chatham House Briefing Paper*, The Royal Institute of International Affairs, Londres.

Hardin, G. (1968), « The Tragedy of the Commons », *Science*, vol. 162, n° 3859, pp. 1243-1248.

Haščič, I., N. Johnstone, F. Watson et C. Kaminker (2010), « Climate Policy and Technological Innovation and Transfer: An Overview of Trends and Recent Empirical Results », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 30, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5km33bnggcd0-en*.

Hoegh-Guldberg, O. *et al.* (2007), « Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification », *Science*, vol. 318, pp. 1737-1742.

Hood, C. (2010), « Reviewing Existing and Proposed Emissions Trading Systems », *IEA Energy Papers*, n° 2010/13, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5km4hv3mlg5c-en*.

Hood, C. (2011), « Summing Up the Parts: Combining Policy Instruments for Least-Cost Climate Mitigation Strategies », *Document d'information de l'AIE*, OCDE/AIE, Paris.

Jamet, S. et J. Corfee-Morlot (2009), « Assessing the Impacts of Climate Change: A Literature Review », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 691, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/224864018517*.

Johnstone, N. et I. Haščič (2009), *Environmental Policy Framework Conditions, Innovation and Technology Transfer*, OCDE, Paris.

Kalamova, M., C. Kaminker et N. Johnstone (2011), « Sources of Finance, Investment Policies and Plant Entry in the Renewable Energy Sector », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 37, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kg7068011hb-en*.

Lamhauge, N., E. Lanzi et S. Agrawala (2011), « Monitoring and Evaluation for Adaptation: Lessons from Development Co-operation Agencies », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 38, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kg20mj6c2bw-en*.

Luderer, G. *et al.* (2009), « The Economics of Decarbonization: Results from the RECIPE Model Intercomparison », *RECIPE Background Paper*, Potsdam-Institute for Climate Impact Research, Potsdam, *www.pik-potsdam.de/recipe*.

McKibbin, W., A. Morris et P. Wilcoxen (2011), « Comparing Climate Commitments: A Model-Based Analysis of the Copenhagen Accord », *Climate Change Economics*, vol. 2, n° 2, pp. 79-103.

Meinshausen, M. *et al.* (2006), « Multi-Gas Emission Pathways to Meet Climate Targets », *Climatic Change*, vol. 75, pp. 151-194.

Meinshausen, M. *et al.* (2009), « Greenhouse Gas Emission Targets for Limiting Global Warming to 2 °C », Nature, n° 458, pp. 1158-1162.

Mendelsohn, R., A. Dina et L. Williams (2006), « The Distributional Impact of Climate Change on Rich and Poor Countries », *Environment and Development Economics*, vol. 11, pp. 159-178.

Molina, M. *et al.* (2009), « Reducing Abrupt Climate Change Risk using the Montreal Protocol and Other Regulatory Actions to Complement Cuts in CO_2 Emissions », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, n° 49, 20616.

Nations Unies et Groupe consultatif de haut niveau sur le financement de la lutte contre les changements climatiques (AGF) (2010), *Report of the Secretary General's High Level Advisory Group on Climate Change Financing*, novembre, Nations Unies.

NBS (Network for Business Sustainability) (2009), *Concepts and Theories: Business Adaptation to Climate Change*, NBS, Canada.

Nicholls, R.J. *et al.* (2008), « Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes: Exposure Estimates », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 1, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/011766488208*.

Nordhaus, W.D. (2007), *The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy*, Yale University, New Haven.

Nordhaus, W.D. (2011), « The Economics of Tail Events with an Application to Climate Change », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 5, n° 2, pp. 240-257.

Nordhaus, W.D. et J. Boyer (2000), *Warming the World: Economic Models of Global Warming*, The MIT Press Nordhaus.

OCDE (2006), « Progress on Adaptation to Climate Change in Developed Countries: An Analysis of Broad Trends », *OECD Papers*, vol. 6/2, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/oecd_papers-v6-art8-en*.

OCDE (2007a), *Principes de l'OCDE pour la participation du secteur privé aux infrastructures*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264034129-fr*.

OCDE (2007b), *Politiques de l'environnement : Quelles combinaisons d'instruments ?*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264018754-fr*.

OCDE (2008a), *Coût de l'inaction sur des défis environnementaux importants*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264045842-fr*.

OCDE (2008b), « An OECD Framework for Effective and Efficient Environmental Policies: Overview », *Réunion du Comité des politiques d'environnement (EPOC) au niveau ministériel, Environnement et compétitivité mondiale*, 28-29 avril 2008, *www.oecd.org/dataoecd/8/44/40501159.pdf*.

OCDE (2008c), *Aspects économiques de l'adaptation au changement climatique : Coûts, bénéfices et instruments économiques*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264046870-fr*.

OCDE (2009a), *Économie de la lutte contre le changement climatique : Politiques et options pour une action globale au-delà de 2012*, Éditions OCDE, doi : *10.1787/9789264073913-fr*

OCDE (2009b), *Adaptation au changement climatique et coopération pour le développement : Document d'orientation*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264060296-fr*.

OCDE (2010a), *Cities and Climate Change*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264091375-en*.

OCDE (2010b), *La fiscalité, l'innovation et l'environnement*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264087651-fr*.

OCDE (2010d), *Mondialisation, transport et environnement*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264072930-fr*.

OCDE (2010e), *Mesurer l'innovation*, Éditions OCDE.

OCDE (2011a), « Mettre en place une croissance verte », dans OCDE, *Vers une croissance verte*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264111332-fr*.

OCDE (2011b), « Interactions Between Emission Trading Systems and Other Overlapping Policy Instruments », *Document pour diffusion générale*, Direction de l'environnement, OCDE, Paris.

OCDE (2011c), *Fostering Innovation for Green Growth*, OECD Green Growth Studies, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264119925-en*.

OCDE (2011d), *Politique d'environnement et comportement des ménages*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264096776-fr*.

OCDE (2011e), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264111332-fr*.

OCDE (2011f), *Inventory of Estimated Budgetary Support and Tax Expenditures for Fossil Fuels*, OCDE, Paris.

OCDE (2011g), *Invention et transfert de technologies environnementales*, Études de l'OCDE sur l'innovation environnementale, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264168497-fr*.

OCDE (2012), « Policy Framework for Low-Carbon, Carbon-resilient Investment: The Case of Infrastructure Development », OCDE, Paris.

OCDE/FIT (Forum international des transports) (2011), *Car Fleet Renewal Schemes: Environmental and Safety Impacts*, FIT, OCDE, Paris, *www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/11Fleet.pdf*.

Oppenheimer, M., B.C. O'Neill, M. Webster et S. Agrawala (2007), « The limits of consensus », *Science*, vol. 317, pp. 1505-1506.

Peterson, E.B., J. Schleich et V. Duscha (2011), « Environmental and Economic Effects of the Copenhagen Pledges and More Ambitious Emission Reduction Targets », *Energy Policy*, n° 39, pp. 3697-3708.

Pindyck, R.S. (2011), « Fat Tails, Thin Tails, and Climate Change Policy », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 5(2), pp. 258-274.

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) (2010), *The Emissions Gap Report: Are the Copenhagen Accord Pledges Sufficient to Limit Global Warming to 2 °C or 1.5 °C?*, PNUE, Nairobi.

PNUE (2011a), *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers*, PNUE et OMM, Nairobi.

PNUE (2011b), *Towards an Action Plan for Near-Term Climate Protection and Clean Air Benefits*, UNEP Science-Policy Brief, PNUE, Nairobi.

PNUE (2011c), *Rapport sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction – Résumé technique*, PNUE, Nairobi.

PNUE/BIT/IOE/ITUC (2008), *Emplois verts : Pour un travail décent dans un monde durable, à faibles émissions de carbone*, PNUE, Nairobi.

PwC (PricewaterhouseCoopers) (2011), *Business Leadership on Climate Change Adaptation: Encouraging Engagement and Action*, PwC, Londres, *www.pwc.co.uk/eng/publications/adapting-to-climate-change.html*.

Rahmstorf, S. (2007), « A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise », *Science*, vol. 315, pp. 368-370.

Read, P. et J. Lermit (2005), « Bioenergy with Carbon Storage (BECS): A Sequential Decision Approach to the Threat of Abrupt Climate Change », *Energy*, vol. 30(14), pp. 2654-2671.

Reuters (2011), « China to Launch Energy Cap-and-Trade Trials in Green Push », Reuters website, 5 March 2011, *www.reuters.com/article/2011/03/05/us-china-npc-energy-idUSTRE7240VX20110305*.

Rypdal, K. *et al.* (2009), « Costs and Global Impacts of Black Carbon Abatement Strategies », *Tellus B*, vol. 61(4), pp. 625-641.

Searchinger, T. *et al.* (2008), « Use of US Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases through Emissions from Land-Use Change », *Science*, vol. 319, n° 5867, pp. 1238-1240.

Serres, A. de, F. Murtin et G. Nicoletti (2010) « A framework for Assessing Green Growth Policies », *Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 774, OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kmfj2xvcmkf-en*.

Shaefer, K. *et al.* (2011), « Amount and Timing of Permafrost Carbon Release in Response to Climate Warming », *Tellus B*, vol. 63(2), pp. 165-180.

Smeets, E.M.W. *et al.* (2009), « Contribution of N_2O to the Greenhouse Gas Balance of First-Generation Biofuels », *Global Change Biology*, vol. 15(1), pp. 1-23.

Smith, P. *et al.* (2010), « Competition for land », *Phil. Trans. R. Soc. B*, vol. 365, pp. 2941-2957, doi : *http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2010.0127*.

South African Revenue Service (2010), « Customs and Excise Act, 1964, Amendment of Rules (DAR/74) », *Government Gazette*, n° 33514, à consulter sur : *www.info.gov.za/view/DownloadFileAction?id=131016*.

Stern, N. (2006), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, HM Treasury, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

Tavoni, M. et R.S.J. Tol (2010), « Counting Only the Hits? The Risk of Underestimating the Costs of a Stringent Climate Policy », *Climatic Change*, vol. 100, n° 3-4, pp. 769-778.

Townshend, T. *et al.* (2011), *The 2nd GLOBE Climate Legislation Study: A Review Of Climate Change Legislation in 17 Countries*, GLOBE International, Londres.

Vuuren, D.P. van *et al.* (2008), « Temperature Increase for 21st Century Mitigation Scenarios », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 105, n° 40, pp. 15258-15262.

Vuuren, D.P. van *et al.* (2009), « Comparison of Top-Down and Bottom-Up Estimates of Sectoral and Regional Greenhouse Gas Emission Reduction Potentials », *Energy Policy*, vol. 37(12), pp. 5125-5139.

Vuuren, D.P. van et K. Riahi (2011), « The Relationship between Short-term Emissions and Long-term Concentration Targets – A letter », *Climatic Change*, vol. 104, pp. 793-801.

Weitzman, M.L. (2009), « On Modelling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change », *Review of Economics and Statistics*, vol. 91(1), pp. 1-19.

Weitzman, M.L. (2011), « Fat-Tailed Uncertainty in the Economics of Catastrophic Climate Change », *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 5(2), pp. 275-92.

ANNEXE 3.A

Informations relatives à la modélisation sur le changement climatique

La présente annexe décrit plus précisément certaines des hypothèses sur lesquelles reposent les simulations des politiques présentées dans ce chapitre.

Le scénario de référence

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* permet d'effectuer des projections de différentes évolutions socio-économiques (résumées dans les chapitres 1 et 2) :

- Le PIB mondial devrait pratiquement quadrupler au cours des quatre prochaines décennies, dans le prolongement des 40 années écoulées et selon les projections détaillées concernant les principaux moteurs de la croissance économique. D'ici à 2050, les hypothèses indiquent que la part de la zone OCDE dans l'économie mondiale descendra à moins de 32 %, contre 54 % en 2010, alors que celle du Brésil, de la Russie, de l'Inde, de l'Indonésie et de l'Afrique du Sud (BRIICS) passera à plus de 40 %.
- D'ici à 2050, 2.2 milliards d'habitants devraient s'ajouter aux 7 milliards que compte actuellement la planète. Toutes les régions du monde devraient connaître un vieillissement de la population, mais elles se trouveront à des stades différents de cette transition démographique.
- À l'horizon 2050, on suppose que la population mondiale vivra pour près de 70 % dans des zones urbaines.
- En 2050, la demande mondiale d'énergie aura augmenté de 80 % si les politiques actuelles sont maintenues. Le bouquet énergétique mondial devrait être sensiblement le même qu'aujourd'hui, la part des énergies fossiles représentant toujours près de 85 % (de l'énergie commerciale), celle des énergies renouvelables, biocarburants compris (mais hors biomasse traditionnelle), un peu plus de 10 %, le reste étant d'origine nucléaire. Parmi les combustibles fossiles, on ne saurait dire si l'accroissement de l'offre énergétique sera plutôt imputable au charbon ou au gaz.
- Au niveau mondial, la superficie des terres agricoles devrait s'étendre durant la prochaine décennie, à un rythme toutefois plus lent. Elle devrait culminer avant 2030, la progression s'expliquant par l'augmentation des besoins alimentaires d'une population toujours plus nombreuse, pour diminuer par la suite, parallèlement au ralentissement de la croissance démographique et à l'amélioration continue des rendements. Les taux de déforestation s'orientent déjà en baisse, et cette tendance devrait se poursuivre, surtout après 2030, la demande d'expansion des terres agricoles se faisant moins pressante.

- On suppose qu'il ne sera pas adopté de nouvelles politiques climatiques mais que les politiques en place en 2010 resteront en vigueur. Le système communautaire d'échange de quotas d'émission (SCEQE, voir la section 4), par exemple, est inclus dans le *scénario de référence* jusque fin 2012 (puisque ces mesures sont déjà en vigueur). Les mesures réglementaires supplémentaires (nouvelles) de l'Union européenne ne sont pas prises en compte dans le *scénario de référence*, mais on suppose dans toutes les simulations effectuées que le paquet « Climat-énergie » de l'UE est mis en œuvre. Les mesures relatives à l'efficacité énergétique déjà en place (dans l'Union européenne comme dans d'autres pays) sont également incluses dans le *scénario de référence*.

Malgré les incertitudes dont les hypothèses restent entourées, l'évolution mondiale des émissions de GES projetée dans le *scénario de référence* se situe dans la fourchette possible définie dans un certain nombre de tentatives de comparaison (notamment celles du Programme des Nations Unies pour l'environnement – PNUE, 2010 ; du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – GIEC, 2007a, b et c ; et de l'*Energy Modelling Forum* – Clark *et al.*, 2009).

Les scénarios de stabilisation du climat à 450 ppm

La trajectoire du scénario *450 base*, déterminée par le modèle IMAGE, prévoit des dépassements ponctuels des niveaux de concentration au milieu du siècle. La trajectoire d'émissions associée est choisie de sorte que les coûts globaux nécessaires pour atteindre l'objectif sont réduits en fonction des technologies d'atténuation disponibles dans IMAGE. Le modèle ENV-Linkages s'accorde avec la trajectoire d'émissions correspondante. Dans la trajectoire *450 action accélérée*, des efforts d'atténuation plus ambitieux sont imposés pendant les premières décennies, ce qui implique dans la seconde moitié du siècle moins d'émissions négatives liées à la technologie BECCS (bioénergies avec CSC). Enfin, la trajectoire *450 action tardive* se fonde sur une fragmentation des marchés du carbone jusqu'en 2020, avec des objectifs reposant sur la fourchette haute des engagements pris dans le cadre des Accords de Copenhague et de Cancún (voir tableau 3.6 pour plus de précisions), et un marché du carbone d'envergure mondiale à compter de 2021.

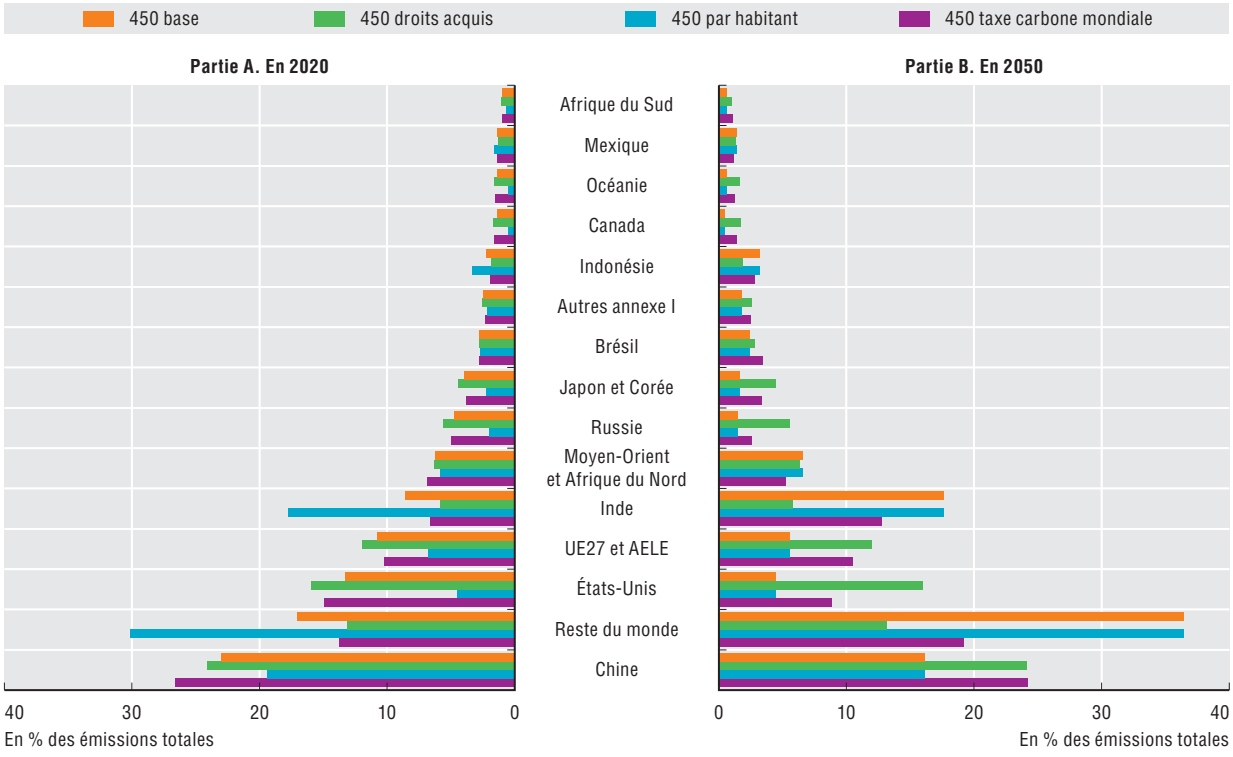
Ces scénarios supposent tous un système de répartition de la charge reposant sur la contraction et la convergence : les émissions se réduisent au cours du temps en fonction de la trajectoire mondiale, et les droits d'émission régionaux (c'est-à-dire l'attribution de quotas régionaux), en pourcentage du budget global, convergent vers des droits par habitant identiques à l'horizon 2050. Il convient de noter que, dans le scénario *450 action tardive*, le système de répartition de la charge ne s'applique qu'après 2020.

La réforme des subventions aux combustibles fossiles n'est pas intégrée dans ces scénarios, mais étudiée à part (voir p. 170).

Systèmes possibles d'attribution de droits

Les quotas régionaux utilisés pour les systèmes d'attribution de droits présentés dans l'encadré 3.9 sont repris dans le graphique 3.A1. Dans le scénario qui prévoit une taxe mondiale sur le carbone (appelé *450 taxe carbone* dans le graphique), l'attribution de droits est un résultat endogène du modèle. La règle est que l'échange de droits entre les pays ne donne lieu à aucun avantage dans ce scénario. Les autres règles prévoient que, lorsque la part des droits reçue est supérieure à celle du scénario de la taxe mondiale sur le carbone, le pays exportera des droits (et inversement).

Graphique 3.A1. **Systèmes d'attribution de droits, 2020 et 2050**



Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594218

Options technologiques dans le scénario à 450 ppm

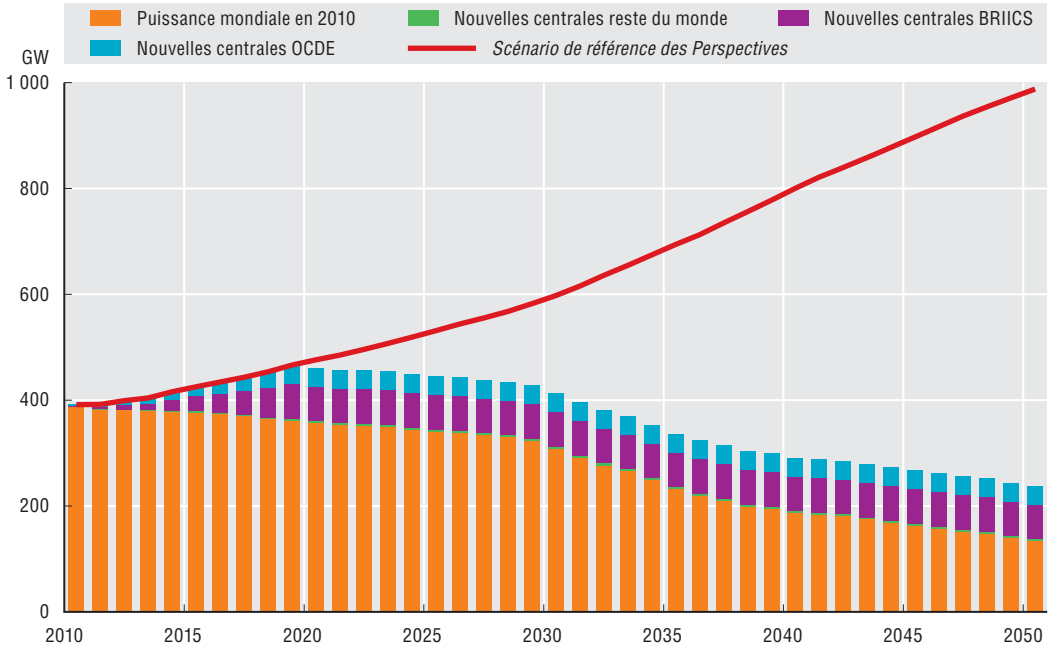
Ces scénarios intègrent des hypothèses différentes sur les technologies avancées afin d'étudier dans quelle mesure les systèmes énergétiques des différentes régions sont dépendants de ces technologies énergétiques (voir l'encadré 3.10 dans le corps du texte). Les spécifications des technologies s'appuient sur les travaux parallèles de l'*Energy Modelling Forum* (EMF24) qui utilise les deux modèles ENV-Linkages et IMAGE. Il s'agit de variantes du scénario *450 action accélérée* ; toutes les grandes technologies d'atténuation disponibles sont prises en compte, sur la base des hypothèses suivantes :

- ***Pas de CSC :*** Dans cette configuration, la CSC ne peut se développer au-delà du niveau atteint dans le *scénario de référence*. L'objectif de la CSC dans le *scénario de référence* n'est pas d'éviter les émissions dans l'atmosphère mais de permettre l'utilisation du CO_2 dans la technologie de récupération assistée du pétrole (RAP).
- Dans le scénario de ***sortie du nucléaire***, on suppose que les centrales nucléaires actuellement en construction et planifiées jusqu'en 2020 seront effectivement construites et connectées au réseau (données du *Système d'information sur les réacteurs de puissance de l'AIEA*). Ces puissances nucléaires à mi-parcours sont conformes aux projections du scénario « politiques actuelles » de l'AIE (AIE, 2009b). Après 2020, aucune nouvelle tranche nucléaire n'est autorisée, de sorte que la puissance mondiale totale en 2050 se réduit du fait de la fermeture des installations existantes telle que planifiée aujourd'hui en atteignant la limite de leur durée de vie technique. En 2020, la puissance nucléaire cumulée des nouvelles centrales des pays de l'OCDE représente un tiers du total, qui s'élève à 150 GW. Le reste de l'augmentation provient des BRIICS, la Chine seule

représentant pratiquement la moitié du total de la puissance additionnelle. Le développement du parc nucléaire dans les pays du reste du monde est négligeable. La puissance nucléaire mondiale estimée dans ce scénario atteint environ 460 GW en 2020, pour une puissance actuelle de 390 GW, et chute à 240 GW environ en 2050, résultat quatre fois inférieur à celui du scénario à 450 *ppm* (graphique 3.A2).

- Scénario ***faible efficacité énergétique et énergies renouvelables*** : les améliorations de l'efficacité dans le secteur de la production d'énergie ainsi que les gains de productivité dans les technologies renouvelables sont supposés se produire plus lentement que dans le scénario 450 *action accélérée*. Ces deux éléments sont 20 % plus faibles en 2050 que dans le *scénario de référence*, de sorte que l'adoption des mesures d'efficacité et la mise en œuvre des technologies renouvelables sont plus lentes.

Graphique 3.A2. **Puissance nucléaire installée dans le scénario *de sortie progressive du nucléaire*, 2010-2050**



Source : Projection des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuée à l'aide du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594237

Engagements pris dans le cadre des Accords de Copenhague et de Cancún

Une interprétation des engagements et objectifs décidés dans le cadre des Accords de Copenhague/Cancún est nécessaire à la spécification du scénario 450 *action tardive*, car certains engagements sont pris sous la forme d'une fourchette, laquelle dépend des mesures ou du financement d'autres pays. On manque d'informations précises sur la façon dont les pays prévoient d'atteindre leurs objectifs ou d'appliquer leurs mesures, de sorte qu'il subsiste des incertitudes sur l'ampleur des réductions d'émission à attendre dans différents secteurs, le montant des financements que fourniront les sources

internationales, et la comptabilisation des réductions d'émission au titre du respect des engagements ou des compensations :

- La méthodologie d'évaluation des engagements se fonde sur den Elzen *et al.* (2011), mais l'évaluation a été revue en fonction des projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*.
- Pour la cohérence de l'évaluation des coûts et de l'efficacité, on a converti tous les objectifs de réduction des émissions de l'annexe I en réductions par rapport à la même année de référence (1990) et exprimé toutes les mesures d'atténuation hors annexe I, y compris les objectifs d'intensité des émissions de la Chine et de l'Inde, sous forme de réductions des émissions en 2020 par rapport à un scénario de *statu quo*[1]. Cette évaluation utilise les projections du *scénario de référence* du modèle ENV-Linkages, plutôt que les bases de référence nationales utilisées par les pays dans leurs rapports ; il peut en résulter des différences significatives (c'est le cas en particulier pour l'Afrique du Sud, l'objectif de ce pays a donc été révisé pour tenir compte des différences dans les situations de référence). Conformément au cadre général de modélisation, les pays sont supposés mettre en œuvre leurs politiques par l'instauration d'un système d'échange de quotas à l'échelle de l'économie, la totalité des permis pouvant être mise aux enchères.
- Comme on manque d'informations sur la forme que pourront prendre les politiques futures de compensations, et qu'on ignore quelle place prendront ces politiques dans la mise en œuvre des engagements, l'analyse doit s'appuyer sur des hypothèses *ad hoc* concernant le niveau des compensations. Pour les pays de l'annexe I, on suppose que 20 % du total des réductions d'émission requises[2] devraient provenir des compensations internationales, avec deux exceptions : *i)* le Canada n'a actuellement aucune politique publique d'achat de compensations internationales (dans les simulations, il apparaît comme n'utilisant pas de compensations) ; et *ii)* l'Union européenne est supposée limiter les compensations à 4 points de pourcentage (pour les objectifs de réduction de 20 %, cela équivaut à l'hypothèse par défaut de 20 %, mais l'engagement plus ambitieux de réduction de 30 % correspond à un pourcentage de compensation de 13 % des exigences d'atténuation). Les compensations sont supposées être pleinement internationales et flexibles entre les pays ne figurant pas à l'annexe I. En outre, les réductions des émissions dans les pays non inscrits à l'annexe I ne peuvent être comptées deux fois, c'est-à-dire prises en compte à la fois dans les engagements nationaux et dans les ventes sur le marché international des compensations. La valeur par défaut de 20 % est modifiée dans l'analyse de sensibilité.
- Pour compter les quotas provenant de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie (UTCATF), on part de l'hypothèse que les pays de l'annexe I vont se servir du système de comptabilisation « net net », en prenant l'année 2020 comme année de référence[3]. On se sert de la projection du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* pour les émissions UTCATF pour calculer le volume de quotas. Il en résulte des quotas supplémentaires pour la plupart des pays de l'annexe I. Il convient de noter que les règles actuelles du protocole de Kyoto concernant la comptabilité associée aux émissions UTCATF sont plus souples et impliqueraient ainsi plus de quotas provenant de ce secteur, moins de réductions d'émission dans les autres secteurs et des coûts inférieurs à court terme. Les pays non inscrits à l'annexe I utilisent les activités REDD pour satisfaire à leurs engagements, mais celles-ci sont exclues du système international de compensation.

- Le financement international des mesures d'atténuation dans les pays ne figurant pas à l'annexe I est supposé ne concerner que le Brésil, le Mexique et l'Afrique du Sud. La Chine, l'Inde et l'Indonésie ont explicitement annoncé que leurs mesures étaient unilatérales et on suppose que le Moyen-Orient et les régions du reste du monde n'ont pas pris d'engagement. Par défaut, on suppose que 50 % des coûts nationaux sont compensés par les pays de l'annexe I, mais une analyse de sensibilité fait varier ce pourcentage.
- Certains pays sont susceptibles d'avoir des niveaux d'émission inférieurs à leurs objectifs pour la période d'engagement actuelle du protocole de Kyoto (2008-12) ; il en résulte des surplus d'unités de quantité attribuée (UQA). Selon les projections du *scénario de référence*, le surplus d'UQA est estimé à 6.5 Gt éq.-CO_2 pour la Russie, à 1.9 Gt éq.-CO_2 pour le reste de l'Europe (l'Ukraine essentiellement) et à 0.7 Gt éq.-CO_2 pour l'Union européenne et l'Association européenne de libre-échange (AELE). L'existence de surplus d'UQA dans la période post-2012 permettrait effectivement des émissions plus importantes que dans le cas contraire (voir den Elzen *et al.*, 2011, pour de plus amples informations) et réduirait ainsi le coût des mesures. L'impact des surplus potentiels d'UQA dépend en partie des hypothèses concernant l'utilisation des unités d'une période comptable à l'autre. Par défaut, on part de l'hypothèse qu'aucun de ces surplus d'UQA ne sera utilisé au cours la période 2013-20. Une analyse de sensibilité fait varier cet élément pour la Russie et le reste de l'Europe, mais les surplus constatés pour l'Union européenne et l'AELE ne sont utilisés dans aucune simulation car l'Union européenne a déclaré qu'elle n'y aurait pas recours[4].
- Les objectifs non contraignants de la Russie et des autres régions de l'annexe I pour la période 2013-20 leur confèrent aussi une certaine latitude pour vendre des permis sans entreprendre d'actions d'atténuation supplémentaires, lorsque l'échange de permis à l'échelle internationale est autorisé dans les simulations.

Suppression des subventions aux combustibles fossiles

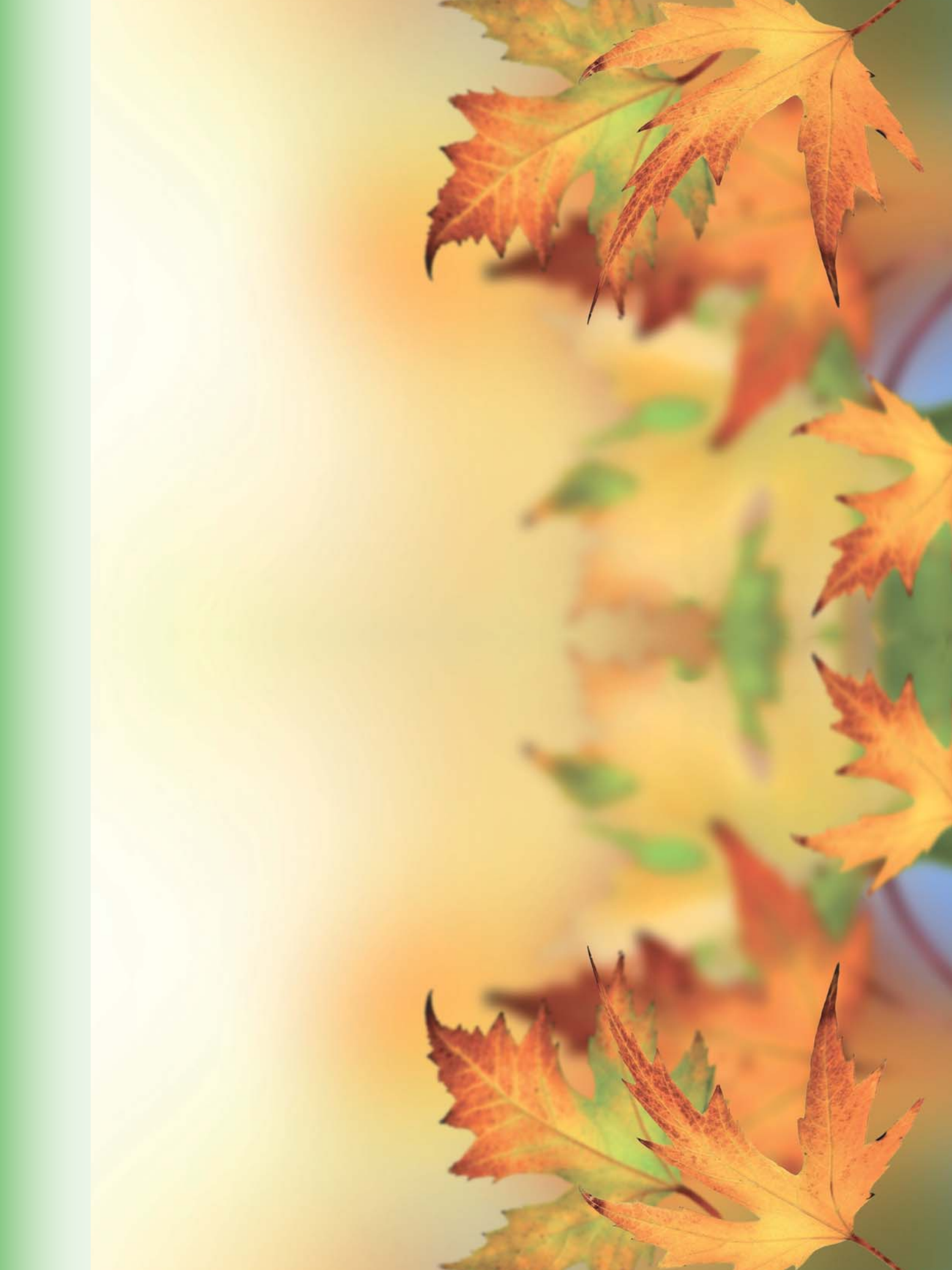
Ce scénario (examiné à la section 4 du corps du texte) se fonde sur l'analyse de la réforme des subventions aux combustibles fossiles dans les pays du G20. Le *scénario de référence* du modèle ENV-Linkages a été mis à jour à l'aide des dernières données de l'AIE sur les subventions à la consommation de combustibles fossiles pour l'année 2009 (pour les économies en développement). Les écarts de prix de l'énergie calculés par l'AIE (2010) ont été introduits dans le modèle ENV-Linkages sous forme de pourcentage correspondant à l'écart entre les prix à la consommation et les prix de référence ou mondiaux. Un écart négatif est donc considéré comme un taux de subvention. Depuis 2010, cette base de données de l'AIE couvre 37 pays, dont 35 non membres et deux membres de l'OCDE, pour les années 2007-09 (AIE, 2009b)[5]. Ces écarts de prix ne concernent que la consommation d'énergie d'origine fossile mais font la différence entre les taux de TVA et les taux de subvention. Dans les projections du *scénario de référence* ENV-Linkages, on suppose que les subventions et la TVA restent constantes en pourcentage de 2009 à 2050. Comme les taux de subvention de 2009 sont inférieurs aux taux de 2008 utilisés dans Burniaux et Chateau (2011), on peut considérer que le nouveau *scénario de référence* prend en compte les réformes des subventions aux combustibles fossiles entreprises au cours de l'année 2009.

Dans les simulations concernant les réformes générales des subventions, les taux de subvention sont graduellement diminués sur une période allant de 2013 à 2020. Deux expériences sont réalisées. La première simulation prévoit une réforme multilatérale isolée portant sur les combustibles fossiles dans les 37 pays de la base de données de l'AIE, sans mesures d'atténuation par ailleurs (et aucun SCEQE après 2012) ; il s'agit d'une actualisation

de la simulation du rapport du G20. La seconde simulation associe ces réformes des subventions aux combustibles fossiles au scénario d'atténuation 450 *base*. Elle permet d'évaluer l'importance de la réforme des subventions aux combustibles fossiles alors que les fuites de carbone sont partiellement stoppées par l'ensemble des mesures d'atténuation.

Notes

1. Comme on s'attend à ce que l'impact des politiques sur le PIB soit relativement faible en Chine et en Inde, on peut établir un objectif d'intensité approximatif au moyen d'un plafond absolu sur les émissions.
2. La limite de 20 % sur les compensations dans la plupart des régions de l'annexe I est conforme à l'hypothèse formulée dans OCDE (2009a).
3. Il existe une exception dans l'hypothèse où les engagements les moins ambitieux sont mis en œuvre et où aucun crédit UTCATF n'est envisagé pour l'Union européenne et l'Association européenne de libre-échange.
4. Dans l'autre hypothèse, le surplus est progressivement utilisé à mesure que les objectifs de réduction deviennent plus stricts, ainsi 22 % des surplus sont mis sur le marché en 2020. Ce résultat va à l'encontre d'autres modèles qui supposent que la même quantité de surplus d'UQA sera utilisée chaque année entre 2013 et 2020 (voir PNUE, 2010).
5. Iran, Russie, Arabie Saoudite, Inde, Chine, Égypte, Venezuela, Indonésie, Ouzbékistan, Émirats arabes unis, Irak, Koweït, Argentine, Pakistan, Ukraine, Algérie, Thaïlande, Malaisie, Turkménistan, Bangladesh, Mexique, Afrique du Sud, Qatar, Libye, Équateur, Kazakhstan, Viêtnam, Taipei chinois, Azerbaïdjan, Nigeria, Angola, Colombie, Brunei, Corée, Philippines, Sri Lanka, Pérou.



© OCDE 2012

Chapitre 4

Biodiversité

par
Katia Karousakis, Mark van Oorschot (PBL), Edward Perry, Michel Jeuken (PBL), Michel Bakkenes (PBL), avec le concours de Hans Meijl et Andrzej Tabeau (LEI)

Le recul de la biodiversité représente l'un des principaux défis environnementaux auxquels est confrontée l'humanité. Malgré des progrès ici et là, la biodiversité mondiale s'appauvrit et devrait continuer de s'appauvrir selon les projections. La poursuite des tendances actuelles pourrait avoir des conséquences néfastes profondes pour le bien-être des individus et leur sécurité, ainsi que pour la croissance économique. Ce chapitre commence par récapituler les bienfaits considérables et la valeur souvent cachée de la biodiversité et des écosystèmes dont elle fait partie intégrante. Il examine ensuite l'évolution de plusieurs indicateurs de la biodiversité – abondance moyenne des espèces (AME), espèces menacées, superficie forestière (déboisement) et stocks halieutiques marins – et les conséquences qu'aurait la poursuite des tendances actuelles jusqu'en 2050 selon le scénario de référence *des* Perspectives de l'environnement de l'OCDE. *Puis, il propose un tour d'horizon des moyens d'action envisageables pour assurer la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité, qui vont des approches réglementaires aux instruments économiques tels que les paiements pour services écosystémiques. Plusieurs scénarios tablant sur des politiques plus ambitieuses sont ensuite analysés, entre autres pour examiner les conséquences qu'aurait la réalisation de l'Objectif d'Aichi adopté dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique, qui consiste à porter la superficie du réseau d'aires protégées à au moins 17 % des terres émergées du globe d'ici à 2020. Le chapitre se penche également sur les synergies possibles et les arbitrages à prévoir entre la poursuite des objectifs climatiques (au travers de différents scénarios en matière de bioénergies et d'utilisation des terres, par exemple) et la protection de la biodiversité. Il se termine par une analyse des principaux besoins de mesures supplémentaires en faveur de la biodiversité et de la façon dont ils s'articulent avec le programme d'action plus général en faveur de la croissance verte.*

MESSAGES CLÉS

La biodiversité – la diversité des organismes vivants – est en déclin à l'échelle mondiale. Cet appauvrissement ainsi que la dégradation des écosystèmes et des services qu'ils fournissent représentent aujourd'hui l'un des principaux défis environnementaux auxquels est confrontée l'humanité. La poursuite des tendances actuelles aura des répercussions dommageables et coûteuses sur le bien-être des individus, leur sécurité et la croissance économique. Pour les inverser, il faudra une réponse plus cohérente, coordonnée et stratégique, portée par un engagement politique fort et une plus large participation des parties prenantes. Une panoplie de mesures homogène, complète et détaillée sera nécessaire pour soutenir la croissance économique et le développement tout en encourageant la conservation de la biodiversité, de sorte qu'elle continue de fournir les ressources et les services écosystémiques dont dépend notre bien-être.

Tendances et projections

Biodiversité et écosystèmes naturels



Selon les projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, si les tendances actuelles se poursuivent, la **biodiversité** (mesurée comme l'abondance moyenne des espèces terrestres) diminuera d'environ 10 % entre 2010 et 2050 dans le monde, et son recul sera particulièrement marqué dans certaines régions d'Asie, d'Europe et d'Afrique australe. Ces pertes seront imputables principalement à la gestion et aux changements d'affectation des terres (au profit des pâturages, des cultures vivrières, des bioénergies, etc.), à l'exploitation commerciale des forêts, au développement des infrastructures, à l'empiètement et au morcellement des habitats, à la pollution (dépôts d'azote, par exemple) et au changement climatique.



Les perturbations subies par les écosystèmes peuvent provoquer des dommages irréversibles, avec à la clé des conséquences sociales, environnementales et économiques négatives. Étant donné que la **dynamique non linéaire complexe des écosystèmes** n'est pas encore bien comprise et que des **incertitudes** entourent les seuils correspondants, la poursuite de l'érosion de la biodiversité présente des risques significatifs et appelle une approche de précaution.



Les **espèces exotiques envahissantes** sont considérées comme un important facteur d'érosion de la biodiversité à travers le monde. Les pressions qu'elles exercent devraient s'amplifier dans les prochaines décennies.



Selon le *scénario de référence*, la **superficie des espaces naturels convertis en terres agricoles** baissera après 2030 sous l'effet de l'amélioration de la productivité, de la stabilisation de la démographie et de la modification des régimes alimentaires, de sorte que les pressions exercées sur la biodiversité et les écosystèmes seront atténuées. Néanmoins, les effets sur la biodiversité persisteront pendant des décennies après la mise hors production des terres.

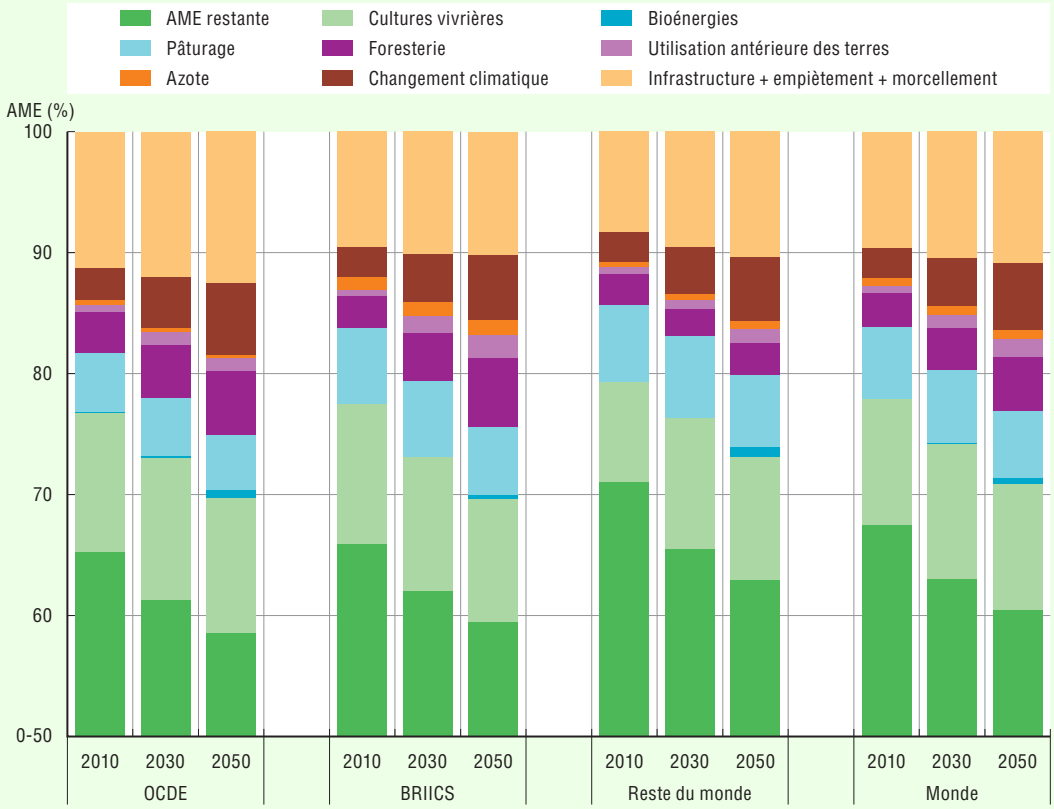


Au niveau mondial, les **aires protégées** ont progressé en nombre et en superficie et couvrent aujourd'hui près de 13 % des terres émergées du globe. Cependant, les prairies, savanes et broussailles tempérées ainsi que les écosystèmes marins sont sous-représentés parmi ces aires, et seuls 7.2 % environ des mers territoriales ont été déclarées aires marines protégées.



Un nouveau programme de mesures en faveur de la biodiversité a été adopté en 2010 à la 10e Conférence des Parties à la **Convention sur la diversité biologique** (CDB). Les Parties ont approuvé un *Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 et les Objectifs d'Aichi* relatifs à la diversité biologique à l'horizon 2020, une Stratégie de mobilisation des ressources et le protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation.

Effets de différents facteurs de pressions sur l'abondance moyenne des espèces terrestres : *scénario de référence*, de 2010 à 2050



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594313

Forêts

Les **forêts primaires**, qui sont généralement celles qui abritent la biodiversité la plus riche, ont cédé du terrain, et le *scénario de référence* prévoit que leur superficie continuera de diminuer régulièrement dans toutes les régions d'ici à 2050.

Depuis peu, le rythme auquel progresse le **déboisement dans le monde** s'est ralenti. Selon le *scénario de référence*, la superficie forestière mondiale ne devrait plus diminuer après 2020 et devrait s'accroître d'ici à 2050 grâce à la régénération et à la restauration des forêts, au reboisement et au boisement (y compris les forêts plantées), principalement dans les pays de l'OCDE et les grandes économies émergentes. Cependant, l'expansion des superficies forestières ne contribue pas toujours à atténuer la perte de biodiversité, car elle correspond à un accroissement des forêts commerciales ou plantées, moins riches en biodiversité.

Ressources halieutiques

La proportion des stocks de poissons surexploités ou épuisés a augmenté au cours des dernières décennies. Aujourd'hui, plus de 30 % des stocks halieutiques marins sont surexploités ou épuisés, environ 50 % sont pleinement exploités et moins de 20 % offrent des possibilités d'accroissement des prélèvements.

Besoin d'actions et options possibles

- **Adopter des mesures plus ambitieuses** à l'appui des plans, objectifs et stratégies convenus au niveau international, comme les Objectifs d'Aichi définis dans le cadre de la CDB, qui visent à faire en sorte que les aires protégées couvrent 17 % des zones terrestres et des eaux intérieures et 10 % des zones marines et côtières d'ici à 2020. Selon les simulations réalisées pour les *Perspectives*, atteindre l'objectif de 17 % en assurant la représentativité écologique des aires protégées nécessitera de protéger 9.8 millions km^2 de terres supplémentaires.
- **Intégrer systématiquement la préservation de la biodiversité et son utilisation durable à d'autres domaines de l'action publique** (économie, agriculture, pêche, forêts, aménagement du territoire et urbanisme, coopération pour le développement, changement climatique, comptabilité nationale, recherche-développement, etc.), afin de renforcer les synergies et de prévenir les incompatibilités. Par exemple, certaines stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre sont plus bénéfiques pour la biodiversité que d'autres. Une stratégie qui privilégie largement les bioénergies peut imposer un accroissement de la superficie agricole peu propice à la biodiversité. À l'inverse, le mécanisme de financement de la réduction des émissions de carbone liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD) dans les pays en développement pourrait avoir des effets favorables sur la biodiversité.
- **Supprimer et réformer les subventions dommageables pour l'environnement,** notamment celles qui encouragent, sans prendre en compte l'environnement, l'intensification de l'activité ou l'expansion géographique de secteurs économiques tels que l'agriculture, les bioénergies, la pêche, la sylviculture et les transports. Une réforme des subventions peut par ailleurs renforcer l'efficience économique et réduire les pressions pesant sur les budgets publics.
- **Développer l'engagement du secteur privé dans la préservation et l'utilisation durable de la biodiversité,** y compris au travers de mécanismes de financement innovants établis aux niveaux local, national et international. Il convient de mettre en place, eu égard à l'utilisation des ressources naturelles et à la pollution, des signaux de prix clairs qui offrent un degré de certitude tout en laissant au secteur privé suffisamment de souplesse pour déterminer les moyens les plus efficaces par rapport au coût de réduire son incidence sur les écosystèmes.
- **Améliorer quantitativement et qualitativement les données** disponibles pour étayer les politiques en matière de biodiversité (aux niveaux local, régional et mondial), et continuer de progresser dans le domaine de l'évaluation économique de la biodiversité et des services écosystémiques.

1. Introduction

Le recul de la biodiversité représente aujourd'hui l'un des principaux défis environnementaux auxquels est confrontée l'humanité. Malgré des progrès ici et là, la biodiversité mondiale s'appauvrit et devrait continuer de s'appauvrir selon les projections. La poursuite des tendances actuelles pourrait avoir des conséquences néfastes profondes pour le bien-être des individus et leur sécurité, ainsi que pour la croissance économique.

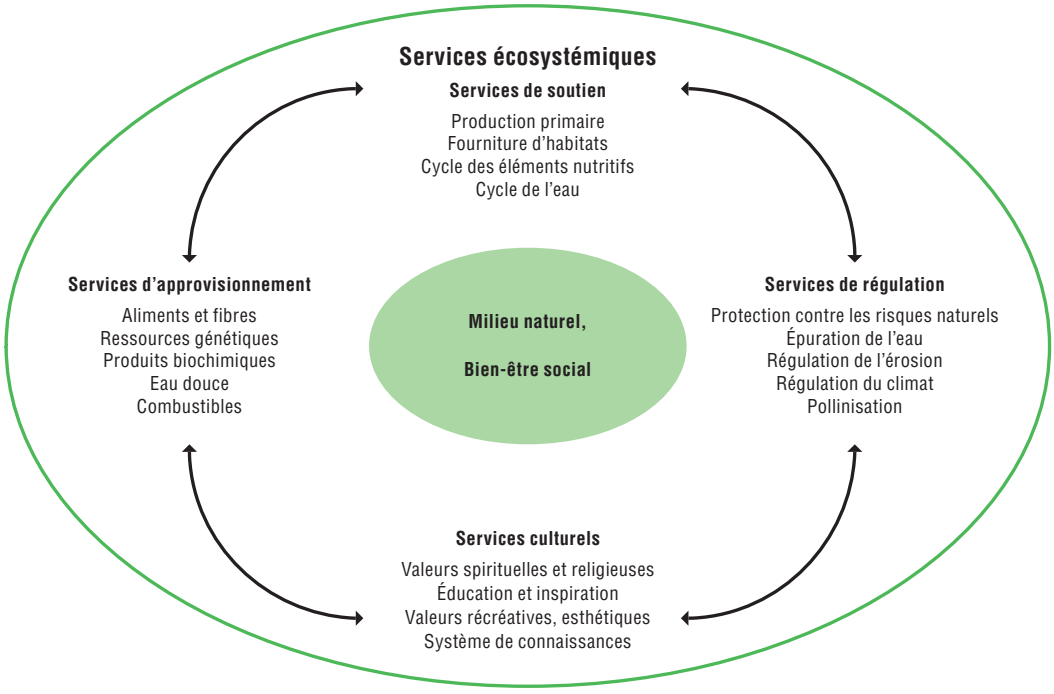
Ce chapitre commence par récapituler les bienfaits considérables et la valeur souvent cachée de la biodiversité et des écosystèmes dont elle fait partie intégrante. Il examine ensuite les tendances actuelles concernant plusieurs aspects de la biodiversité – abondance des espèces, espèces menacées, superficie forestière et stocks halieutiques marins – et les conséquences qu'aurait la poursuite de ces tendances jusqu'en 2050. Puis, il propose un tour d'horizon des lignes d'action envisageables pour assurer la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité, qui vont des approches réglementaires aux stratégies fondées sur le jeu du marché. Plusieurs scénarios tablant sur des politiques plus ambitieuses sont ensuite exposés, entre autres pour examiner les conséquences qu'aurait la réalisation du nouvel objectif international qui prévoit de porter la superficie des aires protégées à 17 % des terres émergées. Enfin, le chapitre se termine par une analyse des principaux besoins de mesures supplémentaires en faveur de la biodiversité et de la façon dont ils s'articulent avec le programme d'action plus général en faveur de la croissance verte (voir le chapitre 1).

La biodiversité, un système invisible indispensable à la vie sur Terre

La biodiversité est définie comme la « variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes » (article 2 de la Convention sur la diversité biologique). La biodiversité et les écosystèmes fournissent aux individus et au milieu naturel des services inestimables (et largement sous-évalués) aux niveaux local, national et international. En 2005, l'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (EM) a recensé quatre types de services écosystémiques – services de régulation, de soutien, d'approvisionnement et culturels – qui ensemble assurent des fonctions essentielles à la vie (graphique 4.1).

Les avantages procurés par ces services sont rendus par la notion de valeur économique totale (VET), qui englobe les valeurs d'usage et de non usage, tant directes qu'indirectes (encadré 4.1). En l'occurrence, la biodiversité et les services écosystémiques ont une forte VET. À titre d'exemple, la valeur économique mondiale des services de pollinisation assurés par les insectes pollinisateurs a été estimée à 192 milliards USD pour l'année 2005 (Gallai *et al.*, 2009). La valeur en première vente des captures mondiales de poisson est de près de 94 milliards USD par an (FAO, 2010a), et la valeur nette des récifs coralliens de la planète pour les pêcheries, la protection des côtes, le tourisme et la biodiversité est estimée à 30 milliards USD par an (PNUE, 2007). En outre, le commerce mondial des espèces sauvages,

Graphique 4.1. **Les quatre composantes de la biodiversité et des services écosystémiques**



Source : OCDE (2010a), *Payer pour la biodiversité : Améliorer l'efficacité–coût des paiements pour services écosystémiques*, Éditions OCDE.

Encadré 4.1. **Les éléments de la valeur économique totale de la biodiversité**

La notion de valeur économique totale (VET) englobe une série de valeurs d'usage et de non-usage.

- Les valeurs d'usage sont tirées directement de la biodiversité sous la forme de biens consommables (denrées alimentaires et bois, par exemple) et indirectement sous la forme de services non consommables (régulation du climat, par exemple).
- Les valeurs de non-usage comprennent les valeurs d'existence, de legs et d'option :
  - La valeur d'existence correspond aux avantages que les individus tirent du fait de savoir que la biodiversité existe.
  - La valeur de legs mesure les avantages que les individus tirent du fait de savoir qu'elle sera disponible pour les générations futures.
  - La valeur d'option reflète le prix attaché par les individus à la sauvegarde des possibilités d'utilisation future, tout comme l'espoir que les progrès de la connaissance révèlent dans l'avenir de nouvelles valeurs d'usage et de non-usage (par exemple, à des fins pharmaceutiques).

Source : OCDE (2002), *Manuel d'évaluation de la biodiversité : Guide à l'intention des décideurs*, Éditions OCDE.

hors échanges commerciaux à grande échelle dans les secteurs de la pêche et du bois d'œuvre, est estimé à 15 milliards USD par an (OCDE, 2008a). Selon certaines estimations, la perte globale d'avantages procurés par la biodiversité et les services écosystémiques qui résulte de la réduction des superficies forestières dans le monde représente entre 2 000 et 5 000 milliards USD par an (TEEB, 2009).

L'insuffisance des financements en faveur de la biodiversité

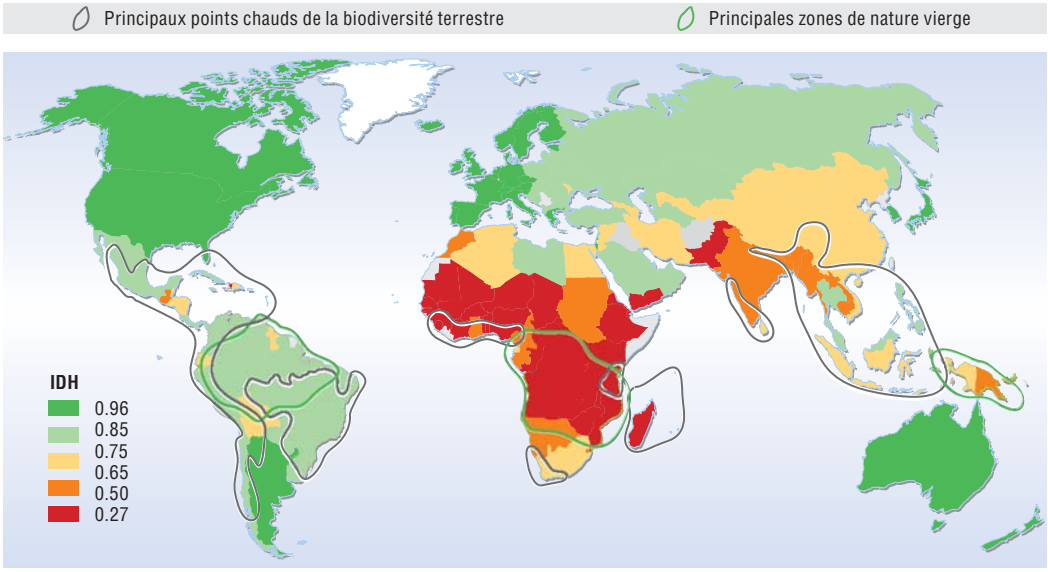
La valeur (ou les avantages) de la biodiversité et des services écosystémiques constitue un argument puissant en faveur de l'investissement dans leur conservation et leur utilisation durable. S'il est difficile d'estimer tant les financements nécessaires pour assurer un niveau optimal de biodiversité et de services écosystémiques que les flux financiers existants, il est néanmoins clair que le déficit est vaste. Le niveau actuel des flux financiers en faveur de la biodiversité est estimé à un montant compris entre 36 et 38 milliards USD par an, dont la moitié environ est utilisée au niveau national dans l'Union européenne, aux États-Unis et en Chine (Parker et Cranford, 2010).

Les besoins de financement varieront en fonction du niveau d'ambition affiché. Selon l'une des estimations, il faudrait entre 18 et 27.5 milliards USD de plus chaque année pour établir un vaste réseau d'aires protégées couvrant 10 à 15 % de la surface émergée du globe, et encore 290 milliards USD pour la protection de la nature en dehors des aires protégées (James *et al.*, 2001). Si l'on poursuivait un objectif plus ambitieux – 15 % des terres émergées et 30 % des océans – il en coûterait selon les estimations 45 milliards USD par an sur 30 ans (Balmford *et al.*, 2002). À partir de ces études, Berry (2007) estime qu'une somme comprise entre 355 et 385 milliards USD par an serait nécessaire afin de financer des mesures additionnelles d'adaptation au changement climatique pour les aires terrestres et marines protégées et les matrices paysagères plus généralement. Ces estimations peuvent certes paraître élevées, mais le coût de l'inaction dans de nombreux domaines est lui aussi considérable.

Le vaste déficit de financement en matière de biodiversité est aggravé par le fait que la plupart des zones riches en biodiversité se situent dans les pays en développement, qui sont les moins bien lotis pour financer des mesures de protection et où les pressions en faveur de la réaffectation des terres à d'autres usages sont généralement fortes (graphique 4.2).

L'année 2010 a été politiquement importante pour la biodiversité. Elle a marqué le point culminant des efforts entrepris pour atteindre l'objectif adopté en 2002 par les Parties à la Convention sur la diversité biologique (CDB), à savoir : « réduire de manière significative le rythme actuel de perte de diversité biologique ». Cependant, il est largement admis que cet objectif n'a pas été atteint. Compte tenu des défis à relever et de la nécessité de mener des actions supplémentaires, l'Assemblée générale des Nations Unies a déclaré 2010 Année internationale de la biodiversité, puis la période 2011-20 Décennie des Nations Unies pour la diversité biologique. En 2012, la Conférence des Nations Unies sur le développement durable, ou Conférence Rio + 20, offrira une autre occasion d'obtenir des engagements renouvelés en faveur de la conservation et de l'utilisation durable de la biodiversité, de mettre en évidence son importance pour le bien-être humain et le développement dans le contexte d'une croissance verte, et de dégager des synergies entre les trois Conventions de Rio[1].

Graphique 4.2. **Rapport entre zones de biodiversité et développement humain**[1]



Notes : Pour être qualifiée de point chaud de la biodiversité, une région doit satisfaire à deux critères stricts : compter au moins 1 500 espèces de plantes vasculaires endémiques (plus de 0.5 % du total mondial), et avoir perdu au moins 70 % de son habitat originel. Les principales zones de nature vierge sont considérées comme des zones de biodiversité s'il reste 75 % de la végétation originale intacte et si la densité de population est faible (moins de 5 habitants/km^2). Les zones de nature vierge reposent dans une large mesure sur les écorégions terrestres mondiales (voir Olson *et al.*, 2001).

1. Mesuré à l'aune de l'indicateur du développement humain (IDH), qui est un indicateur composite servant à classer les pays en fonction de leur niveau de développement humain. Il prend en compte l'espérance de vie, l'alphabétisation, la scolarisation et le niveau de vie des pays. Plus la valeur de l'indicateur est faible, moins le pays est développé.

Source : Ahlenius, H. (2004), *Global Development and Biodiversity*, UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library, d'après des données du PNUD (2004) et de Conservation International (2004), *http://maps.grida.no/go/graphic/global-development-and-biodiversity*.

2. Grandes tendances et projections

Tendances passées et présentes

Bien qu'il n'existe pas d'outil unique et complet pour mesurer, surveiller et évaluer la situation de la biodiversité, les Parties à la CDB ont adopté un ensemble de 17 indicateurs clés pour évaluer les progrès accomplis vers les objectifs définis pour 2010 et rendre compte des tendances en matière de biodiversité[2]. Ces indicateurs incluent les types et l'étendue des forêts, la superficie des aires protégées, la modification de l'état des espèces menacées, les zones bénéficiant d'une gestion durable, les espèces exotiques envahissantes et l'indice trophique marin[3]. Les sections suivantes analysent des données relatives à l'abondance des espèces, aux espèces menacées, à la superficie forestière et aux stocks halieutiques – qui comptent parmi les quelques indicateurs disponibles à l'échelle mondiale sur une longue période.

Abondance des espèces

L'abondance désigne la taille de la population de chaque espèce. Deux indicateurs communément utilisés pour évaluer son évolution sont l'abondance moyenne des espèces (AME) et l'Indice planète vivante (IPV). L'AME mesure les variations de la population des espèces par rapport à des écosystèmes intacts ou restés dans leur état originel. Elle est

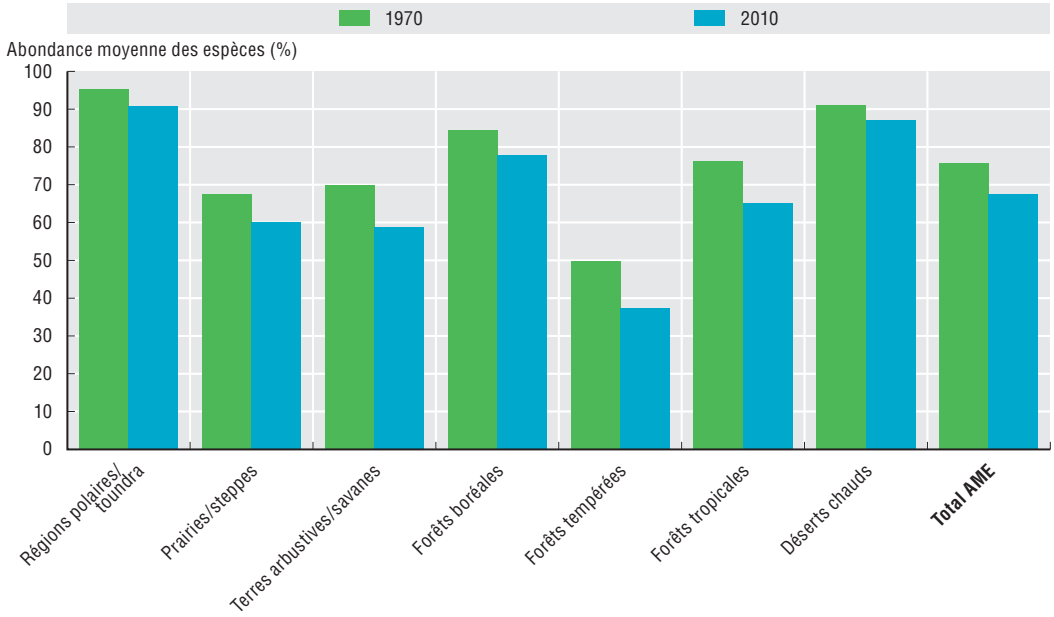
déterminée par l'intensité des pressions d'origine humaine, en fonction des relations dose-réponse qui ont été établies entre ces pressions et l'AME (Alkemade *et al.*, 2009)[4]. L'IPV se fonde quant à lui sur l'évolution observée de près de 8 000 populations représentant plus de 2 500 espèces de vertébrés (mammifères, oiseaux, reptiles, amphibiens et poissons). Il représente l'indice agrégé des variations des effectifs de chaque espèce depuis 1970, année de référence à laquelle est attribuée la valeur 1 (WWF, ZSL et GFN, 2010).

Comme le montrent les graphiques 4.3 et 4.4, ces deux indicateurs semblent indiquer un recul de l'abondance des espèces à l'échelle mondiale. En l'occurrence, l'AME mondiale a baissé de près de 11 % entre 1970 et 2010. Bien entendu, cette diminution n'est pas répartie également sur l'ensemble des biomes[5] (graphique 4.3), et le recul de l'AME est particulièrement marqué dans les forêts tempérées (–24 %) et, dans une mesure moindre, dans les forêts tropicales (–13 %) et les savanes et broussailles (–16 %)[6]. Selon l'IPV, la période 1970-2007 a vu l'abondance mondiale des espèces vertébrées décroître de 30 % (graphique 4.4)[7].

Espèces menacées

L'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources (UICN) tient une liste rouge des espèces menacées dans laquelle les espèces sont réparties en plusieurs catégories : préoccupation mineure, quasi menacées, vulnérables, en danger, en danger critique d'extinction et éteintes. Elle a aussi élaboré un Indice liste rouge afin de mesurer l'évolution du risque d'extinction pour quatre ensembles d'espèces : coraux, oiseaux, mammifères, amphibiens (graphique 4.5). Il indique la proportion d'espèces qui devraient survivre dans un proche avenir sans mesure de protection supplémentaire.

Graphique 4.3. **Abondance moyenne des espèces dans le monde par biome, 1970-2010**

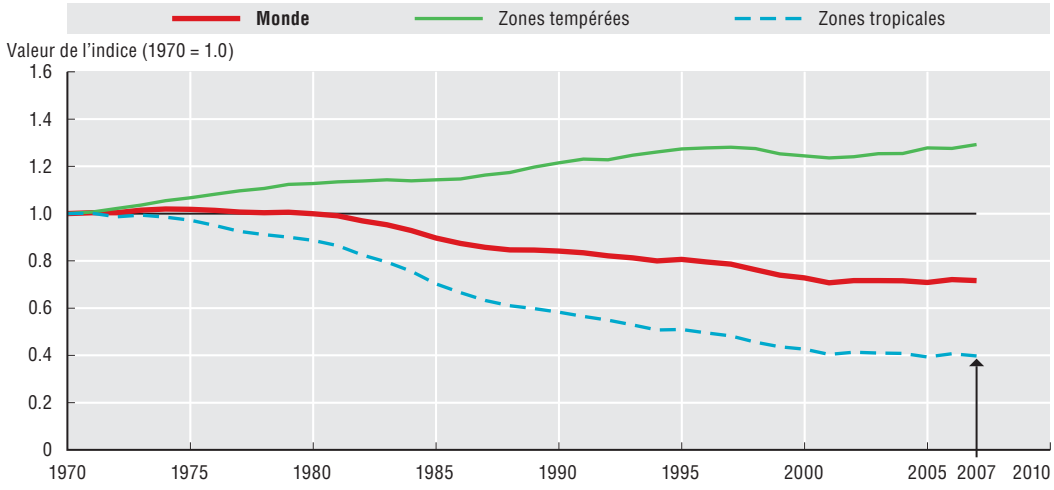


Note : Une AME de 100 % correspond à l'absence de perturbation. Une AME en baisse dénote une intensification des pressions d'origine humaine exercées sur les écosystèmes et, partant, un éloignement des écosystèmes de leur état intact ou naturel initial.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

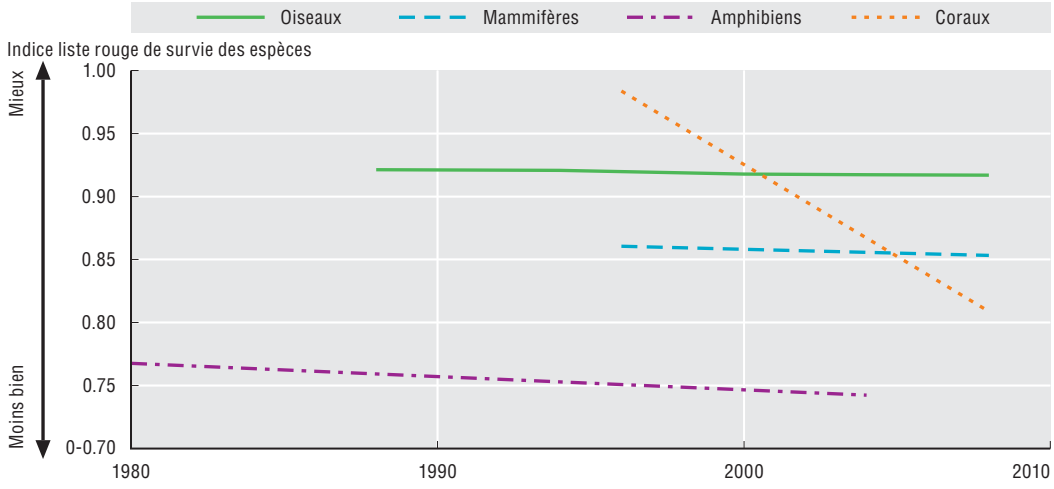
StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594256

Graphique 4.4. **Indice planète vivante, 1970-2007**



Source : Loh *et al.* (2010), « Monitoring Biodiversity – the Living Planet Index », *in* WWF, ZSL et GFN (2010), *Living Planet Report 2010*, WWF, Gland, Suisse.

Graphique 4.5. **Espèces menacées : l'indice liste rouge**



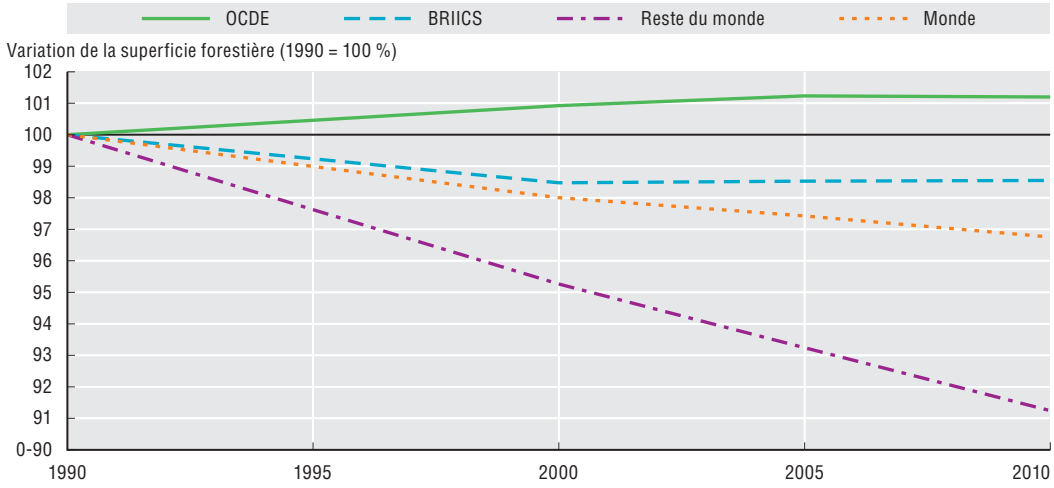
Source : Hilton-Taylor *et al.* (2008), « L'état des espèces dans le monde », *in* J.C. Vié, C. Hilton-Taylor et S.N. Stuart (dir. pub.), *La Liste rouge de l'UICN des espèces menacées : Analyse de la Liste 2008*, UICN, Gland, Suisse.

L'indice est calculé à partir du nombre d'espèces figurant dans chaque catégorie de la liste rouge et du nombre d'espèces qui ont changé de catégorie suite à une modification réelle de leur statut[8]. En l'occurrence, la situation des quatre ensembles d'espèces considérés s'est dégradée depuis 1980. Les amphibiens sont le groupe qui est actuellement le plus menacé, et les coraux celui dont la situation se détériore le plus rapidement.

Superficie forestière

En règle générale, les forêts sont caractérisées par une grande diversité et rendent une multitude de services écosystémiques, tels que la fourniture d'habitats naturels, le piégeage du carbone, la régulation des ressources en eau et la prévention de l'érosion. L'étendue des forêts[9] constitue donc un indicateur important de la biodiversité de la planète. Entre 1990 et 2010, la superficie forestière mondiale a diminué, passant de 41.7 millions km^2 à 40.3 millions km^2

Graphique 4.6. **Évolution du couvert forestier dans le monde, 1990-2010**



Note : BRIICS = Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine, Afrique du Sud.

Source : FAO (2010b), *Evaluation des ressources forestières mondiales* 2010, FAO, Rome ; données issues des tableaux mondiaux : *www.fao.org/forestry/fra/fra2010/fr/*.

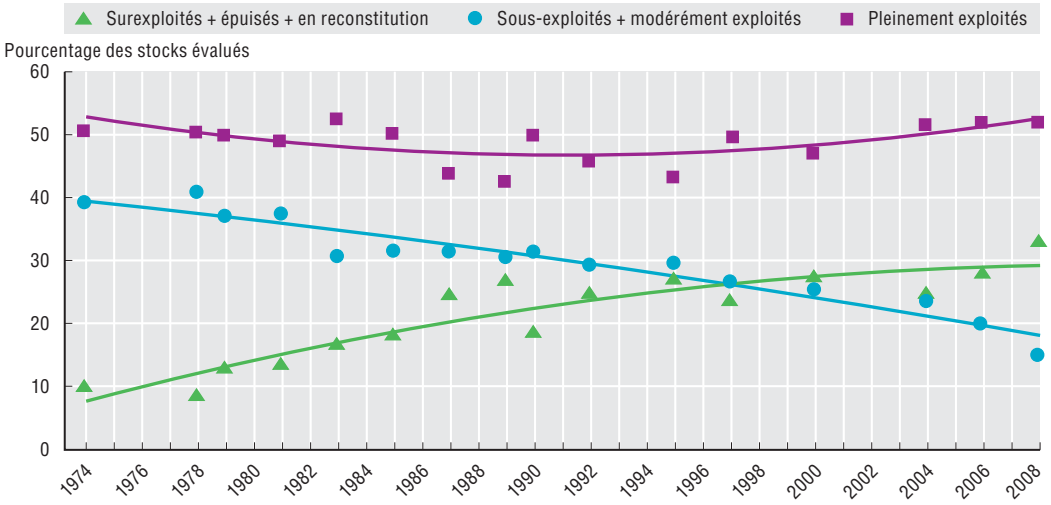
(graphique 4.6). Si le déboisement reste un sujet de préoccupation, son rythme annuel ralentit cependant : entre 2000 et 2010, chaque année, environ 130 000 km^2 de forêts ont été réaffectés à d'autres usages ou ont disparu sous l'effet de phénomènes naturels, contre 160 000 km^2 par an dans les années 90 (FAO, 2010b). Le taux de perte de forêts primaires a diminué, passant de 60 000 km^2 par an entre 1990 et 2000 à 40 000 km^2 par an entre 2000 et 2010 (FAO, 2006 ; 2010b).

Aujourd'hui, les forêts primaires représentent 36 % du couvert forestier total, contre 57 % pour les « autres forêts naturellement régénérées » et 7 % pour les forêts plantées (FAO, 2010b). La superficie totale des forêts plantées s'est accrue d'environ 50 000 km^2 par an depuis cinq ans, principalement sous l'effet des activités de boisement (établissement de forêts par plantation et/ou ensemencement délibéré sur des terres qui n'étaient pas jusque-là classifiées comme forêt). Plusieurs pays affichent une augmentation nette de leur superficie forestière qui est due en partie à l'expansion naturelle, mais surtout au développement des forêts plantées (FAO, 2010b). Toutefois, cette évolution n'est pas forcément synonyme de ralentissement ou d'arrêt du déclin de la biodiversité forestière, car les forêts plantées sont souvent des monocultures d'essences exotiques qui abritent moins de biodiversité que les forêts naturelles et qui, en outre, remplacent parfois des habitats plus riches en biodiversité tels que des prairies naturelles.

Stocks halieutiques marins

L'évolution des stocks marins mondiaux donne une indication de la biodiversité marine. L'état des stocks exploités commercialement est préoccupant. Depuis 1974, date à laquelle a commencé le suivi des stocks halieutiques mondiaux, la proportion de stocks pleinement exploités[10] semble être restée assez stable, tandis que celle de stocks surexploités et épuisés a augmenté (graphique 4.7). Aujourd'hui, plus de 30 % des stocks sont surexploités, épuisés ou en voie de reconstitution, environ 50 % sont pleinement exploités et moins de 20 % offrent un potentiel de croissance (FAO, 2010a). L'épuisement des stocks exploités par les pêcheries commerciales menace des moyens d'existence et peut avoir une incidence sur des écosystèmes entiers en modifiant les réseaux trophiques et la dynamique des populations.

Graphique 4.7. **État des stocks halieutiques marins, 1974-2008**



Notes : Stock sous-exploité : sous-développé ou nouvelle pêcherie. Considéré comme possédant un fort potentiel de développement en termes de production totale.
Stock modérément exploité : exploité avec un faible niveau d'effort de pêche. Potentiel de développement considéré comme limité en termes de production totale.
Stock pleinement exploité : la pêcherie est exploitée à un niveau de rendement optimal ou quasi optimal. Elle n'offre aucune perspective de développement.
Stock surexploité : le degré d'exploitation de la pêcherie dépasse le niveau considéré comme viable à long terme. La pêcherie n'offre pas de possibilité de développement et présente un risque élevé d'épuisement ou d'effondrement.
Stock épuisé : le volume des captures est nettement inférieur aux niveaux historiques, indépendamment de l'intensité de l'effort de pêche exercé.
Stock en voie de reconstitution : le volume des captures augmente à nouveau après un épuisement ou un effondrement des stocks.

Source : FAO (2010a), *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture : 2010*, FAO, Rome.

Selon l'indice planète vivante marin[11], la biodiversité marine mondiale a reculé de 24 % entre 1970 et 2007 (WWF, ZSL et GFN, 2010). Outre la surpêche, les facteurs de cet appauvrissement sont les prises accessoires des pêcheries, la disparition des habitats (due à l'aménagement du littoral, par exemple), la pollution et le changement climatique.

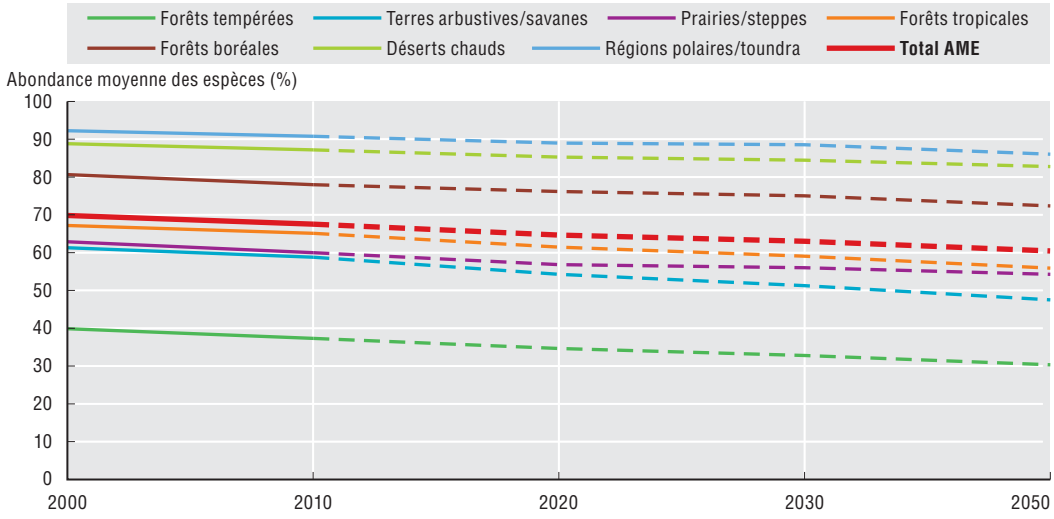
Chacun des indicateurs décrits ci-dessus fait apparaître un déclin de la biodiversité. Il est difficile de procéder à une évaluation plus large et plus complète des indicateurs d'état de la biodiversité, car des séries chronologiques à l'échelle mondiale ne sont pas immédiatement disponibles. Bien que le développement d'indicateurs ait progressé depuis 2002 et la définition de l'objectif 2010 dans le cadre de la CDB, les données présentent toujours des lacunes importantes (surtout dans les pays en développement) (voir Butchart *et al.*, 2010, pour un aperçu général). Des travaux supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les priorités en matière de données et combler les lacunes correspondantes (voir la section 4 pour une analyse plus approfondie).

Évolution future de la biodiversité : résultats des projections

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* modélise l'état probable de la biodiversité terrestre à l'horizon 2050 (mesuré par l'AME) en l'absence de nouvelles mesures des pouvoirs publics. Il intègre les hypothèses économiques, sectorielles et sociales décrites dans le chapitre 2 (et récapitulées dans l'annexe 4.A). Le *scénario de référence* offre un point de repère par rapport auquel il est possible d'évaluer les progrès futurs et l'incidence des politiques mises en œuvre. Selon ce scénario, l'abondance moyenne des espèces terrestres

devrait accuser une nouvelle baisse d'environ 10 % entre 2010 et 2050 dans le monde, et la majeure partie de cette baisse devrait intervenir avant 2030 (graphique 4.8). Si l'on ventile les projections par biome, le recul de l'AME concernerait tout particulièrement les savanes et broussailles (–19 %), les forêts tempérées (–19 %) et les forêts tropicales (–14 %). Cependant, ces projections sont sans doute optimistes, dans la mesure où elles ne tiennent pas compte de tous les facteurs d'érosion de la biodiversité (ignorant, par exemple, les espèces exotiques envahissantes), ni des seuils des écosystèmes.

Graphique 4.8. **Abondance moyenne des espèces terrestres par biome : *scénario de référence*, 2000-2050**



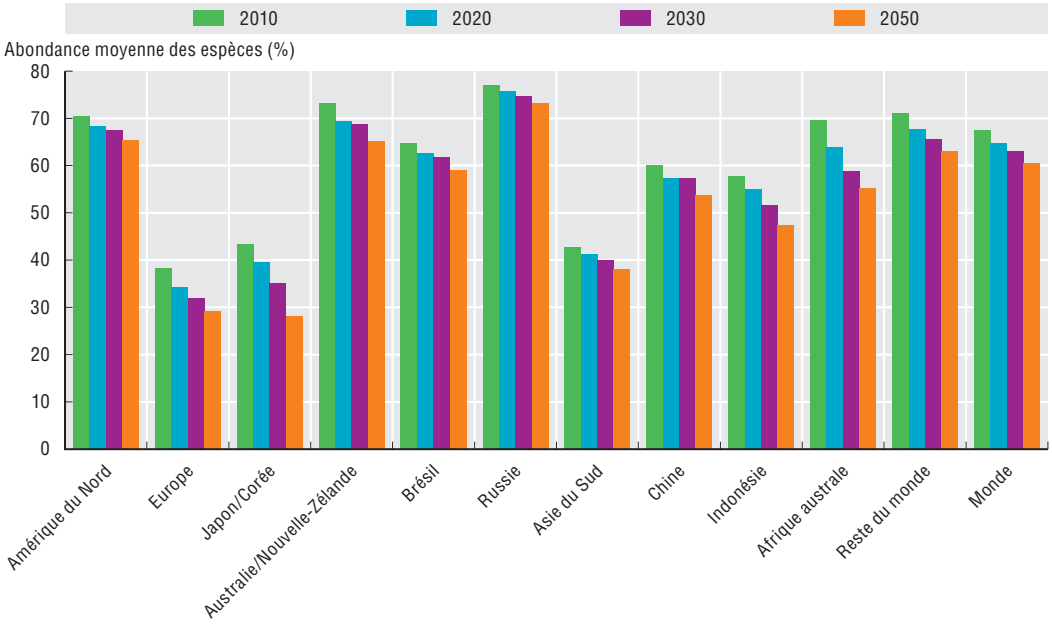
Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594275

Si l'on ventile les données par groupe de pays (graphique 4.9), c'est dans le reste du monde (RdM) que l'AME accuserait le plus fort recul (11 %), quoique les autres groupes afficheraient une baisse similaire (10 %). En revanche, comme ces groupes couvrent des superficies totales très différentes, leur part relative dans la perte globale d'AME varie beaucoup plus : les pays de l'OCDE (35 millions km^2) représentent 25 % de la perte totale, contre 36 % pour le groupe BRIICS (Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud ; 50 millions km^2) et 39 % pour le reste du monde (45 millions km^2). Le recul de l'AME prévu d'ici à 2050 est particulièrement marqué au Japon et en Corée (36 %), en Europe (24 %), en Afrique australe (20 %) et en Indonésie (17 %).

Dans le *scénario de référence*, la perte globale de biodiversité terrestre est provoquée par les facteurs suivants : changements d'affectation des terres ; foresterie ; infrastructures, empiètement et morcellement ; changement climatique ; et pollution (dépôts d'azote, par exemple). Ces catégories telles qu'elles ont été modélisées dans les présentes *Perspectives* sont décrites dans le tableau 4.1 (voir Alkemade *et al.*, 2009). Les facteurs indirects comprennent l'accroissement démographique et la croissance du PIB par habitant, laquelle entraîne des changements de régime alimentaire ainsi qu'une hausse de la consommation. Ces déterminants socio-économiques sont détaillés dans le chapitre 2 et récapitulés dans l'annexe 4.A.

Graphique 4.9. **Abondance moyenne des espèces terrestres par région du monde : *scénario de référence*, 2010-2050**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

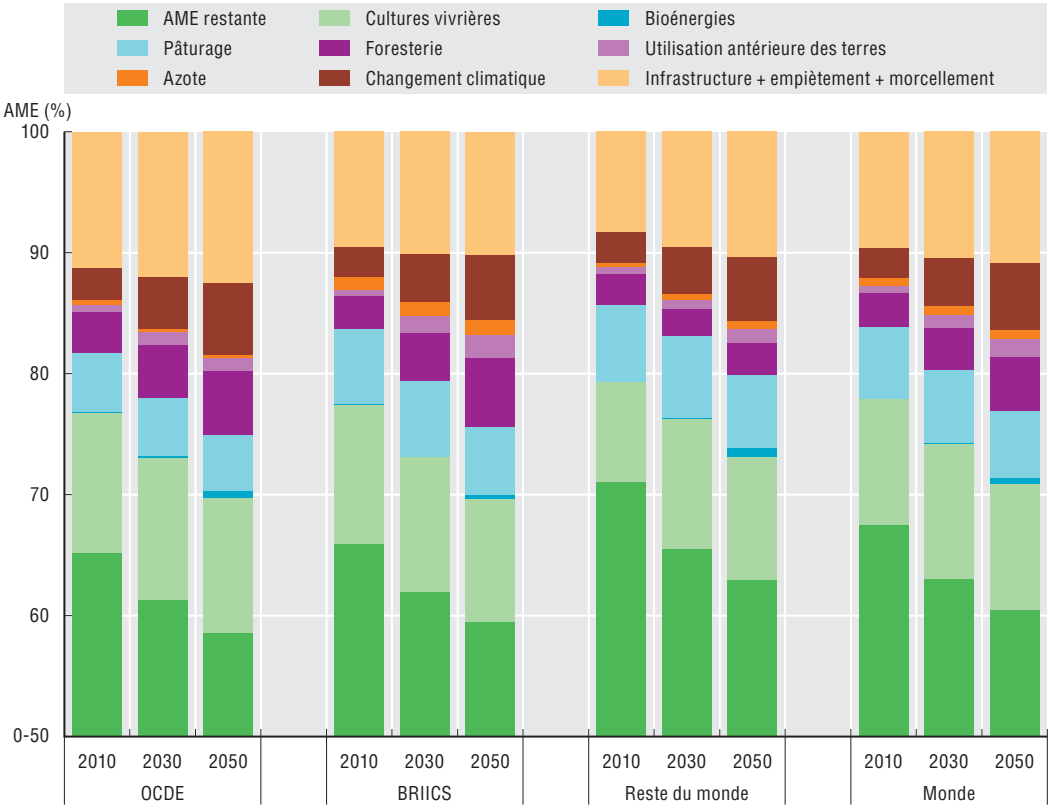
StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594294

Tableau 4.1. **Pressions sur la biodiversité modélisées pour les *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050***

Facteur de diminution de l'abondance moyenne des espèces terrestres	Définition
Changement d'affectation des terres (pâturages, cultures vivrières, bioénergies)	Pressions sur la biodiversité dues à la réaffectation de terres pour : ■ L'élevage sur pâturages (prairies semi-naturelles). ■ La production de cultures vivrières. ■ La production de cultures bioénergétiques.
Utilisation antérieure des terres	Effets sur la biodiversité persistant après la déprise des terres agricoles. Conséquence d'une régénération lente, pouvant être interprétée comme une perte de biodiversité en raison des effets d'inertie.
Foresterie	Exploitation de forêts (semi-)naturelles et plantées aux fins de la production de bois. Ces activités sont désignées collectivement par le terme foresterie (elles ne comprennent toutefois pas le déboisement, qui relève du « changement d'affectation des terres »). Elles incluent différents types d'utilisation et de gestion des forêts, tels qu'abattage sélectif et coupe à blanc de forêts semi-naturelles ou naturelles, ainsi que l'exploitation de plantations (forêts plantées avec des essences introduites).
Infrastructures, empiètement et morcellement	Cette catégorie regroupe plusieurs pressions : ■ Infrastructures : effets directs des infrastructures – nuisances sonores, mortalité animale sur les routes, etc. – et effets de l'urbanisation. ■ Empiètement de l'homme sur la nature : effets du braconnage, de la collecte de bois et d'autres activités d'exploitation pratiquées à petite échelle par les habitants installés à proximité des infrastructures. ■ Morcellement : effets du découpage d'espaces naturels en parcelles plus petites par les routes et par la réaffectation des terres, ayant une incidence sur la connectivité et la santé des écosystèmes.
Dépôts d'azote	Modifications de la biodiversité résultant des dépôts atmosphériques d'azote (par exemple, eutrophisation et acidification).
Changement climatique	Pressions sur la biodiversité résultant de changements des conditions climatiques (températures et précipitations, par exemple), qui peuvent modifier la distribution des espèces et la composition des écosystèmes.

À ce jour, les changements d'affectation des terres (réaffectation d'écosystèmes naturels à des usages comme la production de cultures vivrières et énergétiques ou la production animale) sont la principale cause d'appauvrissement de la biodiversité terrestre dans le monde. Ils ont été à l'origine d'une diminution de 16 % de l'AME (par rapport à l'état vierge). Les infrastructures, l'empiètement et le morcellement sont quant à eux responsables d'une baisse de 10 %. Selon les projections du *scénario de référence*, ces facteurs continueront d'exercer des pressions importantes sur la biodiversité jusqu'en 2050 (graphique 4.10).

Graphique 4.10. **Effets de différents facteurs de pressions sur l'abondance moyenne des espèces terrestres : *scénario de référence*, de 2010 à 2050**

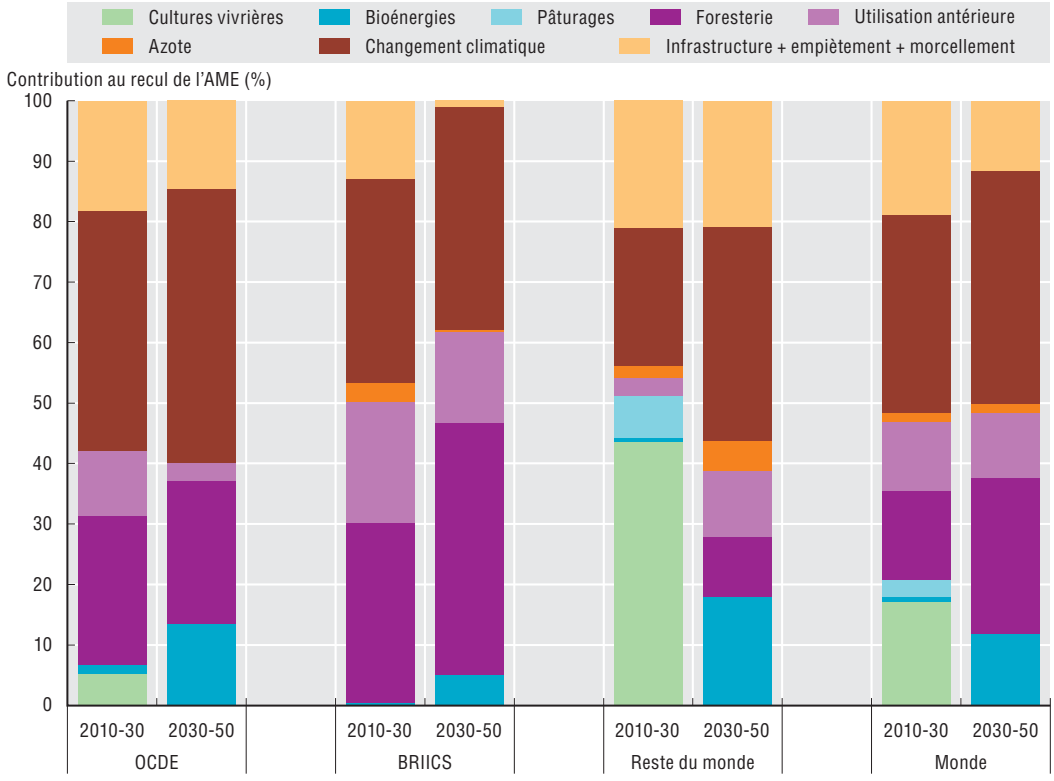


Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594313

Cependant, on anticipe que sur les années 2010-50, la contribution relative des différents facteurs qui appauvrissent la biodiversité va changer (graphique 4.11). Dans l'ensemble, le changement d'affectation des terres devrait moins contribuer qu'avant à la diminution de l'AME.L'expansion de la production vivrière et de l'élevage devrait être à l'origine d'environ 50 % de la perte supplémentaire d'AME dans le reste du monde entre 2010 et 2030, mais elle ne devrait pas constituer une cause majeure d'appauvrissement supplémentaire dans les pays de l'OCDE et les BRIICS. Au lieu d'une expansion des surfaces agricoles, plusieurs régions devraient connaître un phénomène de déprise agricole qui permettra la remise en état et la régénération des écosystèmes sur de vastes superficies. Ces zones subiront néanmoins les effets de l'utilisation antérieure pendant plusieurs décennies après la déprise des terres.

Graphique 4.11. **Contribution relative de chaque facteur de pressions au recul de l'abondance moyenne des espèces terrestres : *scénario de référence*, 2010-2030 et 2030-2050**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594332

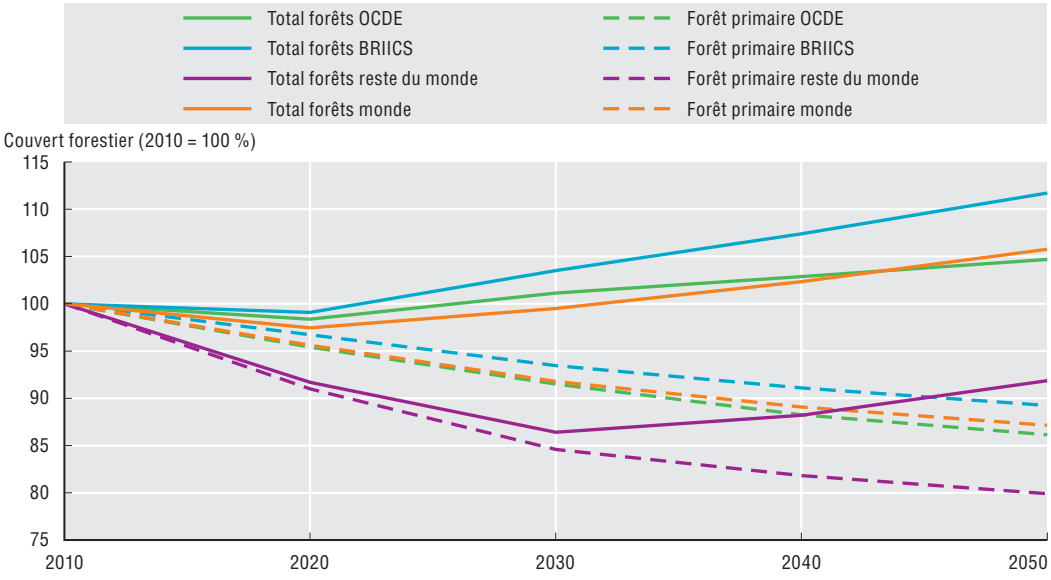
Selon les projections, la foresterie exercera des pressions accrues sur la biodiversité dans les trois groupes de pays : elle causera près de 15 % de la perte globale d'AME entre 2010 et 2030, et 30 % entre 2030 et 2050. Les cultures bioénergétiques exerceront elles aussi des pressions de plus en plus fortes sur la biodiversité à l'échelle planétaire, mais surtout dans le reste du monde. Cependant, dans le *scénario de référence*, l'effet mondial de la production de bioénergies reste modeste en l'absence d'une politique ambitieuse de lutte contre le changement climatique dans les pays de l'OCDE et les BRIICS (voir section 4).

Le *scénario de référence* prévoit que le changement climatique sera à l'origine d'une pression de plus en plus marquée, causant un peu plus de 40 % de la perte globale supplémentaire d'AME entre 2010 et 2050[12]. La contribution relative à la perte future de biodiversité des infrastructures, de l'empiètement et du morcellement devrait diminuer dans les pays de l'OCDE et les BRIICS entre 2030 et 2050, alors qu'elle augmentera dans le reste du monde. Les dépôts d'azote devraient contribuer de façon marginale à la perte supplémentaire d'AME dans les BRIICS jusqu'en 2030 et dans le reste du monde jusqu'en 2050.

Si l'on observe plus précisément les projections en matière de couvert terrestre et de changement d'affectation des terres, on constate que la superficie forestière mondiale diminuerait de près de 1 million km^2 entre 2010 et 2020 (principalement en raison de la réaffectation de terres à l'agriculture). En revanche, elle devrait ensuite augmenter sous

l'effet de la régénération naturelle des forêts, du reboisement et du boisement (faisant suite à la déprise agricole) (graphique 4.12), pour atteindre près de 40 millions km^2 à l'horizon 2050. Cependant, cela ne signifie pas nécessairement des conditions plus favorables pour la biodiversité forestière dans chaque région, car la demande accrue de bois et de papier devrait entraîner une expansion des activités sylvicoles, et notamment des plantations. La superficie des forêts primaires (forêts naturelles à l'intérieur desquelles les processus écologiques n'ont pas été perturbés de façon significative) devrait continuer de se réduire régulièrement (graphique 4.12), de sorte que la biodiversité moyenne des forêts diminuera elle aussi.

Graphique 4.12. **Variation de la superficie forestière mondiale : *scénario de référence*, 2010-2050**



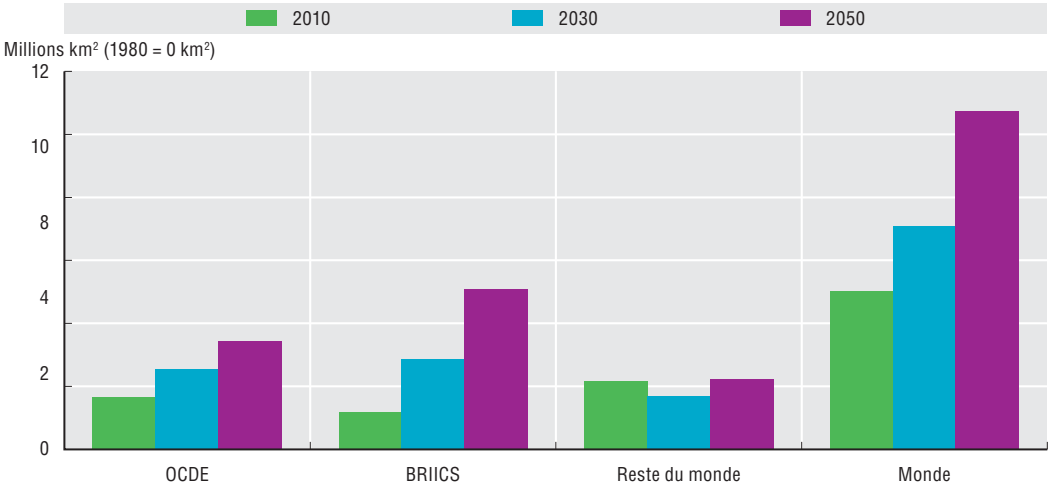
Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594351

Bien entendu, le couvert forestier n'évoluera pas de la même façon dans toutes les régions du monde. Dans les pays de l'OCDE et dans les BRIICS, la superficie forestière totale sera amputée de près de 200 000 km^2 d'ici à 2020 selon les projections, mais elle augmentera ensuite pour atteindre en 2050 un niveau supérieur à celui de 2010, principalement grâce au boisement des terres agricoles abandonnées. Dans le reste du monde, le recul de la superficie forestière devrait se poursuivre jusqu'en 2030 pour aboutir à une perte totale d'environ 1 million km^2 pour cause d'expansion de l'agriculture. Ensuite, cette superficie augmentera, mais sans revenir au niveau de 2010.

Selon le *scénario de référence*, à l'échelle mondiale, la superficie des forêts de production (forêts gérées pour produire du bois d'œuvre, de la pâte à papier et du bois de chauffe) devrait augmenter de près de 60 % entre 2010 et 2050 pour atteindre 15 millions km^2 au total[13]. Cet accroissement devrait se produire dans toutes les régions hormis le reste du monde (graphique 4.13), sous l'effet de la hausse continue de la demande de bois d'œuvre, de papier et de bois de chauffe (bien que ce dernier soit, selon les projections, progressivement remplacé par d'autres sources d'énergie).

Graphique 4.13. **Évolution de la superficie des forêts de production : *scénario de référence*, 2010-2050**

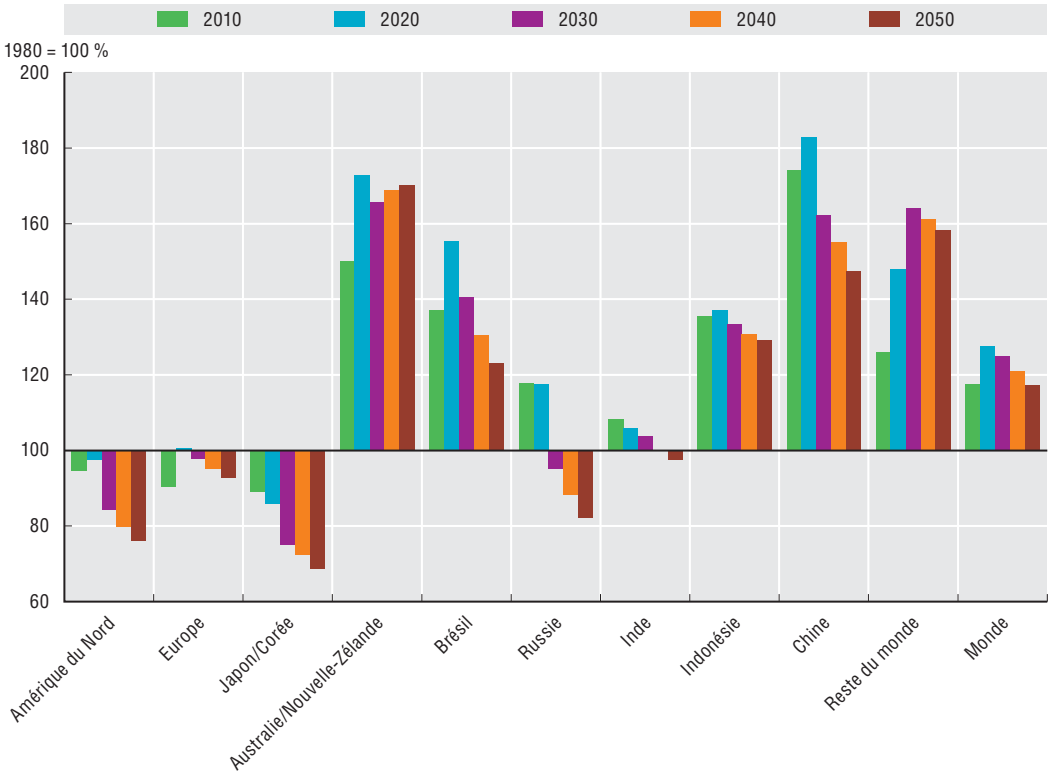


Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594370

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* prévoit que les surfaces consacrées aux productions végétales dans le monde augmenteront d'environ 1 million km^2 entre 2010 et 2030 (graphique 4.14). La majeure partie de cette expansion

Graphique 4.14. **Évolution de la superficie consacrée à la production de cultures vivrières dans le monde : *scénario de référence*, 2010-2050**



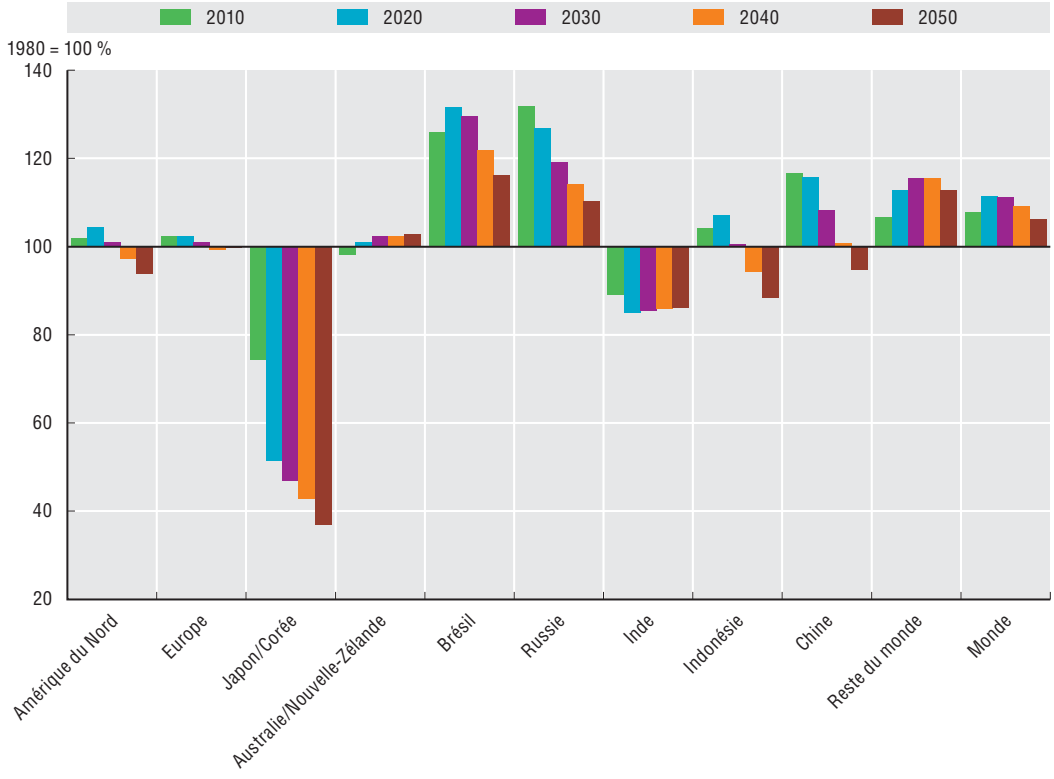
Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594389

devrait se situer dans le reste du monde, en particulier en Afrique subsaharienne. Les superficies consacrées à la production vivrière dans le monde devraient culminer avant 2030, puis diminuer, en particulier en Amérique du Nord, au Brésil, en Russie, en Asie du Sud et en Chine. Ces prévisions se fondent sur l'hypothèse d'une croissance démographique lente dans les pays de l'OCDE, d'une diminution de la population en Russie et en Chine, d'une stabilisation des régimes alimentaires dans la plupart des pays de l'OCDE et des BRIICS (l'apport calorique maximum étant atteint) et d'une hausse du rendement des cultures grâce au progrès technique (voir le chapitre 2 pour plus dedétails sur les projections du *scénario de référence* relatives aux superficies agricoles).

Une tendance similaire se dessine dans le *scénario de référence* pour les terres destinées au pâturage et à la production fourragère (graphique 4.15). Entre 1980 et 2010, leur superficie s'est considérablement étendue (2.5 millions km^2), principalement dans les BRIICS. Selon les projections, cette expansion globale va se poursuivre jusqu'en 2030 (1 million km^2 supplémentaires), après quoi la surface totale devrait diminuer. En Russie et en Chine, les projections indiquent qu'une baisse sensible des superficies en pâturages devrait s'amorcer dès 2010.

Graphique 4.15. **Évolution de la superficie mondiale des pâturages (herbe et fourrage) : *scénario de référence*, 2010-2050**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594408

Il existe d'autres causes importantes d'appauvrissement de la biodiversité qui n'ont pas été modélisées dans le cadre de cette étude, dont les espèces exotiques envahissantes, les incendies de forêts, certaines autres formes de pollution (phosphorée, notamment) et la surexploitation des ressources naturelles[14]. Le nombre d'espèces exotiques a augmenté de

76 % depuis 1970 en Europe, et des tendances similaires sont vraisemblablement à l'œuvre dans le reste du monde (Butchart *et al.*, 2010). Les espèces exotiques envahissantes[15] peuvent contribuer à la perte de ressources naturelles, à une baisse de la production vivrière, à la dégradation de la santé humaine et à l'accroissement des coûts de l'agriculture, de la sylviculture, des pêcheries et de la gestion des eaux (OCDE, 2008b ; SCDB, 2009a). La multiplication de ces espèces va vraisemblablement se poursuivre au cours des décennies à venir et constituera une menace supplémentaire pour la biodiversité. Ainsi, on s'attend à une forte hausse des activités de transport liées aux échanges commerciaux et au tourisme, qui sont les principaux vecteurs de déplacement d'espèces hors de leur habitat naturel (eau de ballast des navires, graines ou animaux transportés par les véhicules, etc.).

La surexploitation de ressources telles que les arbres (surtout en Amérique du Sud et en Asie), les espèces marines et le gibier de brousse (en Afrique centrale, par exemple) a déjà conduit à l'extinction de certaines espèces par le passé et continue de menacer la biodiversité aujourd'hui. Étant donné la croissance de la population mondiale et de la demande en poissons et produits du bois, et vu le nombre d'emplois qui dépendent de ces filières, il sera essentiel, pour préserver la biodiversité, de gérer de façon durable ces ressources et de transformer ces emplois en emplois verts au cours des décennies à venir.

Incidences de la perte de biodiversité et liens avec le changement climatique, l'eau et la santé

La perte de biodiversité peut avoir de graves impacts sur le bien-être des individus, leur sécurité et la croissance économique (EM, 2005 ; SCDB, 2010a ; TEEB, 2010a ; OCDE, 2011a). Au Canada, par exemple, la surexploitation du cabillaud de l'Atlantique Nord a conduit à l'effondrement du stock, avec pour conséquence un coût à court terme lié au manque à gagner estimé à 235 millions USD. À long terme, on estime que le manque à gagner provoqué par la gestion non viable de la pêche au cabillaud a atteint 0.94 milliard USD (chiffres cités dans OCDE, 2008a). Par ailleurs, le coût annuel des pertes et des dommages causés à l'environnement par les espèces exotiques envahissantes a été estimé à 120 milliards USD aux États-Unis et à plus de 1 400 milliards USD au niveau mondial (Pimentel *et al.*, 2005 ; SCDB, 2010a).

Ce sont les pays en développement qui supportent généralement la majeure partie des coûts liés à la perte de biodiversité, car ils sont souvent plus directement dépendants des ressources naturelles pour leur développement que les pays développés. On estime que le capital naturel représente 26 % de la richesse totale dans les pays à faible revenu, contre seulement 2 % dans les pays de l'OCDE (Banque mondiale, 2006). Dans les pays en développement, les ressources naturelles jouent un rôle clé dans l'économie, y compris dans les exportations, l'emploi et les recettes publiques. La pêche, par exemple, fournit un emploi à 47 millions de personnes dans les pays en développement (soit 95 % des effectifs de pêcheurs dans le monde) et représente entre 10 et 30 % du budget de l'État dans plusieurs pays. Dans les pays en développement, l'exploitation de la forêt occupe officiellement 10 millions de personnes et de façon informelle 30 à 50 millions d'autres, et elle compte parfois pour plus de 10 % du PIB (OCDE, 2009a). L'éco-tourisme est une autre source importante de recettes dans les pays en développement riches en biodiversité. En Namibie, par exemple, les seules activités touristiques dans les aires protégées représentent 6 % du PIB, et au Rwanda, le tourisme dans les parcs nationaux où les gorilles des montagnes sont protégés est l'une des principales sources de devises, qui a rapporté 42 millions USD en 2007 (SCDB, 2009b).

De plus, l'érosion de la biodiversité et la dégradation des écosystèmes ont des conséquences particulièrement graves pour les populations rurales pauvres. Environ 70 % des pauvres du monde entier vivent en milieu rural et dépendent directement de l'agriculture pour leur survie (Banque mondiale, 2008). Les ressources forestières offrent des moyens de subsistance à environ 90 % des 1.2 milliard de personnes qui vivent dans l'extrême pauvreté (Banque mondiale, 2004). Par ailleurs, les populations autochtones sont souvent frappées de façon disproportionnée par la diminution de la biodiversité et la dégradation des écosystèmes. Si les catégories sociales plus aisées peuvent éventuellement se permettre d'acheter d'autres produits en cas de perte de biodiversité et de services écosystémiques, les pauvres ne sont pas toujours en mesure d'en faire autant.

La nécessité d'adopter des politiques appropriées pour protéger la biodiversité et favoriser son utilisation durable est d'autant plus grande que les effets de son appauvrissement et de la disparition de services écosystémiques sont entourés d'incertitudes et que les dommages causés aux écosystèmes peuvent souvent être irréversibles (encadré 4.2).

Encadré 4.2. **Prise en compte des seuils : éviter une dégradation irréversible des écosystèmes par une approche de précaution**

La plupart des décisions relatives aux politiques environnementales sont prises dans un contexte d'irréversibilité et d'incertitude. Les écosystèmes ne peuvent absorber les pressions qui s'exercent sur eux que jusqu'à un certain seuil, au-delà duquel leur intégrité fondamentale est compromise. Le franchissement d'un seuil de ce type peut modifier la structure et la fonction d'un écosystème (SCDB, 2010a).

Ces changements sont alors généralement coûteux voire impossibles à inverser et peuvent s'accompagner de conséquences négatives sur le plan environnemental, économique et social. L'eutrophisation qui touche certains écosystèmes marins et d'eau douce a ainsi créé des « zones mortes » où des algues en décomposition absorbent l'oxygène présent dans l'eau, rendant celle-ci impropre à toute vie. Ce phénomène s'observe par exemple en mer Baltique, dans le golfe du Mexique ou encore dans le lac Erie (Larsen, 2005 ; Dybas, 2005). Des études ont par ailleurs mis en évidence des cascades trophiques en milieu marin : les variations de la population des grands prédateurs ont des répercussions en aval sur les maillons suivants de la chaîne alimentaire. On pense ainsi que, dans l'Atlantique Nord-Ouest, la surexploitation des requins, prédateurs situés au sommet de la chaîne alimentaire, a conduit à l'augmentation de la population de raies *Rhinoptera bonasus* qui se nourrissent de fruits de mer, ce qui a provoqué l'effondrement des pêcheries de coquilles Saint-Jacques (Myers *et al.*, 2007).

La résilience est l'aptitude d'un écosystème à assimiler les perturbations et à se réorganiser de façon à conserver pour l'essentiel les mêmes fonctions, structure, identité et mécanismes de rétroaction (Walker *et al.*, 2004). Les effets combinés de différentes perturbations, agissant souvent en synergie, peuvent réduire la résilience des écosystèmes, ce qui accroît le risque de franchissement de seuils. Par exemple, la perte de biodiversité résultant de la surpêche, de la pollution et des atteintes physiques peut amoindrir la capacité des récifs coralliens à absorber les modifications du climat et de l'acidité de l'océan. À l'inverse, la préservation de la biodiversité assure que les écosystèmes continuent à remplir leurs fonctions : la présence d'un plus grand nombre d'espèces ayant les mêmes fonctions offre davantage de garanties quant au fait que certaines d'entre elles au moins continueront de remplir leur fonction même si d'autres disparaissent (Yachi et Loreau, 1999).

Encadré 4.2. **Prise en compte des seuils : éviter une dégradation irréversible des écosystèmes par une approche de précaution** *(suite)*

On s'attend à ce que des seuils soient franchis plus souvent au cours des décennies à venir du fait de l'intensification des pressions exercées par les activités humaines (SCDB, 2010a). Étant donné la dynamique non linéaire complexe des écosystèmes et leurs interactions avec les systèmes humains, il est difficile de prévoir où se situent les seuils, quand ils seront franchis et quelle sera l'ampleur des répercussions (Groffman *et al.*, 2006 ; Rockström *et al.*, 2009). Compte tenu de cette incertitude, il est prudent d'adopter une approche de précaution et de faire en sorte que les perturbations restent bien en deçà des seuils probables. Certaines limites ont pu être déterminées scientifiquement (comme le rendement maximum soutenable dans le cas de la pêche), et des travaux sont en cours afin de mettre au point des stratégies de surveillance et des indicateurs permettant d'avertir les gestionnaires de l'environnement et les décideurs politiques quand les écosystèmes se rapprochent de tels seuils (indicateur du potentiel d'eutrophisation côtière, par exemple ; voir Billen et Garnier, 2007). Néanmoins, des efforts supplémentaires sont nécessaires en la matière (ten Brink *et al.*, 2008 ; Paerl *et al.*, 2003 ; Scheffer *et al.*, 2009).

La perte de biodiversité et la dégradation des écosystèmes ont d'autres incidences, notamment sur le changement climatique, sur la quantité et la qualité des ressources en eau, ainsi que sur la santé humaine. La connaissance de ces imbrications et interactions peut aider les responsables de l'action gouvernementale à cerner les synergies potentielles et les arbitrages à prévoir, et donc à prendre des décisions stratégiques mieux coordonnées.

Changement climatique

La biodiversité joue un rôle important dans l'atténuation du changement climatique comme dans l'adaptation à ses effets. D'après les estimations, les écosystèmes terrestres et marins stockent au total entre 1 500 et 2 500 gigatonnes (Gt) de carbone (Cao et Woodward, 1998 ; GIEC, 2001) et assurent l'absorption nette de 3.55 Gt de dioxyde de carbone par an (Dalal et Allen, 2008). À l'inverse, le déboisement et d'autres changements d'affectation des sols représentent 20 % des émissions planétaires de gaz à effet de serre (GES) liées aux activités humaines (GIEC, 2007). L'entretien et la restauration des écosystèmes (par le reboisement, par exemple) permettent donc d'atténuer les émissions de GES et d'augmenter les quantités de carbone piégées. Ainsi, la valeur de la contribution de la seule biodiversité marine à la régulation du climat pourrait atteindre 12.9 milliards USD par an selon certaines estimations (Beaumont *et al.*, 2006). La biodiversité et les écosystèmes peuvent aussi intervenir dans l'adaptation au changement climatique. L'adaptation fondée sur les écosystèmes consiste, par exemple, à entretenir et à restaurer des « infrastructures naturelles » comme les mangroves, les récifs coralliens et la végétation des bassins versants, qui offrent une protection efficace par rapport à son coût contre les tempêtes, l'élévation du niveau des mers et la modification des régimes de précipitations (SCDB, 2009c).

Les changements de température et de régime de précipitations influent sur la répartition des espèces et des écosystèmes. Avec la montée des températures, les écosystèmes et les aires de distribution des espèces ont tendance à glisser vers les pôles ou vers des altitudes plus élevées (Beckage *et al.*, 2007 ; Salazar *et al.*, 2007). Sous l'effet de cette migration, certains écosystèmes se rétrécissent et d'autres s'étendent. Le changement climatique modifie en outre la composition, la structure et le fonctionnement des

écosystèmes, ce qui conduit à un recul global de la biodiversité et perturbe des services écosystémiques tels que la régulation hydrique, la séquestration du carbone et l'approvisionnement en ressources. Par ailleurs, certaines mesures de lutte contre le changement climatique et d'adaptation à ses effets risquent d'aggraver les incidences néfastes pour la biodiversité. Par exemple, certaines méthodes d'adaptation employées dans le secteur agricole, telles que le drainage des zones humides en cas d'inondation ou la construction de digues, peuvent entraîner la destruction d'habitats, une érosion des sols et un phénomène d'eutrophisation (Olsen, 2006). Il est en outre apparu que les sources d'énergie renouvelables comme les biocarburants, les barrages hydroélectriques et les éoliennes pouvaient également avoir une incidence négative sur la biodiversité (OCDE, 2008c ; The Royal Society, 2008 ; New et Xie, 2008 ; Everaert et Stienen, 2006). Il convient non seulement de maximiser les synergies et de réduire les incompatibilités entre les politiques climatiques et les politiques de préservation de la biodiversité, mais aussi de renforcer la capacité d'adaptation des écosystèmes, par exemple en améliorant leur connectivité (voir section 3).

Eau

Les écosystèmes rendent divers services hydrologiques : épuration de l'eau, régulation des débits et protection contre l'érosion et l'accumulation de sédiments (Emerton et Bos, 2004). Les zones humides et les sols forestiers sont particulièrement utiles pour éliminer les bactéries, les microbes, les excédents d'éléments nutritifs et les sédiments. Ces milieux ont généralement la capacité d'emmagasiner l'eau et de la restituer progressivement, écrêtant les débits de pointe. Ainsi, les tourbières du Sri Lanka rendent un service d'amortissement des crues dont la valeur a été estimée à 5 millions USD par an (Sudmeier-Rieux, 2006). En période de sécheresse, les zones humides et les sols forestiers constituent aussi des réservoirs qui se vident lentement en maintenant un certain débit d'eau.

À l'inverse, une dégradation qualitative et quantitative des ressources en eau se répercute défavorablement sur la biodiversité. L'eutrophisation, la perte d'habitats due au drainage des terres, la régulation du débit des cours d'eau et le dépôt de sédiments consécutif à l'érosion des sols peuvent appauvrir la biodiversité dulcicole et marine et modifier les caractéristiques structurelles et fonctionnelles des écosystèmes. L'impact des barrages sur l'équilibre entre silicium (sédiments), azote et phosphate, qui se traduit par une dégradation de la qualité des eaux dans les zones côtières, est décrit dans le chapitre 5. Les évaluations régionales menées aux États-Unis, dans le bassin méditerranéen et ailleurs montrent que les espèces d'eau douce sont, de manière générale, exposées à un risque d'extinction beaucoup plus grand que les espèces terrestres (Smith et Darwall, 2006 ; Stein *et al.*, 2000). De fait, selon les projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, l'AME dans les biomes d'eau douce continuera de diminuer jusqu'en 2050, surtout en Afrique, en Amérique latine et dans certaines régions d'Asie (graphique 4.16). Il est toutefois probable que le recul mis en évidence par les projections est sous-estimé, car celles-ci ne tiennent pas compte des effets futurs des barrages, de la conversion des zones humides et du changement climatique.

Santé humaine

La biodiversité et les écosystèmes produisent des services indispensables à la santé humaine, notamment en satisfaisant des besoins humains fondamentaux, en assurant une lutte biologique contre certaines maladies, en fournissant des ressources médicales et

Graphique 4.16. **Projections de l'abondance moyenne des espèces aquatiques en milieu dulcicole : *scénario de référence*, 2000-2050**



Note : Les pressions prises en compte dans cette simulation sont notamment les changements d'affectation de terres à l'intérieur des bassins hydrographiques, la pollution azotée et phosphorée, et la modification des débits sous l'effet des prélèvements d'eau ou de la construction de barrages. Le changement climatique, la surexploitation et les espèces exotiques envahissantes ne sont pas pris en compte.

Source : *Scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594427

biologiques, ainsi qu'en offrant des possibilités d'activités récréatives, créatives et thérapeutiques qui contribuent à une meilleure santé mentale (Zaghi *et al.*, 2010) (voir aussi le chapitre 6).

La provision de nourritures est un service essentiel apporté par et dépendant de la biodiversité. Une production végétale biologiquement variée est plus résiliente aux sécheresses, aux inondations, aux nuisibles et aux maladies, et permet d'être moins tributaire de cultures particulières (COHAB Initiative, 2010 ; EM, 2005 ; SCDB, 2009b). Lorsque les sources de denrées alimentaires sont fiables et variées, le risque de famine est réduit, de même que la probabilité de carences en oligo-éléments et en vitamines qui affaiblissent le système immunitaire. Parmi les autres services d'approvisionnement, on peut citer, par exemple, de l'air et de l'eau de bonne qualité, ou encore des matériaux de construction.

La demande de ces services exerce toutefois des pressions considérables sur la biodiversité. Ainsi, l'accent mis sur l'augmentation de la production et la standardisation dans l'agriculture a eu tendance à faire reculer la diversité génétique (Heal *et al.*, 2002). En Chine, par exemple, le nombre de variétés locales de riz est passé de 46 000 dans les années 1950 à guère plus de 1 000 en 2006. On estime que dans 60 à 70 % des régions où poussaient des variétés sauvages de riz, celles-ci n'existent plus ou la surface qui leur est consacrée a fortement diminué (SCDB, 2010a). La surexploitation (par exemple, du gibier de brousse pour les protéines) constitue également un important sujet de préoccupation.

Les écosystèmes riches en biodiversité assurent la régulation des interactions entre prédateurs, proies, hôtes, vecteurs et parasites, et constituent ainsi des mécanismes de lutte contre l'apparition et la propagation de maladies infectieuses. La dégradation des écosystèmes a été mise en cause, entre autres facteurs, dans des épisodes de paludisme, de fièvre jaune, de grippe aviaire, de maladie de Lyme et d'encéphalite transmise par les tiques (encadré 4.3).

Encadré 4.3. **Biodiversité et santé humaine**

- Aux États-Unis, on estime que les arbres situés dans les zones urbaines éliminent chaque année 711 000 tonnes de polluants atmosphériques, un service évalué à 3.8 milliards USD (Nowak *et al.*, 2006).
- Plus de 50 % des médicaments prescrits dans le monde contiennent soit des composés naturels tirés d'espèces végétales ou animales, soit des produits de synthèse à base de composés naturels (Newman et Cragg, 2007). Tandis que 25 % des médicaments actuels proviennent d'espèces des forêts primaires tropicales, moins de 5 % de ces espèces ont été étudiées dans l'optique de leur potentiel pharmaceutique, ce qui permet de penser qu'elles recèlent de vastes possibilités de découverte de nouveaux médicaments (McDonald, 2009).
- Sur tous les continents, la demande de remèdes médicaux traditionnels (faisant appel à des plantes sauvages et à des plantes cultivées) est en hausse ; dans de nombreux pays en développement, jusqu'à 80 % de la population ont recours à la médecine traditionnelle pour se soigner (Zaghi *et al.*, 2010 ; OMS, 2002).
- L'étude des ours en hibernation a permis de mieux comprendre l'ostéoporose, les maladies rénales, le diabète et les troubles cardio-vasculaires chez l'homme (Chivian, 2002).
- L'incidence du paludisme est liée au changement climatique, au déboisement et à la modification des écosystèmes aquatiques (Zaghi *et al.*, 2010). Dans les zones fortement déboisées d'Amazonie, par exemple, le taux de piqûre humaine par le vecteur primaire du paludisme, *Anopheles darlingi*, pourrait être près de 300 fois plus élevé que dans des forêts intactes, même si l'on tient compte des différences de densité démographique (Vittor *et al.*, 2006).

La biodiversité est une importante source de matières premières pour l'industrie pharmaceutique et les biotechnologies. Elle offre à la recherche médicale des modèles qui peuvent faire progresser la compréhension de la physiologie humaine et des mécanismes pathologiques. La demande provenant du secteur de la santé exerce toutefois des pressions considérables sur la biodiversité. On estime ainsi que plus des deux tiers des plantes médicinales utilisées aujourd'hui sont récoltées à l'état sauvage dans la nature et que 4 000 à 10 000 d'entre elles seraient déjà menacées (Hamilton, 2003). Si le droit international et les législations nationales contribuent à réduire les activités de récolte non durables, la surexploitation continue d'être encouragée par les marchés illégaux de plantes médicinales et d'espèces animales (Alves et Rosa, 2007).

3. Biodiversité : l'état des politiques aujourd'hui

Cadres d'action pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité

Pour inverser les tendances actuelles et les projections en matière de perte de biodiversité, il sera nécessaire de redoubler d'efforts en faveur de la conservation de la biodiversité et de son utilisation durable. Comme la biodiversité apporte des avantages publics à l'échelle locale, régionale et planétaire, il importe que les pouvoirs publics agissent à tous ces niveaux. Ils disposent pour ce faire de différents instruments : mesures réglementaires (contraignantes), instruments économiques, instruments d'information et autres (tableau 4.2). Chacun d'eux est décrit dans les paragraphes qui suivent.

Tableau 4.2. **Moyens d'action en faveur de la conservation et de l'utilisation durable de la biodiversité**

Approches réglementaires (mesures contraignantes)	Instruments économiques	Instruments d'information et autres
Restriction ou interdiction d'utilisation (réglementation du commerce des espèces menacées d'extinction et CITES[1], par exemple).	Instruments fondés sur les prix : ■ Taxes (sur les prélèvements d'eaux souterraines, l'utilisation de pesticides et d'engrais, etc.). ■ Droits et redevances (pour l'exploitation des ressources naturelles, l'accès aux parcs nationaux, la délivrance de permis de chasse ou de pêche, etc.). ■ Subventions.	Éco-étiquetage et certification (labels d'agriculture biologique, labels pour le poisson ou le bois répondant à des critères d'exploitation durable, etc.).
Restriction ou interdiction d'accès (aires protégées, obligation légale de maintien de zones tampons le long des cours d'eau, etc.).	Réforme des subventions préjudiciables à l'environnement.	Marchés publics « verts » (achat de bois répondant à des critères d'exploitation durable, par exemple)
Permis et quotas (exploitation forestière, pêche, etc.).	Paiements pour services écosystémiques.	Accords volontaires (entre les entreprises et les pouvoirs publics pour la protection de la nature, par exemple) ou mesures compensatoires volontaires.
Normes quantitatives, qualitatives ou de conception (par exemple, prescriptions relatives au maillage des filets utilisés par les pêcheurs professionnels).	Mesures compensatoires pour la biodiversité, biobanques.	Comptabilité environnementale dans les entreprises.
Aménagement du territoire (corridors écologiques, par exemple).	Permis négociables (quotas individuels transférables dans le contexte de la pêche, crédits d'aménagement négociables, par exemple).	
Outils et prescriptions de planification [par exemple, études d'impact sur l'environnement (EIE) et évaluations stratégiques environnementales (ESE)].	■ Instruments d'engagement de responsabilité. ■ Amendes pour non-conformité. ■ Cautions de bonne exécution.	

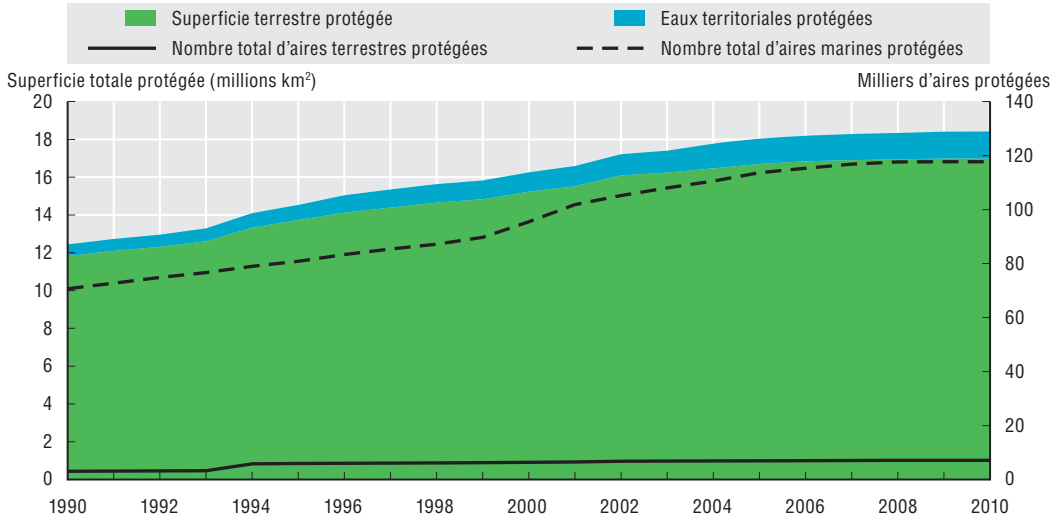
1. Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction.
Source : D'après OCDE (2010a), *Payer pour la biodiversité : Améliorer l'efficacité–coût des paiements pour services écosystémiques*, Éditions OCDE.

Approches réglementaires

La plupart des pays appliquent des approches réglementaires pour assurer la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité. La Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) réglemente le commerce international de quelque 5 000 espèces animales et 28 000 espèces végétales afin d'éviter qu'il ne mette en péril leur survie. Les restrictions commerciales imposées par la Convention varient en fonction du degré de protection nécessaire à chaque espèce (CITES, 2011).

Les aires protégées constituent un élément clé de la plupart des politiques et stratégies nationales de conservation de la biodiversité. Dans l'Union européenne, par exemple, les sites Natura 2000 protègent environ 18 % du territoire de l'Union et 130 000 km^2 de son domaine maritime (Natura 2000, 2011). Au total, les aires terrestres protégées couvrent quelque 12.7 % de la surface émergée du globe hors Antarctique (soit environ 17 millions km^2) (UICN et PNUE, 2011a) (graphique 4.17). Toutefois, certains biomes sont mieux protégés que d'autres. Ainsi, près de 30 % des prairies et broussailles de montagne et plus de 40 % des prairies et savanes inondées sont protégées, contre un peu moins de 5 % des prairies, savanes et broussailles tempérées (Coad *et al.*, 2009).

Graphique 4.17. **Évolution de la superficie mondiale des aires protégées, 1990-2010**



Source : UICN et WCMC (2011), *The World Database on Protected Areas* (WDPA), PNUE-WCMC, Cambridge, Royaume-Uni.

En revanche, il existe encore très peu d'aires marines protégées (AMP) dans le monde : 7.2 % des mers territoriales (jusqu'à 12 milles nautiques du littoral) sont aujourd'hui concernés (UICN et PNUE, 2011a), alors que des études montrent que les AMP peuvent accroître la densité, la diversité et la population des espèces (Halpern, 2003 ; Gaines *et al.*, 2010). Par exemple, deux ans après la création des réserves marines intégrales (zones de non-prélèvement) dans la Grande barrière de corail en Australie, on a constaté une augmentation de l'ordre de 57 à 75 % de la densité de truites coralliennes dans six des huit régions évaluées (Russ *et al.*, 2008). Un inconvénient des AMP existantes tient au fait qu'elles ne sont souvent pas assez étendues pour protéger convenablement l'habitat des espèces ciblées, de sorte que leur bénéfice net pour les écosystèmes marins peut être minime (Gaines *et al.*, 2010). L'agrandissement des AMP et la mise en réseaux contribueraient à pallier cet inconvénient.

La création de réseaux d'aires protégées reliées par des corridors naturels est également importante pour rétablir, maintenir ou renforcer la cohérence écologique et la capacité naturelle d'adaptation des écosystèmes, tout particulièrement lorsque les aires protégées sont petites ou soumises à des pressions, ou dans le contexte du changement climatique (Bennett et Mulongoy, 2006). Pour les écosystèmes transfrontaliers, le maintien de la connectivité peut nécessiter un effort de coordination entre les gestionnaires et les

chercheurs des pays concernés. En 2007, on dénombrait dans le monde 227 aires protégées transfrontalières, lesquelles regroupaient plus de 3 000 aires protégées individuelles ou sites répertoriés au niveau international (PNUE-WCMC, 2008)[16].

Il est cependant fréquent que les aires protégées ne bénéficient pas concrètement du niveau de protection prévu[17] pour cause de mauvaise gestion, par manque de financements ou parce que les mesures de suivi et d'application laissent à désirer. On qualifie parfois de « parcs de papier » ces aires protégées instituées par la loi, mais en fait librement accessibles. Selon une évaluation mondiale de l'efficacité de la gestion de 3 080 aires protégées, cette efficacité est en moyenne de 0.53 sur une échelle de 0 (gestion extrêmement inefficace) à 1 (gestion très efficace) ; dans 14 % des cas, il a été estimé que les éléments de base d'une gestion manquaient (Leverington *et al.*, 2008).

Dans le cadre de la création et de la gestion d'aires protégées, les pouvoirs publics devraient veiller à ce que les droits légaux et coutumiers des populations autochtones, des communautés locales et des autres parties prenantes soient pleinement respectés, et tenir compte du rôle important que peuvent jouer les communautés locales et autochtones dans la gestion des aires protégées et en tant que sources de connaissances locales et traditionnelles.

Les normes environnementales sont un autre instrument réglementaire largement utilisé en faveur de la biodiversité. Il peut s'agir notamment de normes de qualité (plafonds de concentration de métaux lourds dans les eaux ou les terres agricoles, par exemple), de normes quantitatives (nombre maximal d'animaux mis au pacage par jour et par hectare, volume maximum d'émissions polluantes, etc.) et de normes de conception (spécifications techniques des filets utilisés pour la pêche commerciale, par exemple). Les normes quantitatives ont pour avantage d'être largement applicables et d'énoncer explicitement des objectifs de préservation et d'utilisation durable de la biodiversité. Cependant, elles ne sont pas toujours d'un bon rapport coût-efficacité, ce qui tient au manque d'informations et au fait que les coûts de réduction de la pollution sont variables. De plus, elles peuvent avoir un effet de verrouillage en imposant durablement des technologies particulières.

Dans certains cas, l'existence de normes ne suffit pas et il est nécessaire d'interdire totalement une activité (par exemple, l'utilisation du DDT[18]). D'autres interdictions peuvent être prononcées temporairement, pour alléger certaines pressions et permettre aux écosystèmes de récupérer. En Chine, par exemple, la pêche est interdite dans l'ensemble du réseau hydrographique de la rivière des Perles deux mois par an, au début de la principale saison de reproduction. Cette mesure a pour but de restaurer les populations de poissons et d'améliorer la qualité des eaux (Quanlin, 2011). Des interdictions ont également été imposées à titre de précaution pour protéger des écosystèmes encore intacts mais mal connus. Ainsi, la Commission générale des pêches pour la Méditerranée (FAO) a interdit en 2005 le chalutage de fond à des profondeurs de plus de 1 000 m (CGPM, 2005).

Parmi les autres types d'instruments réglementaires communément utilisés figurent l'aménagement du territoire, les études d'impact sur l'environnement (EIE) et les évaluations stratégiques environnementales (ESE). Dans nombre de pays, la réalisation d'une EIE est obligatoire dans le contexte de l'urbanisme. Si la législation en la matière et ses modalités d'application varient d'un pays à l'autre, le cadre est cependant le même. Les EIE sont utilisées par des intervenants publics et privés pour déterminer, prévoir, évaluer et atténuer les effets des projets d'aménagement avant la prise de décision (IAIA, 1999). L'ESE est une approche complémentaire utilisée à un niveau supérieur dans les processus de planification et de décision, afin de déterminer et d'évaluer les conséquences pour

l'environnement et les préoccupations des parties prenantes dans le cadre de l'élaboration des politiques, des plans et des programmes (OCDE, 2006). Il est possible d'assurer une prise en compte systématique de la conservation de la biodiversité et de son utilisation durable dans les procédures d'aménagement en améliorant et en étoffant les critères de biodiversité des EIE et des ESE, qui sont souvent assez restreints. La CDB et l'OCDE ont mis au point des lignes directrices pour ce faire (CDB, 2005 ; OCDE, 2006).

Instruments économiques

Les taxes, redevances et droits environnementaux font partie des instruments économiques les plus couramment utilisés pour gérer la biodiversité dans les pays de l'OCDE. Parmi les taxes qui contribuent à prévenir les pertes de biodiversité, on peut citer celles qui frappent l'abattage d'arbres (dans la province canadienne de Colombie-Britannique, par exemple), les rejets d'eaux usées (en Allemagne, par exemple), le prélèvement d'eaux souterraines (aux Pays-Bas, par exemple) ou encore les pesticides et les engrais (au Danemark, par exemple) (OCDE, 2008d ; Larsen, 2005). Les droits et redevances peuvent viser entre autres la pêche et la chasse (droits de permis de pêche commerciale au Canada, permis de chasse en Finlande, etc.), la mise en valeur d'espaces naturels (par exemple, redevances d'aménagement des zones côtières en Corée), la distribution et l'utilisation de l'eau (redevances sur la distribution et la consommation d'eau en France, par exemple), et l'accès aux parcs nationaux (droits d'entrée, comme en Israël).

Les subventions font partie des instruments économiques les plus fréquemment utilisés par les pays de l'OCDE pour encourager la conservation de la biodiversité et son utilisation durable (OCDE, 2008d). Elles peuvent prendre différentes formes : transferts monétaires, exonérations ou réductions d'impôts, prêts assortis de conditions libérales ou encore mise à disposition d'infrastructures. Elles peuvent servir à récompenser des propriétaires fonciers qui mènent des activités bénéfiques pour l'environnement (en remettant en état des écosystèmes forestiers dégradés, comme en Corée), à encourager la mise hors production de terres (en Autriche, par exemple), à promouvoir le recours à des engins et pratiques de pêche plus respectueux de l'environnement (comme au Mexique et dans l'Union européenne), à dédommager les agriculteurs à qui l'on interdit l'épandage d'engrais dans des zones à haute valeur de conservation (en République tchèque, par exemple), à aider les agriculteurs qui conservent des systèmes de production propices à la biodiversité (par exemple, dans l'Union européenne), et à soutenir le développement des parcs naturels et des sentiers de découverte de la nature (comme au Japon) (OCDE, 2008d). Si les subventions peuvent encourager des comportements favorables à la biodiversité, elles ont aussi des inconvénients, puisqu'elles peuvent peser lourdement sur les finances publiques et les contribuables, et décourager l'innovation au lieu de l'encourager. Lorsque des programmes de subvention sont mis en place, ils devraient être limités dans le temps et étroitement surveillés.

Les paiements pour services écosystémiques (PSE) sont un nouvel instrument qui connaît un essor rapide et qui est utilisé pour réduire la perte de services écosystémiques ou accroître leur production. Ils ont été définis comme « un accord volontaire conditionnel entre au moins un vendeur et un acheteur qui porte sur un service environnemental bien précis – ou sur une utilisation des terres censée produire ce service » (Wunder, 2005). C'est le cas, par exemple, lorsque l'exploitant d'une centrale hydroélectrique, pour qui l'eau propre est un moyen de production, rémunère les gestionnaires des forêts situées en amont pour pérenniser la production de ce service. Les PSE peuvent être d'un bien meilleur

rapport coût-efficacité que les paiements indirects ou d'autres approches réglementaires utilisées à des fins environnementales. On peut citer, entre autres exemples, le fonds de conservation des forêts de Tasmanie en Australie, et le programme pour le bassin versant de Sumberjaya en Indonésie. Les programmes de PSE peuvent aussi mobiliser des financements privés, comme dans le cas du programme national de PSE au Costa Rica et du dispositif mis en place pour l'eau de Vittel (Nestlé) en France (OCDE, 2010a). On voit également apparaître des mécanismes internationaux semblables aux PSE qui peuvent favoriser la biodiversité, tels que le dispositif REDD-plus[19] et les paiements au titre de l'accès aux ressources et du partage de leurs avantages[20].

Les mesures compensatoires pour la biodiversité constituent un autre instrument nouveau : le principe est de réaliser des activités de conservation produisant des avantages mesurables sur le plan de la biodiversité, afin de compenser les pertes de biodiversité provoquées par des projets malgré la mise en œuvre de mesures de prévention et d'atténuation appropriées. Les mesures compensatoires peuvent s'inscrire dans un cadre réglementaire ou volontaire. L'Afrique du Sud, le Brésil, le Canada, la Chine, la France et le Mexique, entre autres, ont inscrit ces mesures dans leur législation ou établi des lignes directrices les concernant, tandis que plusieurs grandes entreprises industrielles les ont intégrées de leur propre initiative dans leur stratégie. C'est le cas notamment de Rio Tinto, BHP Billiton, Anglo Platinum et Shell (Ten Kate *et al.*, 2004 ; Treweek, 2009).

L'application des mesures compensatoires pour la biodiversité peut être assurée directement par le promoteur du projet dont il s'agit de compenser les effets, ou bien sous-traitée à des tiers, sur la base d'un arrangement *ad hoc* ou dans le cadre de « biobanques ». Dans ces biobanques sont déposés des crédits de biodiversité qui représentent le résultat d'actions bénéfiques pour la biodiversité allant au-delà de la conduite ordinaire des activités. Les crédits peuvent être mis en réserve et achetés ultérieurement par des promoteurs afin de compenser les pertes de biodiversité sur le site d'un projet. Parmi les exemples de biobanques, on peut citer le mécanisme *Conservation Banking* aux États-Unis et le programme *New South Wales Biobanking* en Australie.

Les permis négociables sont un autre instrument permettant de créer des marchés de la conservation et de l'utilisation durable de la biodiversité. Dans les systèmes de permis négociables, les pouvoirs publics imposent une limite ou un plafond global à l'accès des utilisateurs à une ressource. Des droits ou permis d'accès sont ensuite attribués aux utilisateurs qui, si leurs besoins le permettent, peuvent les céder ou les mettre en réserve. Les utilisateurs qui dépassent les limites fixées par leur permis sont sanctionnés. Des systèmes de permis négociables intéressant la biodiversité sont appliqués entre autres dans le secteur de la chasse et dans celui de la pêche, où ils prennent souvent la forme de quotas individuels transférables (QIT). Les QIT ont été adoptés par au moins 120 pêcheries à travers le monde. Les études montrent qu'en présence d'un programme de QIT bien conçu, les stocks de poisson et les bénéfices tirés de leur exploitation peuvent se redresser notablement (Costello *et al.*, 2008).

Instruments d'information et autres

Les instruments d'information peuvent être un moyen efficace de s'attaquer aux asymétries d'information qui existent souvent entre les entreprises, les pouvoirs publics et les citoyens. L'éco-étiquetage, par exemple, informe les consommateurs de l'impact environnemental de leurs décisions d'achat, ce qui leur permet de faire des choix respectueux de l'environnement. L'étiquetage et la certification écologiques sont aujourd'hui

monnaie courante dans un certain nombre de secteurs, en particulier en agriculture (par exemple, la certification RSPO – *Table ronde pour une huile de palme durable*), dans le secteur de la pêche (par exemple, la certification MSC – Marine Stewardship Council), en foresterie (par exemple, le Programme de reconnaissance des certifications forestières – PEFC) et dans le secteur du tourisme (par exemple, la certification Green Globe). On notera cependant que le seul recours aux instruments d'information pour susciter des changements de comportement chez les consommateurs montre des limites. Ainsi, d'après une récente étude de l'OCDE portant sur 10 000 ménages dans 10 pays de l'OCDE, les consommateurs ne sont généralement pas disposés à payer un surcoût de plus de 15 % pour acheter des produits certifiés biologiques, quelle que soit la catégorie de denrée alimentaire (OCDE, 2011b).

Autre instrument, les « accords volontaires » désignent des engagements librement consentis à mener des actions qui ont un effet bénéfique sur l'environnement. Il peut s'agir notamment d'engagements unilatéraux, tels que des programmes d'amélioration des performances environnementales mis en œuvre par des entreprises et faisant l'objet d'une communication à l'intention des parties prenantes (par exemple, le Conseil international des métaux et de l'environnement), de programmes publics facultatifs, où les entreprises participantes s'engagent à respecter des normes établies par des organismes publics (Système communautaire de management environnemental et audit, EMAS, par exemple), ou d'accords négociés entre les pouvoirs publics et certains secteurs industriels (par exemple, le programme intitulé *The Voluntary Initiative*, qui encourage une utilisation responsable des pesticides au Royaume-Uni) (OCDE, 2000). Le « verdissement » des marchés publics renvoie à un autre type d'accord volontaire par lequel les autorités publiques utilisent leur pouvoir d'achat pour choisir des biens, services et travaux respectueux de l'environnement, contribuant ainsi à une consommation et une production durables. Les accords volontaires peuvent être appliqués préalablement à l'adoption d'une loi ou en complément. Ils peuvent être utilisés pour mettre à l'essai des approches nouvelles et innovantes, pour sensibiliser aux questions de biodiversité et pour recueillir des informations et des données. Si la plupart des programmes volontaires (mais pas tous) semblent avoir atteint leurs objectifs environnementaux, il faut néanmoins prendre garde à fixer des objectifs qui soient suffisamment ambitieux (OCDE, 2003).

Choix d'une panoplie de mesures appropriée : considérations importantes

Pour lutter contre l'appauvrissement de la biodiversité et favoriser son utilisation durable, il est nécessaire d'associer mesures contraignantes, instruments économiques et instruments d'information. Sélectionner une panoplie appropriée de mesures pour encourager la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité n'est pas toujours facile. Il s'agit en effet de tenir compte à la fois des priorités locales et régionales et des engagements pris dans le cadre de la CDB et d'autres accords. La panoplie de mesures adoptée dépendra non seulement de la nature du problème environnemental à traiter, mais aussi du contexte social, culturel, politique et économique. Or, les politiques en matière de biodiversité peuvent elles-mêmes avoir des répercussions sur des priorités nationales plus vastes, comme la lutte contre la pauvreté, le développement durable et la croissance économique, qu'il convient d'appréhender de manière cohérente afin d'optimiser les synergies et de résoudre les incompatibilités éventuelles. La cohérence des politiques est également nécessaire au niveau international, afin d'éviter les « fuites », c'est-à-dire le transfert à l'étranger des pressions exercées sur la biodiversité en cas de durcissement des mesures de conservation dans un pays.

Dans certaines circonstances, c'est l'approche réglementaire qui convient le mieux. Par exemple, si un stock de poissons est sur le point d'être épuisé, une interdiction (temporaire) de la pêche peut être l'instrument le plus efficace. Cependant, les instruments économiques permettent souvent d'atteindre les objectifs de l'action publique pour un coût total inférieur à celui de l'approche réglementaire, car ils offrent une plus grande souplesse aux acteurs économiques et une incitation continue à l'amélioration, ce qui encourage l'innovation. Ils peuvent en outre rapporter des recettes à l'État (OCDE, 2011a).

Tandis que certains moyens d'action peuvent entrer en synergie pour produire des résultats plus efficaces sur le plan de l'environnement et des coûts, d'autres associations peuvent aller à l'encontre des objectifs recherchés ou déboucher sur des doubles emplois, ce qui ne fait qu'accroître les coûts administratifs. Par exemple, l'association de normes réglementaires et de dispositifs volontaires tels que la certification FSC pour le bois d'œuvre provenant de sources durables peut engendrer des synergies en imposant un niveau de performance minimum tout en encourageant les grandes sociétés industrielles à aller au-delà de la simple conformité. En revanche, les instruments économiques tels que les taxes peuvent perdre de leur souplesse s'il existe par ailleurs des règlements contraignants qui ciblent le même comportement. La question de savoir si les instruments adoptés vont fonctionner en synergie ou entrer en conflit dépend aussi, dans une large mesure, de la façon dont ils sont conçus (c'est-à-dire quelles sont leurs cibles et à quelle échelle réglementaire) (OCDE, 2007).

En outre, il importe de prendre en compte la répartition des coûts et avantages sociaux associés à chaque politique envisagée (« effets redistributifs ») et d'adopter des mesures appropriées pour éviter tout effet négatif (OCDE, 2008e). Les effets redistributifs interviennent à différentes échelles, et notamment entre pays, régions, secteurs et groupes de population. Le coût des politiques de préservation et d'amélioration de la biodiversité est généralement supporté par les habitants des régions où ces politiques sont appliquées. Or, une grande partie des avantages générés par ces politiques en termes de maintien et d'amélioration de la biodiversité se font ressentir ailleurs. Ce décalage entre les coûts et les avantages existe également à l'échelle de la planète. Les pays en développement, qui abritent la majorité de la diversité biologique, doivent souvent supporter les coûts des politiques en faveur de la biodiversité, alors que c'est l'ensemble du monde qui bénéficie d'une part importante des avantages. Des mécanismes de financement international de la protection de la biodiversité peuvent contribuer à remédier à ce problème (voir section 4).

Enfin, les politiques en faveur de la biodiversité ont une dimension temporelle en ce qu'elles ne concernent pas seulement les individus qui vivent aujourd'hui, mais auront aussi une influence sur les générations futures. Dans le cadre du processus d'élaboration des politiques, il convient donc de comparer les coûts et avantages potentiels des politiques relatives à la biodiversité à différents moments et de les justifier à l'aune de l'équité entre les générations.

Progrès récents

Bien que l'objectif entériné en 2002 par les Parties à la CDB – « assurer, d'ici à 2010, une forte réduction du rythme actuel de perte de diversité biologique » – n'ait pas été atteint, des progrès sont intervenus dans un certain nombre de domaines depuis la dernière

édition des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* (OCDE, 2008b). Au niveau international, deux grandes avancées politiques sont à signaler :

- En octobre 2010, à la 10e Conférence des Parties à la CDB (CdP-10) tenue à Nagoya (préfecture d'Aichi, Japon), les participants ont approuvé une nouvelle série de mesures, dont le *Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 et les Objectifs d'Aichi* (encadrés 4.4 et 4.5), ainsi qu'une *Stratégie de mobilisation des ressources*. Les Parties ont en outre adopté le protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation[21].
- En 2010, l'Assemblée générale des Nations Unies a approuvé la création de la plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES), qui est destinée à servir d'interface entre la communauté scientifique et les décideurs politiques. Les États sont convenus que les quatre fonctions clés de l'IPBES seront : *i)* d'identifier et hiérarchiser les principales informations scientifiques dont les décideurs ont besoin et de promouvoir la production de nouvelles connaissances ; *ii)* de conduire en temps voulu des évaluations périodiques de l'état des connaissances concernant la biodiversité et les services écosystémiques et leur interconnexion ; *iii)* d'appuyer l'élaboration et l'exécution des politiques en identifiant des outils et des méthodes appropriés ; et *iv)* de hiérarchiser les besoins en matière de création de capacités en vue d'améliorer l'interface science-politique, ainsi que de fournir et de susciter un appui, financier et autre, en faveur des besoins ayant reçu le rang de priorité le plus élevé, à savoir ceux liés directement à ses activités (IPBES, 2011).

L'élaboration d'une stratégie et d'un plan d'action nationaux pour la diversité biologique, conformément à l'article 6 de la CDB, est en bonne voie dans plusieurs pays. Entre 2008 et 2010, 14 nouveaux pays se sont dotés de ces instruments, portant ainsi le total à 171 pays (soit 89 % des Parties à la CDB), tandis que 10 pays ont actualisé les leurs en élaborant selon les cas la 2e ou 3e version (Prip *et al.*, 2010). Il convient à présent que les Parties à la CDB envisagent de réviser et d'actualiser leurs stratégies et plans d'action pour la biodiversité de façon à tenir compte des Objectifs d'Aichi (objectif 17, encadré 4.4).

Ces dernières années ont également vu progresser l'étendue des aires protégées terrestres et marines (voir aussi graphique 4.17). Aujourd'hui, 12.7 % des terres émergées du globe et 7.2 % des eaux territoriales sont désignées comme zones protégées (UICN et PNUE, 2011a). Des progrès supplémentaires devront être réalisés par les Parties à la CDB pour atteindre les Objectifs d'Aichi concernant les aires protégées qui ont été fixés lors de la CdP-10 à Nagoya (encadré 4.5).

Par ailleurs, des progrès sont à signaler en matière d'apport de financements publics en faveur de la biodiversité. L'aide publique au développement (APD) liée à la biodiversité[22] qui est fournie aux pays en développement par les pays donneurs (les membres du Comité d'aide au développement de l'OCDE) est passée d'environ 3 milliards USD en 2005 à 6.9 milliards USD en 2010 (graphique 4.19). En proportion de l'APD totale, elle est passée d'environ 2.5 % en 2005 à plus de 5 % en 2010. L'aide dont la biodiversité est l'objectif principal[23] a également progressé pour atteindre 2.6 milliards USD en 2010 contre environ 1.7 milliard USD en 2005 (OCDE, 2010b).

Ces dernières années ont vu une augmentation substantielle des financements consacrés à l'action climatique, ce qui a ouvert de nombreuses possibilités de synergies entre la lutte contre le changement climatique et l'adaptation à ses effets, d'une part, et la conservation de la biodiversité d'autre part. Par exemple, un mécanisme REDD-plus bien

Encadré 4.4. **Le *Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 et les Objectifs d'Aichi***

Le *Plan stratégique* envisage que « d'ici à 2050, la diversité biologique est valorisée, conservée, restaurée et utilisée avec sagesse, en assurant le maintien des services fournis par les écosystèmes, en maintenant la planète en bonne santé et en procurant des avantages essentiels à tous les peuples ».

La mission du nouveau plan est ainsi formulée :

« Prendre des mesures efficaces et urgentes en vue de mettre un terme à l'appauvrissement de la diversité biologique, afin de s'assurer que, d'ici à 2020, les écosystèmes soient résilients et continuent de fournir des services essentiels, préservant ainsi la diversité de la vie sur Terre, et contribuant au bien-être humain et à l'élimination de la pauvreté. Pour garantir cela, les pressions exercées sur la diversité biologique sont réduites, les écosystèmes sont restaurés, les ressources biologiques sont utilisées d'une manière durable et les avantages découlant de l'utilisation des ressources génétiques sont partagés d'une manière juste et équitable ; des ressources financières suffisantes sont fournies, les capacités sont renforcées, les considérations relatives à la diversité biologique et la valeur de la diversité biologique sont intégrées, des politiques appropriées sont appliquées de manière efficace, et les processus décisionnels s'appuient sur des bases scientifiques solides et l'approche de précaution. »

Ce plan comprend cinq buts stratégiques :

- But stratégique A. Gérer les causes sous-jacentes de l'appauvrissement de la diversité biologique en intégrant la diversité biologique dans l'ensemble du gouvernement et de la société.
- But stratégique B. Réduire les pressions directes exercées sur la diversité biologique et encourager son utilisation durable.
- But stratégique C. Améliorer l'état de la diversité biologique en sauvegardant les écosystèmes, les espèces et la diversité génétique.
- But stratégique D. Renforcer les avantages retirés pour tous de la diversité biologique et des services fournis par les écosystèmes.
- But stratégique E. Renforcer la mise en œuvre au moyen d'une planification participative, de la gestion des connaissances et du renforcement des capacités.

Les Objectifs d'Aichi qui présentent le plus d'intérêt dans le contexte de ce chapitre sont notamment les suivants :

- Objectif 2. D'ici à 2020 au plus tard, les valeurs de la diversité biologique ont été intégrées dans les stratégies et les processus de planification nationaux et locaux de développement et de réduction de la pauvreté, et incorporées dans les comptes nationaux, selon que de besoin, et dans les systèmes de notification.
- Objectif 3. D'ici à 2020 au plus tard, les incitations, y compris les subventions néfastes pour la diversité biologique, sont éliminées, réduites progressivement ou réformées, afin de réduire au minimum ou d'éviter les impacts défavorables, et des incitations positives en faveur de la conservation et de l'utilisation durable de la diversité biologique sont élaborées et appliquées, d'une manière compatible et en harmonie avec les dispositions de la Convention et les obligations internationales en vigueur, en tenant compte des conditions socio-économiques nationales.
- Objectif 5. D'ici à 2020, le rythme d'appauvrissement de tous les habitats naturels, y compris les forêts, est réduit de moitié au moins et si possible ramené à près de zéro, et la dégradation et la fragmentation des habitats sont sensiblement réduites.
- Objectif 16. D'ici à 2015, le protocole de Nagoya sur l'accès aux ressources génétiques et le partage juste et équitable des avantages découlant de leur utilisation est en vigueur et opérationnel, conformément à la législation nationale.

Encadré 4.4. **Le *Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 et les Objectifs d'Aichi*** *(suite)*

- Objectif 17. D'ici à 2015, toutes les Parties ont élaboré et adopté en tant qu'instrument de politique générale, et commencé à mettre en œuvre une stratégie et un plan d'action nationaux efficaces, participatifs et actualisés pour la diversité biologique.
- Objectif 20. D'ici à 2020 au plus tard, la mobilisation des ressources financières nécessaires à la mise en œuvre effective du *Plan stratégique 2011-2020* pour la diversité biologique de toutes les sources et conformément au mécanisme consolidé et convenu de la Stratégie de mobilisation des ressources, aura augmenté considérablement par rapport aux niveaux actuels. Cet objectif fera l'objet de modifications en fonction des évaluations des besoins de ressources que les Parties doivent effectuer et notifier.

Source : CDB (2010), *Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 et les Objectifs d'Aichi*, CDB, Montréal, disponible à l'adresse *www.cbd.int/sp/*.

conçu dans le cadre de la lutte contre le changement climatique pourrait apporter d'importants avantages annexes en matière de biodiversité, puisque la prévention du déboisement et de la dégradation des forêts devrait protéger les habitats et donc la biodiversité (Karousakis, 2009). Les engagements en faveur de la REDD-plus pour la période concernée par le financement de « démarrage rapide » (2010-12) s'élevaient en décembre 2010 à quelque 4.3 milliards USD[24].

Les flux financiers consacrés à l'adaptation au changement climatique, qui sont actuellement de l'ordre de 100 à 200 millions USD par an selon les estimations (Haites, 2011 ; Corfee-Morlot *et al.*, 2009), ouvrent des possibilités de conservation de la biodiversité, dans le contexte de l'adaptation fondée sur les écosystèmes. C'est ainsi que la Colombie a bénéficié d'un don du Fonds pour l'environnement mondial et d'un cofinancement pour un total de près de 15 millions USD afin de mettre en œuvre un plan national intégré d'adaptation dans lequel les mesures reposant sur les écosystèmes jouent un rôle important. Ces mesures consistent notamment à restaurer les écosystèmes naturels dans la partie supérieure des bassins hydrographiques, le long des cours d'eau et dans des zones sujettes à des glissements de terrain. Elles ont été élaborées au niveau local (27 avaient été menées à bien en 2010) et sont intégrées dans les politiques publiques et l'aménagement du territoire au niveau local et national (Andrade Pérez *et al.*, 2011 ; Banque mondiale, 2011).

4. La nécessité de poursuivre l'action

Malgré les progrès décrits ci-dessus, l'ampleur des problèmes soulevés par la préservation de la biodiversité implique que des efforts nouveaux et importants sont nécessaires aux niveaux local, national et international. Les quatre grandes priorités de l'action à poursuivre sont les suivantes :

i) La suppression ou la modification des subventions préjudiciables à l'environnement.

ii) Un engagement beaucoup plus poussé du secteur privé dans la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité, moyennant notamment des mécanismes de financement innovants et la création de marchés.

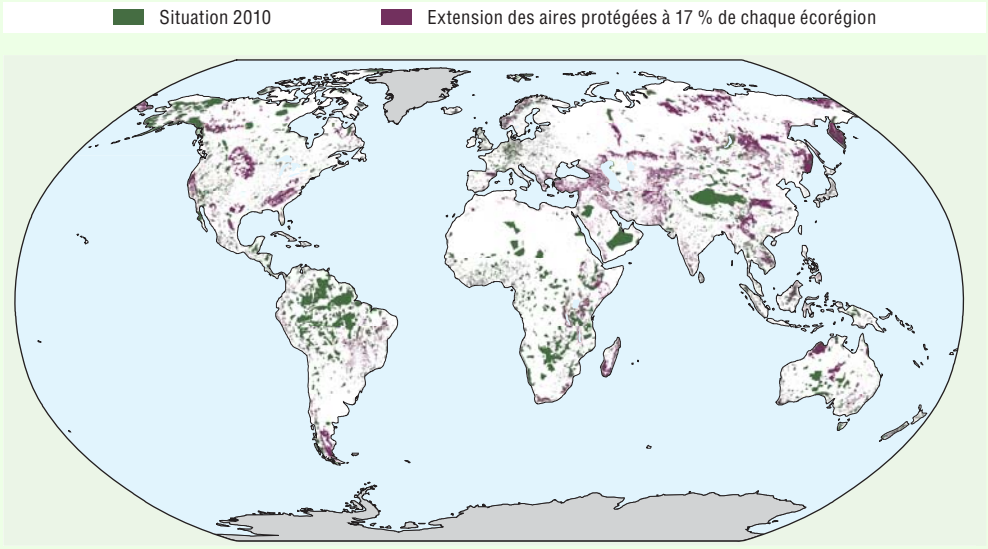
iii) L'amélioration des données, des systèmes de mesure et des indicateurs, y compris en ce qui concerne l'évaluation économique de la biodiversité.

iv) L'intégration de la conservation et de l'utilisation durable de la biodiversité dans d'autres domaines d'action des pouvoirs publics et secteurs de l'économie.

Encadré 4.5. **Et si… la superficie des aires protégées terrestres était portée à 17 % des terres émergées du globe ?**

L'objectif 11 d'Aichi pour la biodiversité vise à étendre d'ici à 2020 les réseaux mondiaux d'aires protégées de façon qu'ils couvrent au moins 17 % des zones terrestres et des eaux intérieures. Il précise que ces réseaux couvriront des « zones qui sont particulièrement importantes pour la diversité biologique et les services fournis par les écosystèmes », et qu'ils seront « écologiquement représentatifs » (décision X/2 CDB 2010). Un moyen d'assurer la représentativité écologique est d'appliquer l'objectif de 17 % à chacune des 65 principales écorégions du monde[1] plutôt que de l'exprimer simplement par rapport à la superficie terrestre globale. Une simulation de cette représentation (baptisée scénario d'*expansion des zones terrestres protégées*) a été effectuée à l'aide d'un modèle (voir l'annexe 4.A à la fin de ce chapitre). Elle montre que la superficie supplémentaire que chaque pays devrait protéger est très variable (graphique 4.18). En l'occurrence, ce sont les BRIICS qui auraient le plus à faire, aussi bien en termes absolus qu'en pourcentage de la superficie régionale, surtout la Russie (14 %) et l'Inde (10 %). Un effort substantiel devrait aussi être accompli par les pays européens de l'OCDE (10 %)[2]. En Afrique australe, au Japon et en Corée, ainsi qu'au Brésil, l'effort requis serait moindre[3]. Selon ce scénario, déclarer aires protégées 17 % des terres de chaque écorégion n'entraînerait qu'une baisse de 1 % des superficies en production au niveau mondial (0.5 million km^2 sur environ 40 millions km^2 consacrés aux cultures et aux pâturages).

Graphique 4.18. **Aires protégées supplémentaires nécessaires pour atteindre l'Objectif d'Aichi de 17 % au niveau mondial**



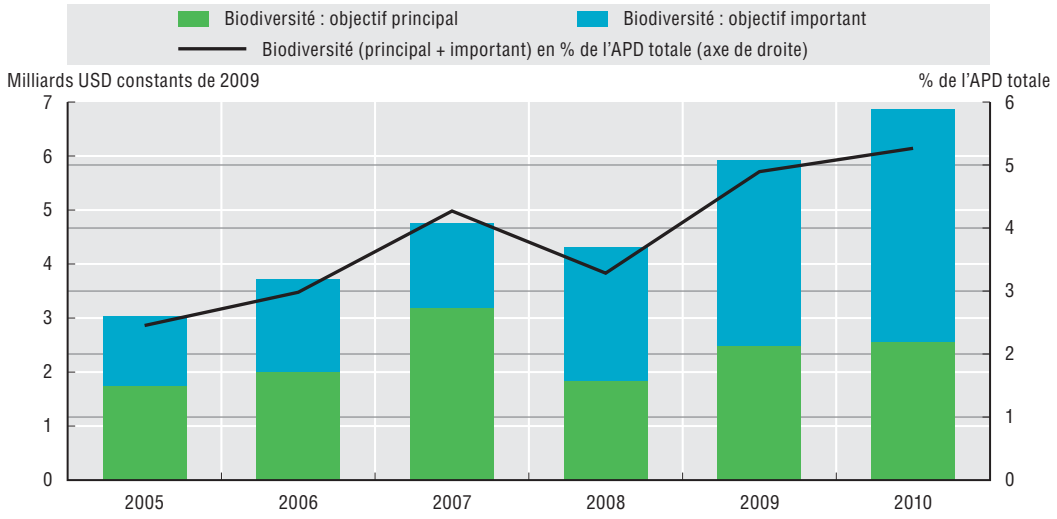
Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

1. Les écorégions sont une combinaison de domaines biogéographiques et de grands types de biomes (Olson *et al.*, 2001).
2. Dans l'UE, les sites protégés « Natura 2000 » couvrent environ 18 % de la surface terrestre. Il faudrait cependant 10 % supplémentaires pour protéger 17 % de toutes les écorégions représentatives.
3. Au Brésil et en Afrique australe particulièrement, une grande partie du territoire a déjà un statut protégé, mais les dispositions correspondantes sont appliquées avec plus ou moins de rigueur.

La suppression ou la modification des subventions préjudiciables à l'environnement

L'un des 20 Objectifs d'Aichi convenus à la CdP10 de la CDB prévoit d'éliminer, réduire progressivement ou réformer les subventions néfastes pour la biodiversité d'ici 2020 au plus tard, afin de limiter au minimum ou d'éviter leurs conséquences négatives. Les

Graphique 4.19. **APD liée à la biodiversité, 2005-2010**



Source : OCDE (2010b), *ODA for Biodiversity*, Éditions OCDE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594446

subventions qui peuvent nuire à la biodiversité sont celles qui encouragent, sans considération pour l'environnement, l'intensification ou l'expansion géographique d'activités économiques telles que l'agriculture, la production de bioénergie, la pêche, la sylviculture et les transports.

Le soutien aux producteurs agricoles dans les pays de l'OCDE, par exemple, mesuré par l'estimation du soutien aux producteurs (ESP), était évalué en 2008 à 265 milliards USD (OCDE, 2009b). Bien que la libéralisation des échanges mondiaux et les contraintes budgétaires nationales aient conduit à découpler le soutien de la production directe (cette forme de soutien tend à être particulièrement néfaste pour l'environnement), il faut continuer de le réorienter vers les objectifs environnementaux pour lesquels il existe une demande notionnelle, par exemple en subventionnant les biens publics environnementaux et en pénalisant les externalités dommageables. L'abolition des subventions aux engrais en Corée est un exemple récent de réforme qui réduit les pressions sur la biodiversité (OCDE, 2008d).

Les subventions à la pêche méritent elles aussi davantage d'attention. En dehors des cycles naturels, les stocks halieutiques sont vulnérables à l'intensification de la pêche et aux capacités de capture excessives, qui résultent en grande partie d'une augmentation de la demande alimentaire et des subventions versées dans un certain nombre de pays. L'épuisement de plus en plus rapide des stocks, l'utilisation de divers types d'engins de pêche néfastes, ainsi que les émissions et la pollution résultant des activités halieutiques, ont pour effet d'appauvrir la biodiversité marine et les biens et services fournis par les écosystèmes marins (que l'on connaît moins bien que la biodiversité terrestre). Au total, les pêches mondiales procurent des rentes de ressources négligeables et les investissements dans des actifs non performants se poursuivent (Arnason *et al.*, 2008). Les rendements médiocres s'expliquent en partie par une surcapacité notable dans de nombreux segments de la flotte mondiale et par l'absence de droits de propriété ou d'exploitation solidement établis dans les eaux nationales ou internationales. Or, la surcapacité est favorisée par les subventions à la

pêche. Remédier à l'échec de la gestion de cette ressource commune serait donc une solution gagnant-gagnant : reconstitution de la biodiversité, et économies financières potentiellement importantes grâce à la réorientation de décisions d'investissement (ten Brink *et al.*, 2010).

Les incidences directes et indirectes de l'adoption des bioénergies font l'objet de vastes débats. Dans beaucoup de pays, le recours aux biocarburants de première génération (produits essentiellement avec des céréales, de la canne à sucre et des huiles végétales) se traduit par une hausse des émissions de GES du fait que des terres sont converties et que les sols sont retournés. En outre, on ne possède guère de données, pour l'instant, sur les coûts et avantages annexes du point de vue de la biodiversité. Le House of Commons Environmental Audit Committee (2008) note que le bilan des mesures européennes de soutien aux bioénergies mises en œuvre au Royaume-Uni est ambigu, ce qui souligne qu'une subvention néfaste risque parfois d'être remplacée par une autre. Selon Doornbosch et Steenblik (2007), la ruée vers les cultures énergétiques menacerait de provoquer des pénuries alimentaires et de porter atteinte à la biodiversité, sans procurer beaucoup d'avantages en contrepartie. De plus, certains éléments donnent à penser qu'un soutien national aux bioénergies n'est pas nécessairement efficace par rapport à son coût (OCDE, 2008c). Des recherches plus poussées sur les biocarburants de deuxième génération (produits avec de la cellulose, de l'hémicelluloses ou de la lignine[25]) permettront peut-être d'atténuer les arbitrages entre énergie, alimentation (productivité) et biodiversité, à condition que ces technologies puissent tirer parti des biodéchets issus par exemple de l'agriculture ou de la sylviculture (voir aussi le chapitre 3).

Intensification de l'engagement du secteur privé dans la conservation de la biodiversité

Étant donné la tendance de la diminution de la biodiversité et les financements importants qui s'annoncent nécessaires (voir la section 1), il est urgent de renforcer l'engagement du secteur privé dans la préservation et l'utilisation durables de la biodiversité. Ce secteur commence à prendre de lui-même des initiatives en faveur de la biodiversité (encadré 4.6), mais les pouvoirs publics devront faire plus pour l'inciter à agir. Des signaux prix clairs sont au nombre des incitations mobilisables, pour encourager une utilisation durable des ressources naturelles et prévenir la pollution ; ils doivent lever toute incertitude et offrir au secteur privé la souplesse dont il a besoin pour y répondre avec le meilleur rapport efficacité-coût. Si les instruments économiques sont appliqués de plus en plus largement dans le monde (par exemple, les compensations de la biodiversité et les paiements pour services écosystémiques ; voir la section 3), ils ne sont, dans la plupart des cas, ni assez stricts, ni assez complets au regard de l'ampleur du défi que représente la préservation de la biodiversité. Les pouvoirs publics doivent aussi faire davantage pour montrer que la biodiversité et les services écosystémiques présentent à la fois des risques et des opportunités sur le plan commercial, et pour encourager et faciliter l'innovation (voir par exemple OCDE, 2009c ; TEEB, 2010b).

Les financements publics devront être complétés par des financements privés et utilisés comme leviers. Aux Pays-Bas, par exemple, dans le cadre du Fonds d'investissement vert, les pouvoirs publics assurent des conditions financières avantageuses et des réductions d'impôts aux investisseurs privés, afin d'encourager la mise en œuvre de projets écologiques tels que la renaturation des périmètres de captage d'eau potable. Depuis 1995, ces mécanismes ont généré environ 10 milliards EUR d'investissement dans des projets de cette nature.

Dans la mesure où la biodiversité procure des avantages qui ont le caractère de biens publics à l'échelle locale, régionale et mondiale, des financements innovants sont nécessaires à tous ces niveaux[26]. Il convient de renforcer les politiques locales et

Encadré 4.6. **Initiatives du secteur privé en faveur de la biodiversité**

Conseil mondial des entreprises pour le développement durable (World Business Council for Sustainable Development – WBCSD) : partenariat mondial réunissant quelque 200 grandes entreprises de plus de 30 pays et de 20 secteurs industriels importants. Le WBCSD offre aux entreprises une plateforme où elles peuvent explorer ensemble les questions de développement durable, mettre en commun leurs connaissances, leurs expériences et leurs meilleures pratiques, et défendre les positions du monde des affaires sur ces questions. La biodiversité est l'un des principaux thèmes d'activité du WBCSD. Parmi les travaux récents, on peut citer : *i)* l'initiative d'évaluation des écosystèmes, qui vise à encourager l'évaluation économique des écosystèmes en tant qu'outil d'information et d'amélioration de la prise de décision dans les entreprises ; et *ii)* l'Évaluation des services rendus par les écosystèmes aux entreprises, qui constitue un guide pratique pour identifier les risques et opportunités liés à l'évolution des écosystèmes.

Dow Chemicals et The Nature Conservancy : annoncé début 2011, ce partenariat a un budget de 10 millions USD. Des chercheurs de ces deux entités s'appuieront sur des modèles, des cartes et des analyses scientifiques de la biodiversité et des services écosystémiques pour aider Dow Chemicals à estimer la valeur de la nature et à en tenir compte dans ses décisions et stratégies commerciales. Ce partenariat se propose de rendre publics et de soumettre à des examens par les pairs les outils employés, les enseignements tirés de cette initiative et ses résultats, notamment à l'intention des autres entreprises, des scientifiques et des parties prenantes intéressées, afin qu'ils puissent les tester et les mettre en pratique. Un autre objectif de ce partenariat est de contribuer à favoriser l'émergence de marchés de la biodiversité et l'adoption de mécanismes de marché au profit de la préservation de la biodiversité.

Sources : www.wbcsd.org ; The Nature Conservancy (2011), *Working with Companies: Dow Announces Business Strategy for Conservation*, site web de Nature Conservancy, *www.nature.org/aboutus/ourpartners/workingwithcompanies/explore/dow-announces-business-strategy-for-conservation.xml*.

nationales et de concevoir des instruments pour le financement international de la biodiversité : il existe en la matière un fort déficit de l'action publique. On pourrait notamment explorer les possibilités de cofinancement international de programmes nationaux existants et efficaces. Le programme de PSE dans la vallée de Los Negros, en Bolivie, en est un exemple. Il prévoit des paiements pour deux types de services écosystémiques à la fois : la protection des bassins versants et la préservation des habitats des oiseaux : les irrigants, en aval, financent la protection du bassin versant (dont les avantages sont essentiellement locaux), mais le Fish and Wildlife Service des États-Unis finance celle des habitats des oiseaux migrateurs, qui a des retombées bénéfiques à l'échelle mondiale (Asquith *et al.*, 2008, cité dans OCDE, 2010a).

Il importe de noter que l'élaboration d'instruments destinés à lutter contre la détérioration de la biodiversité et leur application à plus grande échelle doivent être complétées par la mise en place d'un système plus global et transparent permettant de mesurer, de communiquer et de contrôler les flux financiers en faveur de la biodiversité. Les données de l'OCDE sur l'APD bilatérale relative à la biodiversité constituent à cet égard un bon point de départ (vor la section 3), mais des informations similaires sont nécessaires au sujet des financements nationaux, multilatéraux et privés. Cela permettrait de mieux déterminer où se situent les principaux manques de financement et donc de cibler plus efficacement les aides financières à l'appui de la biodiversité.

Améliorer les connaissances et les données pour renforcer l'efficacité de l'action publique en faveur de la biodiversité

Pour que les interventions des pouvoirs publics soient à la fois bénéfiques à l'environnement et efficaces par rapport à leur coût, il est essentiel, avant tout, d'améliorer les outils de mesure et les indicateurs relatifs à la biodiversité. Ces derniers sont indispensables pour établir des *scénarios de référence*, chiffrer les retombées bénéfiques et cibler les dépenses consacrées à la biodiversité. Ils permettent en outre d'évaluer les performances en matière de biodiversité et donc l'efficacité des interventions des pouvoirs publics au fil du temps. Il est urgent de développer et d'améliorer les outils de mesure et les indicateurs de la biodiversité à utiliser au niveau local, national et international. Les méthodes appliquées pour recueillir les données et en rendre compte doivent être aussi cohérentes que possible, de manière à permettre la comparaison des informations aussi bien entre pays qu'à l'intérieur de ceux-ci.

Au niveau international, l'une des principales applications des indicateurs est l'évaluation des tendances mondiales de la biodiversité et des progrès accomplis dans la réalisation des objectifs de la CDB. Cependant, comme nous l'avons indiqué dans la section 2, les indicateurs de base servant à évaluer les progrès sont rarement disponibles à l'échelle mondiale et sur de longues périodes. Une panoplie plus étendue d'indicateurs est actuellement à l'étude, en vue d'évaluer les progrès accomplis dans la réalisation des Objectifs d'Aichi pour la biodiversité à l'horizon 2020. Au niveau régional, l'une des initiatives les plus abouties est le projet de rationalisation des indicateurs européens de la biodiversité (SEBI) pour 2010, qui a été lancé pour évaluer la réalisation des objectifs de l'UE à l'horizon 2010 et en rendre compte. Dans plusieurs pays, des séries complémentaires d'indicateurs nationaux ont été élaborées ou sont en cours de création. Le Royaume-Uni, par exemple, a publié une liste de 18 indicateurs regroupés en six chapitres qui correspondent aux catégories de la CDB et de l'Union européenne (DEFRA, 2010). De nombreux pays devront cependant développer des compétences scientifiques et techniques, et notamment leurs capacités de partage des informations[27], pour qu'il devienne possible de mieux évaluer les tendances mondiales de la biodiversité au fil du temps.

Des outils de mesure et des indicateurs sont également nécessaires pour l'application des politiques de biodiversité à l'échelon national, régional et local. Comme les avantages de la biodiversité ne sont pas les mêmes partout, l'utilisation d'outils de mesure qui prennent en compte des variations géographiques (qui permettent, par exemple, de viser les zones où les retombées bénéfiques sont les plus grandes) peut améliorer le rapport entre le coût d'une politique et son efficacité. Ce rapport coût-efficacité peut aussi être renforcé en ciblant les secteurs où il existe un risque important de dégradation de la biodiversité ou des services écosystémiques, ou encore les secteurs où ces derniers peuvent être considérablement améliorés. Enfin, toujours dans l'optique du rapport entre le coût et l'efficacité des mesures, il convient de cibler en priorité les fournisseurs de services écosystémiques dont les coûts d'opportunité sont les plus bas. De plus en plus de méthodes et d'outils (y compris la cartographie) sont actuellement élaborés et appliqués à ces fins. Recourir à des approches de ciblage complexes peut augmenter le coût de l'administration d'un programme, mais, au total, l'amélioration du rapport entre coût et efficacité peut l'emporter largement (OCDE, 2010a).

La comptabilité environnementale et économique intégrée (aussi appelée comptabilité verte) est un autre domaine où les données pourraient être enrichies. Son objet est d'établir des comptes qui prennent en considération l'épuisement et la dégradation des actifs naturels, et qui intègrent l'information sur l'économie et l'environnement en ayant recours à

des concepts, des définitions et des classifications compatibles avec le système de comptabilité nationale (SCN). La comptabilité économique et environnementale intégrée peut fournir aux décideurs publics des indicateurs et des statistiques cohérents pour étayer la planification et l'analyse stratégiques. Plusieurs pays, dont l'Allemagne, l'Australie, le Botswana, le Canada, la Namibie, la Norvège, les Pays-Bas et les Philippines ont exploré ou adopté des éléments de comptabilité verte (Banque mondiale, 2006). Les applications pratiques se concentrent généralement sur les domaines où la demande d'outils comptables est clairement définie et liée à des questions précises comme la gestion des ressources naturelles et des matières et la planification de leur exploitation (flux d'eau, d'énergie, de matières, par exemple) ou la lutte contre la pollution (comptes d'émission), ainsi qu'à l'élaboration d'indicateurs connexes. À ce jour, seuls quelques pays ont établi un système comptable complet. Les avancées récentes sont les suivantes :

- Les travaux novateurs sur la comptabilité des écosystèmes et sur l'évaluation économique des services environnementaux, notamment le projet de partenariat mondial pour la comptabilisation et l'évaluation économique des services écosystémiques (WAVES) de la Banque mondiale, qui va apporter un appui à la mise en place d'une comptabilité du capital naturel et à son intégration dans la comptabilité économique nationale.
- Les travaux de l'Agence européenne de l'environnement (AEE) sur la comptabilité des écosystèmes.
- Les travaux menés au Royaume-Uni pour prendre en compte le capital naturel dans la comptabilité et la planification économiques nationales.

Le système de comptabilité économique et environnementale intégré (SCEE) est un cadre mondialement reconnu (encadré 4.7).

Encadré 4.7. **Comptabilité environnementale et économique intégrée : le SCEE**

Conçu en 1993 et modifié en 2003, le système de comptabilité économique et environnemental intégré (SCEE) est un compte satellite du système de comptabilité nationale (SCN). Il vise à remédier aux lacunes du SCN en tenant compte des stocks et des flux de ressources naturelles. Il comprend quatre catégories de comptes : *i)* flux de pollution, d'énergie et de matières ; *ii)* dépenses de protection de l'environnement et de gestion des ressources ; *iii)* comptabilité physique et monétaire des actifs environnementaux ; et *iv)* évaluation économique des flux non marchands et agrégats ajustés en fonction de l'environnement. Actuellement en cours de révision, le SCEE comprend trois chapitres : *i)* le cadre central, qui contient les concepts, les définitions, les classifications et les règles et tables de calcul ; *ii)* les comptes expérimentaux relatifs aux écosystèmes ; et *iii)* les extensions et applications du SCEE (achèvement prévu en 2012-13).

Source : ONU, CE, FMI, Banque mondiale et OCDE (2003), *Integrated Environmental and Economic Accounting (SEEA2003)*, Division de statistique de l'ONU, New York et *http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seea.asp*.

Bien qu'elle assure de façon directe et indirecte des services essentiels à toutes les sociétés, la biodiversité ne se voit souvent accorder qu'un faible degré de priorité par les décideurs publics. En effet, sa valeur est implicite bien plus qu'explicite. Or, il est facile de laisser de côté ce qui n'est pas quantifiable ou ce qui est difficile à soumettre à un suivi et à une évaluation. La récente étude sur l'économie des écosystèmes et de la biodiversité (TEEB, 2010a

et 2010b) apporte des arguments convaincants en faveur de la prise en compte de l'économie de la biodiversité et des systèmes écosystémiques dans les décisions des responsables publics nationaux et locaux et des entreprises. Une véritable évaluation économique de la biodiversité et de son appauvrissement permettra de prendre des décisions de meilleure qualité et plus efficaces par rapport à leur coût, et d'éviter des arbitrages inadaptés (OCDE, 2002).

L'évaluation économique de la biodiversité et des services écosystémiques a de nombreuses applications : les analyses coût-avantages de l'action publique (par exemple, des réglementations fédérales concernant l'environnement aux États-Unis) ; le calcul des externalités environnementales d'une activité, dans le cadre des décisions d'investissement ou fiscales (projet ExternE de la CE, par exemple) ; la mise en place d'une comptabilité nationale verte (par exemple, le cadre européen pour une comptabilité environnementale économique intégrée de la forêt – CEEIF) ; et la fixation d'indemnités en cas de dégâts causés aux ressources naturelles (par exemple, évaluation des atteintes aux ressources naturelles aux États-Unis) (OCDE, 2002). Plus généralement, l'évaluation économique est essentielle pour sensibiliser à l'importance de la préservation de la biodiversité et de son utilisation durable.

À la suite de l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MA, 2005), plusieurs initiatives ont été lancées en vue d'estimer la valeur de la biodiversité et des services écosystémiques. Menée au Royaume-Uni, l'évaluation nationale des écosystèmes sera la première à être achevée à l'échelle d'un pays (encadré 4.8). Des projets similaires en sont à différents stades d'élaboration dans d'autres pays, comme l'Espagne, les États-Unis et Israël.

Encadré 4.8. **Améliorer les fondements des décisions économiques concernant les biens écosystémiques**

L'évaluation nationale des écosystèmes au Royaume-Uni

En 2011, le Royaume-Uni a achevé un ambitieux projet visant à évaluer les modifications enregistrées par les écosystèmes terrestres, dulcicoles et marins sur l'ensemble du territoire britannique au cours des soixante dernières années, ainsi que leur évolution probable à l'avenir. Cette évaluation chiffre l'état et la valeur du milieu naturel et des services qu'il rend à la société. Elle estime les options qui se présentent en matière d'action publique et de gestion pour assurer l'intégrité des systèmes naturels à l'avenir et favoriser la prise de conscience de leur importance centrale pour le bien-être humain et la prospérité économique. Elle offre une meilleure base pour établir des liens entre les écosystèmes et les objectifs de croissance, et sera utilisée par les pouvoirs publics pour orienter leur politique future.

Source : PNUE-WCMC (2011), *UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of Key Findings*, PNUE-WCMC, Cambridge, *http://uknea.unep-wcmc.org/*.

Prendre systématiquement en compte la biodiversité dans d'autres domaines d'action

Pour chacune des trois priorités mentionnées ci-dessus, il est nécessaire de mieux prendre en compte et de mieux intégrer la biodiversité dans les objectifs généraux de l'action conduite dans d'autres secteurs à l'échelle nationale et internationale. Les politiques doivent être harmonisées de façon à exploiter toutes les synergies et à limiter les arbitrages nécessaires au minimum. Par exemple, dans le cadre de la politique environnementale, il convient de prendre en compte les interactions qui existent entre biodiversité et changement climatique. Comme indiqué à la section 2, on prévoit que ce dernier jouera un rôle croissant dans la diminution de la biodiversité à l'avenir. Son atténuation peut donc avoir incidemment des avantages notables pour la biodiversité (encadré 4.9).

Encadré 4.9. **Et si… une politique ambitieuse d'atténuation du changement climatique était conduite de telle manière qu'elle limite aussi la diminution de la biodiversité ?**

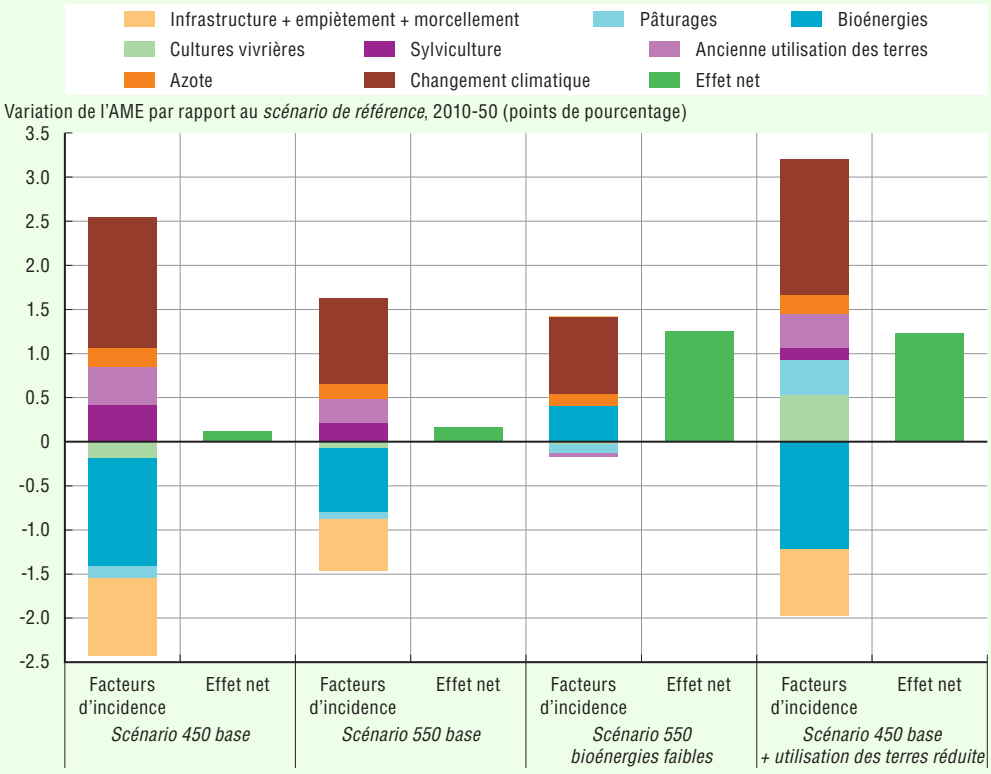
D'après le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, la concentration de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère devrait continuer d'augmenter. La hausse des températures qu'on en attend, à savoir 2.4 °C au-dessus du niveau préindustriel en 2050 (marge d'incertitude 2.0 °C-2.8 °C), va se traduire par une baisse supplémentaire de l'AME de 2.9 points de pourcentage à cette date (voir le graphique 4.10 plus haut). Dans le cadre des travaux de modélisation réalisés pour établir les présentes *Perspectives de l'environnement*, un scénario dit *450 base* a été étudié. Dans ce scénario, les émissions de GES sont stabilisées à 450 ppm d'équivalent CO_2 de manière à limiter la hausse de la température mondiale moyenne à 2 °C au-dessus du niveau préindustriel d'ici à la fin du XXIe siècle, avec une probabilité de 50 %. D'après les modèles, cela limiterait la diminution de l'AME imputable au changement climatique entre 2010 et 2050 à 1.4 point de pourcentage (voir le chapitre 3 sur le changement climatique et son annexe pour de plus amples renseignements).

Cependant, différentes possibilités sont envisageables pour atteindre cet objectif. Certaines sont plus favorables que d'autres à la biodiversité :

- Dans le scénario *450 base*, environ 20 % de l'approvisionnement total en énergie primaire sont censés être assurés en 2050 par les bioénergies, dont la production mobilise au total 3.1 millions km^2 de terres agricoles (contre seulement 0.9 million km^2 dans le *scénario de référence*). La limitation de la hausse de la température mondiale moyenne aurait des effets positifs sur la biodiversité, mais le changement plus important de l'affectation des terres entraînerait une diminution supplémentaire de 1.2 point de pourcentage de l'AME. Du point de vue de la biodiversité, la conjugaison d'une réduction du changement climatique, d'un accroissement de l'utilisation des terres et d'autres pressions entraînerait un gain net de 0.1 point de pourcentage en 2050 si l'on fait la comparaison avec le *scénario de référence* (graphique 4.20). Ce gain s'accroîtrait au fil du temps compte tenu de l'inertie du système climatique et aussi, simplement, parce que le nombre de cultures énergétiques récoltées sur une superficie donnée augmenterait peu à peu, ce qui limiterait d'autant plus les émissions (voir annexe 4.A pour plus de précisions).
- Le scénario *450 ppm + utilisation des terres réduite* simule une autre façon d'atteindre l'objectif de 450 ppm tout en évitant que des écosystèmes naturels comme les forêts soient convertis en nouvelles superficies agricoles (voir l'annexe 4.A pour plus de précisions). Ce scénario conjugue le scénario *450 base* avec des projections qui prennent pour hypothèse une expansion moins importante des superficies agricoles. Dans cette simulation, les superficies cultivées et les pâturages sont réduits de 1.2 million km^2 et de 1 million km^2 respectivement en 2050, en comparaison avec le *scénario de référence*, grâce à une amélioration de la productivité agricole. Dans ce cadre, la déforestation due à l'expansion des superficies agricoles prévue dans le *scénario de référence* pourrait être totalement évitée, ce qui réduirait les émissions de GES imputables aux forêts de 12.7 Gt de carbone en 2050, soit 7 % de l'effort de réduction des émissions requis. Pour la biodiversité, l'effet conjugué de l'atténuation du changement climatique, de la réduction de l'utilisation des terres à des fins agricoles et des autres pressions devrait être une augmentation de l'AME de 1.2 point de pourcentage par rapport au *scénario de référence* en 2050. Environ un tiers du gain net de biodiversité serait obtenu dans les biomes forestiers tropicaux et tempérés ; ce gain pourrait être un bénéfice collatéral de l'atténuation du changement climatique, y compris d'incitations à la REDD.

Encadré 4.9. **Et si… une politique ambitieuse d'atténuation du changement climatique était conduite de telle manière qu'elle limite aussi la diminution de la biodiversité ?** *(suite)*

Graphique 4.20. **Incidence sur la biodiversité de différents scénarios d'atténuation du changement climatique**



Source : Projections des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, effectuées à l'aide du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594465

Le chapitre 3 décrit par ailleurs un scénario d'atténuation moins ambitieux, à 550 ppm. Dans ce scénario intitulé 550 *base*, les bioénergies sont censées représenter 13 % de l'approvisionnement total en énergie primaire en 2050. Cela correspond à 2.2 millions km^2 de terres labourables. L'effet net du scénario 550 *base* sur la biodiversité serait une amélioration de l'AME de 0.2 point de pourcentage en 2050, en comparaison avec le *scénario de référence*. Néanmoins, l'amélioration serait beaucoup moins sensible au-delà de 2050 et la hausse de la température mondiale moyenne serait beaucoup plus prononcée que dans le scénario 450 *base*. Si l'on diminue encore plus l'utilisation des bioénergies dans ce scénario, en la ramenant à seulement 6.5 % de la consommation totale d'énergie (scénario intitulé 550 *bioénergies faibles*), les avantages nets en termes de biodiversité sont beaucoup plus grands (l'AME est de 1.3 point de pourcentage plus élevée que dans le *scénario de référence*). Limiter le recours aux bioénergies se traduira probablement par une augmentation des coûts d'atténuation, lesquels dépendront fortement de l'existence d'autres solutions (dans les transports, par exemple).

Encadré 4.9. **Et si… une politique ambitieuse d'atténuation du changement climatique était conduite de telle manière qu'elle limite aussi la diminution de la biodiversité ?** *(suite)*

Ces simulations (décrites dans le graphique 4.20) mettent en évidence les arbitrages importants à opérer entre la politique climatique, l'utilisation des bioénergies et la politique d'utilisation des terres et de la biodiversité. Les montants exacts de ces arbitrages sont incertains. Tout d'abord, l'incidence négative du recours aux bioénergies sur la biodiversité pourrait éventuellement être réduite par une limitation de l'ampleur de la réaffectation des terres. Pour ce faire, on pourrait faire appel à des systèmes de production des bioénergies à rendement plus élevé et privilégier les sources qui ne nécessitent pas de terres supplémentaires (par exemple, des résidus non comestibles de l'agriculture et de la sylviculture et la fraction organique des déchets municipaux solides). Ensuite, la production des bioénergies pourrait être pratiquée sur les terres ayant une faible valeur du point de vue de la biodiversité (par exemple, des sols dégradés), encore que cela entraînerait probablement des coûts supplémentaires. Enfin, il convient de noter que le degré exact de l'incidence future du changement climatique sur la biodiversité est très incertain (en raison des incertitudes concernant les réactions du climat à la hausse des niveaux de CO_2, la relation entre changement climatique et biodiversité, et le volume des émissions indirectes de GES attribuables à l'utilisation des bioénergies). Il ressort des résultats qu'il est nécessaire de suivre de près l'incidence d'un recours accru aux bioénergies sur le changement d'affectation des terres et sur la biodiversité, de manière à renforcer la cohérence entre politique climatique et politique de la biodiversité.

Cet examen de différentes options d'atténuation du changement climatique montre qu'il est nécessaire d'évaluer les politiques de l'environnement au moyen d'approches intégrées, à même de mettre en lumière les éventuels arbitrages à opérer et les retombées positives que les différents axes de l'action publique peuvent incidemment avoir les uns sur les autres.

Il est essentiel non seulement de favoriser les synergies entre différents objectifs environnementaux, mais aussi de déterminer les synergies et les clivages qui existent au-delà de l'action relative à l'environnement. S'agissant par exemple des synergies entre préservation de la biodiversité et emploi, des investissements réalisés dans la protection de la biodiversité dans une réserve maya au Guatemala rapportent près de 50 millions USD par an ; ils ont permis de créer 7 000 emplois et d'augmenter les revenus des familles de la région (PNUE, 2010). Nombreux sont les facteurs de diminution et de dégradation de la biodiversité et des services écosystémiques qui résultent de l'action menée en-dehors des domaines relevant des ministères chargés de l'Environnement. Prendre en considération systématiquement les objectifs concernant la biodiversité et les intégrer plus largement dans l'éventail des objectifs économiques nationaux fait partie des actions à mener dans le cadre d'une stratégie efficace en faveur d'une croissance verte (OCDE, 2012) ; c'est également indispensable pour assurer le succès du *Plan stratégique 2011-2020* de la CDB (CDB, 2010 ; voir le But stratégique A et l'objectif 2 dans l'encadré 4.4).

Pour assurer la prise en compte systématique de la biodiversité, il faut modifier les politiques, les stratégies, les plans, les programmes et les budgets. Il convient aussi d'apporter une réponse plus cohérente, coordonnée et stratégique aux priorités multiples auxquelles les gouvernements nationaux doivent faire face. La détermination politique des principaux responsables et la mobilisation des acteurs sont à cet égard indispensables. Les

domaines de l'action publique concernés au premier chef sont l'agriculture, l'urbanisme, les transports, l'énergie (biocarburants/biocombustibles), la sylviculture et le changement climatique. L'encadré 4.10 propose un cadre d'élaboration d'une approche plus complète et intégrée devant servir à relever le défi que constitue la détérioration de la biodiversité et des services écosystémiques (OCDE, 2012).

Encadré 4.10. **Une stratégie pour une croissance verte et la biodiversité**

Pour être propice à la biodiversité, une stratégie pour une croissance verte doit comporter les principaux éléments suivants :

i) Confronter les tendances de la biodiversité aux projections fondées sur le *statu quo* (compte tenu de la croissance démographique, de la croissance économique et de la demande de produits agricoles, en particulier). Cela aiderait à déterminer un point de repère par rapport auquel on pourrait évaluer les progrès ultérieurs. Ce processus servirait à cerner les facteurs clés à l'origine de la diminution et de la dégradation de la biodiversité, ainsi que les domaines où, d'après les projections, les changements devraient être les plus rapides.

ii) Définir une vision à long terme de la croissance verte et de la biodiversité (cette mission pourrait par exemple être confiée à un groupe d'étude conjoint à haut niveau et être fondée sur une analyse coût-avantages). Cette tâche doit être réalisée en coordination (et en parallèle) avec des activités similaires en faveur de la croissance verte menées dans différents domaines et secteurs de l'économie, tels que l'agriculture, l'énergie, le changement climatique et le développement. Pour favoriser une meilleure coordination et une meilleure coopération entre les différents ministères (Environnement, Économie, Agriculture, Énergie, Trésor, etc.), des groupes d'étude conjoints à haut niveau pourraient être chargés de concevoir la vision à long terme, de manière à ce que celle-ci tire parti des synergies existantes et opère les arbitrages éventuellement nécessaires. Dans la mesure du possible, la vision à long terme doit s'appuyer sur une analyse coût-avantages.

iii) Déterminer les actions possibles et les domaines d'intervention les moins coûteux (pour fixer les priorités et l'ordre des actions à mener).

iv) Mettre en œuvre la stratégie. Cela suppose de choisir les instruments appropriés (réglementaires, économiques ou volontaires) dans la boîte à outils et de mettre en place la panoplie des mesures nécessaires pour atteindre les objectifs intermédiaires et à long terme.

v) Assurer le suivi de l'application de la stratégie et ses révisions. Cela consiste à mesurer les progrès accomplis eu égard aux objectifs et à revoir les approches au fil du temps pour les améliorer, en fonction des nouvelles informations et des leçons tirées de l'expérience.

Source : D'après OCDE (2012), « Green Growth and Biodiversity », Éditions OCDE.

Notes

1. La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), la Convention sur la diversité biologique (CDB) et la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNUCLD).
2. Voir *www.bipindicators.net/indicators*. Il est envisagé d'ajouter d'autres indicateurs pour les objectifs 2020 en matière de biodiversité.
3. L'indice trophique marin est calculé à partir de la composition des captures mondiales et indique le niveau trophique moyen (position dans la chaîne alimentaire) des captures des pêcheries.

4. Pour une description du modèle GLOBIO utilisé pour le calcul de l'abondance moyenne des espèces, voir l'annexe A sur le cadre de modélisation, à la fin des présentes *Perspectives de l'environnement*.

5. Les biomes sont un type d'écosystème naturel généralisé. Ils se définissent par leur type de sol et leurs conditions climatiques (Prentice *et al.*, 1992).

6. Cela n'implique pas que davantage d'espèces ont disparu dans les forêts tempérées, par exemple, car les forêts tropicales sont généralement plus riches en biodiversité.

7. Plusieurs facteurs peuvent expliquer les différences d'abondance des espèces telle que mesurée par l'AME et par l'IPV : l'AME couvre toutes les espèces alors que l'IPV ne prend en compte que les vertébrés ; contrairement à l'AME, l'IPV inclut la région arctique polaire et la toundra dans la définition des zones tempérées ; alors que l'AME porte sur les systèmes terrestres, l'IPV mesure la biodiversité dans les systèmes terrestres, marins et d'eau douce ; enfin, l'IPV utilise la moyenne géométrique, ce qui rend difficilement compte des extinctions, puisque la moyenne géométrique ne s'applique qu'à des valeurs positives.

8. L'indice peut être calculé pour tout groupe d'espèces qui a déjà été évalué au moins deux fois pour la liste rouge de l'UICN.

9. Par « forêt », la FAO (2010b) désigne « les terres occupant une superficie de plus de 0.5 hectare avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à cinq mètres et un couvert arboré de plus de 10 %, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils *in situ*. Sont exclues les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante ».

10. Une pêcherie est dite pleinement exploitée lorsqu'elle est exploitée à un niveau de rendement optimal ou quasi optimal et n'offre aucune perspective de développement.

11. Cet indice suit l'évolution de 2 023 populations de 636 espèces de poissons et d'oiseaux, de tortues et de mammifères marins vivant dans les écosystèmes marins des zones tempérées et tropicales.

12. Voir Alkemade *et al.* (2009) et l'annexe A des présentes *Perspectives de l'environnement*, consacrée au cadre de modélisation.

13. Ce rythme d'augmentation est probablement surestimé, compte tenu du caractère limité des données rétrospectives sur l'utilisation des forêts. En 2010, la superficie forestière totale utilisée pour la production de bois représentait environ un tiers de la superficie forestière mondiale selon la FAO (2010a), un niveau qui n'est atteint qu'en 2050 dans les projections du *scénario de référence*. Cette différence est très probablement due au fait qu'en réalité, l'augmentation de l'utilisation des forêts consistera en majeure partie en la réutilisation de forêts qui ont déjà été exploitées dans le passé (avant 1970). Cependant, les statistiques de la FAO (évaluations successives des ressources forestières mondiales) ne comportent pas de données sur les tendances à long terme pour cette période.

14. Les espèces exotiques envahissantes et les autres formes de pollution ne sont pas couvertes par le modèle GLOBIO utilisé pour les *Perspectives de l'environnement*, pas plus que la surexploitation des mers. La surexploitation des ressources naturelles terrestres est partiellement et indirectement prise en compte dans les rubriques utilisation des terres et empiètement.

15. Les espèces exotiques envahissantes sont définies par l'UICN comme : « des animaux, des plantes ou d'autres organismes introduits par l'homme dans des zones se situant hors de l'aire naturelle de distribution de l'espèce. Elles s'installent, se propagent et peuvent avoir de graves conséquences sur l'écosystème et les espèces indigènes » (UICN, 2011). À titre d'exemple, l'introduction à Guam du serpent *Boiga irregularis* a provoqué l'extinction de quasiment tous les oiseaux forestiers indigènes de l'île (ISSG, 2000).

16. Le Réseau mondial des aires protégées transfrontalières (*Global Transboundary Conservation Network*) a été lancé au Ve Congrès mondial sur les parcs de l'UICN en vue de produire des connaissances spécialisées et des orientations concernant tous les aspects de la planification, de la gestion et de la gouvernance de la conservation transfrontalière. Voir *www.tbpa.net/page.php?ndx=78*.

17. L'UICN reconnaît sept catégories d'aires protégées allant de celles où l'activité humaine est strictement limitée, à celles où il est interdit d'altérer seulement certains aspects du milieu naturel. Ces catégories tiennent compte du fait que les objectifs de protection et d'utilisation durable sont complexes et doivent être poursuivis de différentes manières pour servir différents buts sociaux.

18. Le DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) est un pesticide de synthèse dont l'utilisation en agriculture a été interdite dans le monde entier par la Convention de Stockholm. De fait, il a des effets dommageables sur la santé humaine et a été mis en cause dans la diminution de la population de plusieurs espèces d'oiseaux, comme le pygargue à tête blanche et le pélican brun.

19. La réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD) est un nouveau mécanisme financier proposé pour le régime climatique post-2012 sous l'égide de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). La REDD a été élargie pour englober la préservation et la gestion durable des forêts ainsi que le renforcement des stocks de carbone forestiers, conformément au Plan d'action de Bali (décision 1/CP.13) ; ces différents volets sont désignés collectivement par le terme REDD-plus.

20. L'une des fonctions de la Convention sur la diversité biologique (CDB) est de définir à l'intention des pays un ensemble de principes, d'obligations et de responsabilités concernant l'accès aux ressources génétiques et le partage des avantages découlant de leur utilisation.

21. Aux termes du protocole de Nagoya, l'accès aux ressources génétiques est subordonné au consentement préalable donné en connaissance de cause par le pays d'origine de celles-ci, et au partage des avantages tant monétaires que non monétaires tirés de leur utilisation, sur la base de conditions convenues d'un commun accord.

22. « L'aide liée à la biodiversité » recouvre des activités qui contribuent à au moins un des trois objectifs de la CDB, à savoir : i) la conservation de la diversité biologique ; ii) l'utilisation durable de ses éléments ; et iii) le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques.

23. Parmi les activités prises en compte dans l'aide liée à la biodiversité, on distingue celles dont la biodiversité est un objectif significatif et celles dont elle est l'objectif principal. Pour qu'elle soit considérée comme l'objectif principal, il faut que l'activité *vise directement* et *explicitement* la réalisation de l'un des trois objectifs de la CDB.

24. La Norvège et les États-Unis apporteront près de 50 % de ce montant. Six pays – Norvège, États-Unis, Japon, Allemagne, Royaume-Uni, France – représentent 88 % du total des engagements, et les 12 % restants proviennent de 8 autres sources (Simula, 2010).

25. Définition tirée de IEA Bioenergy Task 39 (2009).

26. Les financements innovants en faveur de la biodiversité désignent des instruments nouveaux tels que les paiements pour services écosystémiques et leur déclinaison internationale, les compensations de la biodiversité, les « banques de biodiversité » et la vente aux enchères de permis négociables, entre autres (voir la section 3).

27. La Global Biological Information Facility est un exemple d'initiative de partage de l'information.

Références

Ahlenius, H. (2004), *Global Development and Biodiversity*, PNUE/GRID-Arendal Maps and Graphics Library, *http://maps.grida.no/go/graphic/global-development-and-biodiversity*.

Alkemade, R. *et al.* (2009), « GLOBIO3: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Loss », *Ecosystems*, vol. 12, pp. 374-390.

Alves, R. et I. Rosa (2007), « Biodiversity, Traditional Medicine and Public Health: Where Do they Meet? », *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, vol. 3(14).

Andrade Pérez, A., B. Herrera Fernandez et R. Cazzolla Gatti (dir. pub.) (2010), *Building Resilience to Climate Change: Ecosystem-based adaptation and lessons from the field*, Gland, Suisse : UICN.

Arnason, R. (2008), *Rents and Rent Drain in the Icelandic Cod Fishery, Revised Draft*, préparé pour le programme PROFISH de la Banque mondiale, Washington.

Balmford, A. *et al.* (2002), « Economic Reasons for Conserving Wild Nature », *Science*, vol. 297, n° 5583, pp. 950-953.

Banque mondiale (2004), *Sustaining Forests: A Development Strategy*, Banque mondiale, Washington, DC.

Banque mondiale (2006), *Where is the Wealth of Nations? Measuring Capital for the 21st Century*, Banque mondiale, Washington, DC.

Banque mondiale (2008), *Rapport sur le développement dans le monde 2008 : L'agriculture au service du développement*, Banque mondiale, Washington, DC.

Banque mondiale (2011), *Implementation Status and Results. Colombia: Integrated National Adaptation Program (P083075)*, *Report*, n° ISR2733, Banque mondiale, Washington, DC.

Beaumont, N., M. Austen, S. Mangi et M. Townsend (2006), *Marine Biodiversity: An Economic Valuation*, DEFRA, Londres.

Beckage, B. *et al.* (2007), « A Rapid Upward Shift of a Forest Ecotone During 40 Years of Warming in the Green Mountains of Vermont », *PNAS* (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America), vol. 105, pp. 4197-4202.

Bennett, G. et K.J. Mulongoy (2006), « Review of Experience with Ecological Networks, Corridors and Buffer Zones », *Technical Series*, n° 23, SCDB (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique), Montréal.

Berry, P. (2007), *Adaptation Options on Natural Ecosystems. A Report to the UNFCCC Secretariat Financial and Technical Support Division*, CCNUCC (Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques), Bonn.

Billen, G. et J. Garnier (2007), « River Basin Nutrient Delivery to the Coastal Sea: Assessing its Potential to Sustain New Production of Non-Siliceous Algae », *Marine Chemistry*, vol. 106(1-2), pp. 148-160.

Brink, P. ten *et al.* (2008), « Critical Thresholds, Evaluation and Regional Development », *European Environment*, vol. 18, pp. 81-95.

Brink, B. ten, *et al.* (2010), *Rethinking Global Biodiversity Strategies: Exploring Structural Changes in Production and Consumption to Reduce Biodiversity Loss*, Netherlands Environment Assessment Agency (PBL), La Haye/Bilthoven.

Brooks, T.M. *et al.* (2006), « Global Biodiversity Conservation Priorities », *Science*, vol. 313, n° 5783, pp. 58-61.

Butchart, S. *et al.* (2010), « Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines », *Science*, vol. 348, n° 5982, pp. 1164-1168.

Cao, M. et I. Woodward (1998), « Net Primary and Ecosystem Production and Carbon Stocks of Terrestrial Ecosystems and their Responses to Climate Change », *Global Change Biology*, vol. 4, pp. 185-198.

CDB (Convention sur la diversité biologique) (2005), *Biodiversity-Inclusive Impact Assessment: Information Document in Support of the CBD Guidelines on Biodiversity in EIA and SEA*, Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique, Montréal.

CDB (2010), *Plan stratégique pour la diversité biologique 2011-2020 et les Objectifs d'Aichi*, CDB, Montréal.

CGPM (Commission générale des pêches pour la Méditerranée) (2005), « Recommandation CGPM/2005/1 concernant la gestion de certaines pêcheries exploitant des espèces démersales et des espèces vivant en eau profonde », *Recommandations de la CGPM sur la conservation et la gestion*, 2005, CGPM, Rome.

Chivian, E. (dir. pub.) (2002), *Biodiversity: Its Importance to Human Health, Interim Executive Summary*, Center for Health and the Global Environment, Harvard Medical School, Boston, MA.

CITES (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction) (2011), Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, *www.cites.org*.

Coad, L., N. Burgess, B. Bomhard et C. Besançon (2009), « Progress Towards the Convention on Biological Diversity's 2010 and 2012 Targets for Protected Area Coverage », *Rapport technique pour l'atelier international de l'UICN Looking to the Future of the CBD Programme of Work on Protected Areas*, Ile de Jéju, République de Corée, 14-17 septembre 2009, UICN, Gland, Suisse.

Conservation International (2004), Biodiversity Hotspots Revisited (Data Basin Dataset), *www.arcgis.com/home/item.html?id=bc755b56fce8492d9817a9de49255f99*.

Corfee-Morlot, J., B. Guay et K.M. Larsen (2009), *Financing Climate Change Mitigation: Towards a Framework for Measurement, Reporting and Verification*, OCDE/AIE (Agence internationale de l'énergie), Paris.

Costello, C., S. Gaines et J. Lynhams (2008), « Can Catch Shares Prevent Fisheries Collapse? », *Science*, vol. 321, n° 1678.

Dalal, R. et D. Allen (2008), « Greenhouse Gas Fluxes from Natural Ecosystems », *Australian Journal of Botany*, vol. 56, pp. 369-407.

DEFRA (Department for the Environment, Food and Rural Affairs) (2010), *UK Biodiversity Indicators in Your Pocket 2010: Measuring Progress Towards Halting Biodiversity Loss*, DEFRA, Londres.

Doornbosch, R. et R. Steenblik (2007), « Biofuels – Is the Cure Worse than the Disease? », *Rapport officiel de l'OCDE*, présenté à la *Table ronde sur le développement durable*, Paris, 11-12 septembre 2007.

Dybas, C.L. (2005), « Dead Zones Spreading in World Oceans », *Bioscience*, vol. 55, pp. 552-557.

Eickhout, B. *et al.* (2006), « Modelling Agricultural Trade and Food Production under Different Trade Policies », *in* A.F. Bouwman, T. Kram et K. Klein Goldewijk (dir. pub.), *Integrated Modelling of Global Environmental Change: An Overview of IMAGE 2.4*, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven.

Emerton, L. et E. Bos (2004), *Value: Counting Ecosystems as Water Infrastructure*, UICN (Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources), Gland, Suisse, et Cambridge, Royaume-Uni.

Everaert, J. et E. Stienen (2006), « Impact of Wind Turbines in Zeebrugge (Belgium): Significant Effect on Breeding Tern Colony Due to Collisions », *Biodiversity and Conservation*, vol. 16, pp. 3345-3359.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) (2006), *Évaluation des ressources forestières mondiales 2005*, FAO, Rome.

FAO (2010a), *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2010*, FAO, Rome.

FAO (2010b), *Évaluation des ressources forestières mondiales 2010*, FAO, Rome.

Gaines, S., C. White, M. Carr et S. Palumbi (2010), « Designing Marine Reserve Networks for Both Conservation and Fisheries Management », *PNAS* (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America), vol. 107, n° 43, pp. 18286-18293.

Gallai, N., J.M. Salles, J. Settele et B.E. Vaissière (2009), « Economic Valuation of the Vulnerability of World Agriculture Confronted with Pollinator Decline », *Ecological Economics*, vol. 68, pp. 810-821.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2001), « Bilan 2001 des changements climatiques : Rapport de synthèse », contributions des groupes de travail I, II et II au troisième *Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge.

GIEC (2007), « Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse », contributions des groupes de travail I, II et II au *Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, GIEC, Genève, Suisse.

Groffman, P. *et al.* (2006), « Ecological Thresholds: The Key to Successful Environmental Management or an Important Concept with No Practical Application? », *Ecosystems*, vol. 9, pp. 1-13.

Haites, E. (2011), « Climate Change Finance », *Climate Policy*, vol. 11, n° 3, pp. 963-969.

Halpern, B. (2003), « The Impact of Marine Reserves: Do Reserves Work and Does Reserve Size Matter? », *Ecological Society of America*, vol. 13, n° 1, pp. 117-137.

Hamilton, A. (2003), *Medicinal Plants and Conservation: Issues and Approaches*, International Plants Conservation Unit, WWF-UK, Godalming, Royaume-Uni.

Heal, G. *et al.* (2002), « Genetic Diversity and Interdependent Crop Choices in Agriculture », *Beijer Discussion Paper*, n° 170, The Beijer Institute of Ecological Economics, The Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm.

Hilton-Taylor, C. *et al.* (2008), « Status of the World's Species », *in* J.C. Vié, C. Hilton-Taylor et S.N. Stuart (dir. pub.), *The 2008 Review of the IUCN Red List of Threatened Species*, UICN, Gland, Suisse.

House of Commons Environmental Audit Committee (2008), *Are Biofuels Sustainable? First Report of Session 2007-08*, vol. 1, The Stationery Office, by order of the House of Commons, Londres.

IAIA (International Association for Impact Assessment) (1999), *Principles of Environmental Impact Assessment Best Practice*, IAIA, Fargo, Dakota du Nord.

IEA Bioenergy Task 39 (2009), « Commercializing 1st- and 2nd-generation Liquid Biofuels: Definitions », *www.task39.org/About/Definitions/tabid/1761/language/en-US/Default.aspx*.

Initiative COHAB (Co-operation on Health and Biodiversity) (2010), « The Importance of Biodiversity to Human Health », *UN CBD COP 10 Policy Brief*, n° 10, COHAB Initiative Secretariat, Galway, Irlande.

IPBES (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) (2011), site web *http://ipbes.net*.

ISSG (Invasive Species Specialist Group) (2000), *Aliens 12*, UICN, Gland, Suisse.

James, A., K. Gaston et A. Balmford (2001), « Can We Afford to Conserve Biodiversity? », *BioScience*, vol. 5, n° 1, pp. 43-52.

Kapos, V. *et al.* (dir. pub.) (2008), *Carbon and Biodiversity: A Demonstration Atlas*, PNUE-WCMC, Cambridge, Royaume-Uni.

Karousakis, K. (2009), « Promouvoir les avantages connexes liés à la biodiversité dans le cadre de la REDD », *Document de travail sur l'environnement*, n° 11, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/220188577008*.

Kate, K. ten, J. Bishop et R. Bayon (2004), *Biodiversity Offsets: Views, Experience, and the Business Case*, UICN, Gland, Suisse, Cambridge et Insight Investment, Londres.

Kindermann, G. *et al.* (2008), « Global Cost Estimates of Reducing Carbon Emissions through Avoided Deforestation », *PNAS* (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America), vol. 105, n° 30, pp. 10302-10307.

Larsen, H. (2006), « The Use of Green Taxes in Denmark for the Control of the Aquatic Environment », *in* OCDE, *Evaluating Agri-Environmental Policies: Design, Practice and Results*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264010116-20-en*.

Leverington, F., M. Hockings et K. Costa (2008), *Management Effectiveness Evaluation in Protected Areas: Report for the Project « Global Study into Management Effectiveness Evaluation of Protected Areas »*, The University of Queensland, Gatton, UICN, WCPA, TNC, WWF, Australie.

Loh, J. *et al.* (2010), « Monitoring Biodiversity – the Living Planet Index », *in* WWF (World Wide Fund for Nature), ZSL (Zoological Society of London) et GFN (Global Footprint Network), *Living Planet Report 2010 Biodiversity, Biocapacity and Development*, WWF, Gland, Suisse.

MA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005), *Millennium Ecosystem Assessment – Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*, World Resources Institute, Washington.

McDonald, I. (2009), « Current Trends in Ethnobotany », *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, vol. 8(4), pp. 295-296.

Myers, R., J. Baum, T. Shepherd, S. Powers et C. Peterson (2007), « Cascading Effects of the Loss of Apex Predatory Sharks from a Coastal Ocean », *Science*, vol. 315, n° 5820, pp. 1846-1850.

Nations Unies, CE (Commission européenne), FMI (Fonds monétaire international), Banque mondiale et OCDE (2003), *Integrated Environmental and Economic Accounting (SEEA 2003)*, Division de statistique des Nations Unies, New York.

Natura 2000 (2010), site web de Natura 2000 sur les échanges de bonnes pratiques, *www.natura2000exchange.eu*, consulté le 10 mai 2010.

Nature Conservancy, The (2011), « Working with Companies: Dow Announces Business Strategy for Conservation », site web de The Nature Conservancy, *www.nature.org/aboutus/ourpartners/workingwithcompanies/explore/dow-announces-business-strategic-for-conservation.xml*.

New, T. et Z. Xie (2008), « Impacts of Large Dams on Riparian Vegetation: Applying Global Experience to the Case of China's Three Gorges Dam », *Biodiversity and Conservation*, vol. 17, pp. 3149-3163.

Newman, D. et G. Cragg (2007), « Natural Products as Sources of New Drugs over the Last 25 Years », *Journal of Natural Products*, vol. 70, n° 3, pp. 461-477.

Nowak, D., D. Crane et J. Stevens (2006), « Air Pollution Removal by Urban Trees and Shrubs in the United States », *Urban Forestry and Urban Greening*, vol. 4, pp. 115-123.

OCDE (2000), *Les approches volontaires dans les politiques de l'environnement : Analyse et évaluation*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264280267-fr*.

OCDE (2002), *Manuel d'évaluation de la biodiversité : Guide à l'intention des décideurs*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264275799-fr*.

OCDE (2003), *Les approches volontaires dans les politiques de l'environnement. Efficacité et combinaison avec d'autres instruments d'intervention*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264101807-fr*.

OCDE (2006), *Lignes directrices et ouvrages de référence du CAD. L'évaluation environnementale stratégique. Guide de bonnes pratiques dans le domaine de la coopération pour le développement*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264026803-fr*.

OCDE (2007), *Politiques de l'environnement : Quelles combinaisons d'instruments ?*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264018754-fr*.

OCDE (2008a), *Coûts de l'inaction sur des défis environnementaux importants*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264045842-fr*

OCDE (2008b), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264040502-fr*.

OCDE (2008c), *Politiques de soutien des biocarburants : Une évaluation économique*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264050167-fr*.

OCDE (2008d), *Rapport sur la mise en œuvre de la recommandation du Conseil de 2004 sur l'utilisation des instruments économiques pour faciliter la conservation et l'exploitation durable de la biodiversité*, sous-groupe sur les aspects économiques de la biodiversité, OCDE, Paris.

OCDE (2008e), *Politiques de la biodiversité : Impacts socio-économiques, enjeux et stratégies d'action des pouvoirs publics*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264034334-fr*.

OCDE (2009a), *Ressources naturelles et croissance pro-pauvres : Enjeux économiques et politiques*, Lignes directrices et ouvrages de référence du CAD, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264041844-fr*.

OCDE (2009b), *Politiques agricoles des pays de l'OCDE 2009 : Suivi et évaluation*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/agr_oecd-2009-fr*.

OCDE (2009c), *La bioéconomie à l'horizon 2030 : Quel programme d'action ?*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264056909-fr*.

OCDE (2010a), *Payer pour la biodiversité : Améliorer l'efficacité-coût des paiements pour services écosystémiques*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264090293-fr*.

OCDE (2010b), *ODA for Biodiversity*, système de notification des pays créanciers de l'OCDE en ligne, Éditions OCDE, *http://stats.oecd.org/* (Development).

OCDE (2011a), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264111332-fr*.

OCDE (2011b), *Politique de l'environnement et comportement des ménages*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264096776-fr*.

OCDE (2012), « Green Growth and Biodiversity », Éditions OCDE.

Olsen, D.M. et E. Dinerstein *et al.* (2001), « Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth », *Bioscience*, vol. 51, n° 11, pp. 933-938.

Olsen, R. (2006), « Climate Change and Floodplain Management in the United States », *Climatic Change*, vol. 76, n° 3-4, pp. 407-426.

OMS (Organisation mondiale de la Santé) (2002), *Traditional Medicine Strategy (2002-05)*, OMS, Genève.

Paerl, H. *et al.* (2003), « Phytoplankton Photopigments as Indicators of Estuarine and Coastal Eutrophication », *BioScience*, vol. 53, n° 10, pp. 953-964.

Parker, C. et M. Cranford (2010), *The Little Biodiversity Finance Book*, Global Canopy Programme, Oxford.

Peréz, A., R. Gatti et B. Fernández (2011), « Building Resilience to Climate Change: Ecosystem Based Adaptation and Lessons from the Field », *Ecosystem Management Series*, n° 9, UICN, Gland, Suisse.

Pimental, D., R. Zuniga et D. Morrison (2005), « Update on the Environmental and Economic Costs Associated with Alien-Invasive Species in the United States », *Ecological Economics*, vol. 52, pp. 273-288

PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement) (2004), *Rapport sur le développement humain 2004 : La liberté culturelle dans un monde diversifié*, PNUD, New York.

PNUE (2007), *GEO-4 : L'environnement pour le développement*, PNUE, Nairobi, Kenya.

PNUE (2010), *Our Planet: Biodiversity – Our Life*, Nairobi, Kenya, *www.unep.org/ourplanet*.

PNUE-WCMC (Centre mondial de surveillance continue de la conservation de la nature) (2008), *État des aires protégées dans le monde, 2007 : Bilan annuel des progrès mondiaux en matière de conservation*, PNUE-WCMC, Cambridge, Royaume-Uni, *www.unep-wcmc.org/medialibrary/2010/09/17/ef2ea85c/WDPA_AR08_French.pdf*.

PNUE-WCMC (2011), *UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of Key Findings*, PNUE-WCMC, Cambridge, Royaume-Uni, *http://uknea.unep-wcmc.org/*.

Prentice, I. *et al.* (1992), « A Global Biome Model Based on Plant Physiology and Dominance, Soil Properties and Climate », *Journal of Biogeography*, n° 19, pp. 117-134.

Prip, C., T. Gross, S. Johnston et M. Vlerros (2010), « Biodiversity Planning: An Assessment of National Biodiversity Strategies and Action Plans », United Nations University Institute of Advanced Studies, Yokohama, Japon.

Quanlin, Q. (2011), « Pearl River Fishing Ban May Reduce Net Loss », *China Daily*, 14 avril, *www.chinadaily.com.cn/cndy/2011-04/14/content_12322894.htm*.

Rockström, J. *et al.* (2009), « Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity », *Ecology and Society*, vol. 14, n° 2, p. 32.

Royal Society, The (2008), *Sustainable Bioenergy: Prospects and Challenges*, The Royal Society, Londres.

Russ, G. *et al.* (2008), « Rapid Increase in Fish Numbers Follows Creation of World's Largest Marine Reserve Network », *Current Biology*, vol. 18, n° 12, pp. 514-515.

Sala, O.E. *et al.* (2000), « Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100 », *Science*, vol. 287, pp. 1770-1774.

Salazar, L.F., C.A. Nobre et M.D. Oyama (2007), « Climate Change Consequences on the Biome Distribution in Tropical South America », *Geophysical Research Letters*, vol. 34, n° L09708.

SCDB (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique) (2009a), *Espèces exotiques envahissantes : Une menace à la biodiversité*, SCDB, Montréal.

SCDB (2009b), *Biodiversité, développement et réduction de la pauvreté : Reconnaître le rôle de la biodiversité pour le bien-être humain*, SCDB, Montréal.

SCDB (2009c), « Review of the Literature on the Links Between Biodiversity and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation », *CBD Technical Series*, n° 42, SCDB, Montréal.

SCDB (2010a), *Perspectives mondiales de la diversité biologique*, n° 3, SCDB, Montréal.

SCDB (2010b), *Updating and Revision of the Strategic Plan for the Post-2010 Period*, SCDB, Montréal.

Scheffer, M. *et al.* (2009), « Early Warning Signals for Critical Transitions », *Nature*, vol. 461, pp. 53-59.

Simula, M. (1999), *Trade and Environmental Issues in Forest Production: Environment Division Working Paper*, Banque interaméricaine de développement.

Simula, M. (2010), « Analysis of REDD+ Financing Gaps and Overlaps », Partenariat REDD+, *www.reddpluspartnership.org*.

Smith, K. et W. Darwall (2006), *The Status and Distribution of Freshwater Fish Endemic to the Mediterranean Basin*, UICN, Gland, Suisse, et Cambridge, Royaume-Uni.

Stein, B., L. Kutner et J. Adams (2000), *Precious Heritage: The Status of Biodiversity in the United States*, Oxford University Press, New York.

Sudmeier-Rieux, K. (2006), *Ecosystems, Livelihoods and Disasters: An Integrated Approach to Disaster Risk Management*, UICN, Gland, Suisse, et Cambridge, Royaume-Uni.

TEEB (L'économie des écosystèmes et de la biodiversité) (2009), *L'économie des écosystèmes et de la biodiversité pour les décideurs politiques nationaux et internationaux – Résumé : prendre en compte la valeur de la nature*, TEEB, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Genève.

TEEB (2010a), *L'économie des écosystèmes et de la biodiversité : Intégration de l'économie de la nature. Une synthèse de l'approche, des conclusions et des recommandations de la TEEB*, TEEB, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Genève.

TEEB (2010b), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Report for Business*, TEEB, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Genève.

Treweek, J. (2009), *Scoping Study for the Design and Use of Biodiversity Offsets in an English Context: Final Report to Defra*, DEFRA (Department for the Environment, Farming and Rural Affairs), Royaume-Uni.

UICN (Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources) (2011), *Espèces envahissantes*, site web de l'UICN, *www.iucn.org/fr/propos/union/secretariat/bureaux/iucnmed/programme_uicn_med/especes/especes_envahissantes/*.

UICN et PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) (2011a), *The World Database on Protected Areas (WDPA)*, PNUE-WCMC (Centre mondial de surveillance continue de la conservation de la nature), Cambridge, Royaume-Uni, données consultées en janvier 2011.

UICN et PNUE (2011b), *The World Database on Protected Areas (WDPA)*, PNUE-WCMC (Centre mondial de surveillance continue de la conservation de la nature), Cambridge, Royaume-Uni, données consultées en avril 2011.

Vinodhini, R. et M. Narayanan (2008), « Bioaccumulation of Heavy Metals in Organs of Fresh Water Fish Cyprinus Carpio (Common Carp) », *International Journal of Environmental Science Technology*, vol. 5, n° 2, pp. 179-182.

Vittor, A. *et al.* (2006), « The Effect of Deforestation on the Human-Biting Rate of *Anopheles darlingi*, the Primary Vector of Falciparum Malaria in the Peruvian Amazon », *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 74, pp. 3-11.

Vuuren, D. van, E. Bellevrat, A. Kitous et M. Isaac (2010), « Bioenergy Use and Low Stabilization Scenarios », *The Energy Journal*, vol. 31, pp. 192-222.

Walker, B., C. Holling, S. Carpenter et A. Knizig (2004), « Resilience, Adaptability and Transformability in Social-Ecological Systems », *Ecology and Society*, vol. 9, n° 2, p. 5.

Wunder, S. (2005), « Payments for Environmental Services: Some Nuts and Bolts », *CIFOR Occasional Paper*, n° 42, Center for International Forestry Research, Bogor, Indonésie.

WWF (Fonds mondial pour la nature), ZSL (Zoological Society of London) et GFN (Global Footprint Network) (2010), *Rapport Planète Vivante 2010 : Biodiversité, biocapacité et développement*, WWF, Gland, Suisse.

Yachi, S. et M. Loreau (1999), « Biodiversity and Ecosystem Productivity in a Fluctuating Environment: The Insurance Hypothesis », *PNAS*, vol. 96, pp. 1463-1468.

Zaghi, D. *et al.* (2010), *Literature Study on the Impact of Biodiversity Changes on Human Health*, Comunità Ambient Srl, rapport établi pour la Commission européenne (DG Environnement), CE, Bruxelles.

ANNEXE 4.A

Informations relatives à la modélisation sur la biodiversité

La présente annexe apporte des précisions sur les aspects suivants de la modélisation :

- Un résumé des évolutions socio-économiques prévues qui sous-tendent le *scénario de référence*.
- Le scénario intitulé *expansion des zones terrestres protégées*.
- Les répercussions sur la biodiversité de différents scénarios d'atténuation du changement climatique.

Évolutions socio-économiques dans le *scénario de référence*

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* établit des projections sur un certain nombre d'évolutions socio-économiques présentées ci-dessous (et décrites plus en détail aux chapitres 1 et 2). Elles ont ensuite été utilisées pour construire les projections de référence relatives aux questions touchant à la biodiversité abordées dans le présent chapitre :

- Dans le prolongement de la tendance des quarante dernières années et d'après des projections détaillées des principaux moteurs de la croissance économique, le PIB mondial devrait pratiquement quadrupler au cours des quatre prochaines décennies. La part de la zone OCDE dans l'économie mondiale devrait tomber à moins de 32 % en 2050 contre 54 % en 2010, alors que celle du Brésil, de la Russie, de l'Inde, de l'Indonésie, de la Chine et de l'Afrique du Sud (BRIICS) devrait dépasser 40 %.
- En 2050, plus de 2.2 milliards d'habitants devraient être venus s'ajouter aux 7 milliards que compte actuellement la planète. D'après les hypothèses, toutes les régions du monde seront confrontées à un vieillissement de leur population, mais elles se situeront à des stades différents de cette transition démographique.
- En 2050, d'après le scénario, près de 70 % de la population mondiale vivra en milieu urbain.
- Si les politiques en vigueur aujourd'hui continuent d'être appliquées, la demande mondiale d'énergie devrait avoir augmenté de 80 % en 2050. À cette date, le mix énergétique mondial devrait être à peu près similaire à celui d'aujourd'hui, la part des énergies fossiles représentant toujours près de 85 % (de l'énergie commerciale) et celle des énergies renouvelables, biocarburants compris (mais hors biomasse traditionnelle), un peu plus de 10 %, le reste étant d'origine nucléaire. Parmi les combustibles fossiles, on ne saurait dire si l'accroissement de l'offre énergétique sera plutôt imputable au charbon ou au gaz.

- Au niveau mondial, la superficie des terres agricoles devrait s'étendre durant la prochaine décennie, à un rythme toutefois plus lent. Elle devrait culminer avant 2030, la progression s'expliquant par l'augmentation des besoins alimentaires d'une population toujours plus nombreuse, pour diminuer par la suite, parallèlement au ralentissement de la croissance démographique et à l'amélioration continue des rendements. Les taux de déforestation sont déjà orientés à la baisse et cette tendance devrait se poursuivre, surtout après 2030, la demande de superficies agricoles supplémentaires se faisant moins pressante (section 3, chapitre 2).

Scénario *expansion des zones terrestres protégées*

Dans le cadre du scénario d'*expansion des zones terrestres protégées* (encadré 4.5 dans le corps du chapitre), un réseau d'aires protégées géographiquement délimité a été conçu. Il concorde avec le nouvel objectif fixé par la CDB à l'horizon 2020, qui consiste à porter à 17 % la superficie des aires protégées, et il est représentatif des différents types d'écosystèmes existant dans le monde (écorégions).

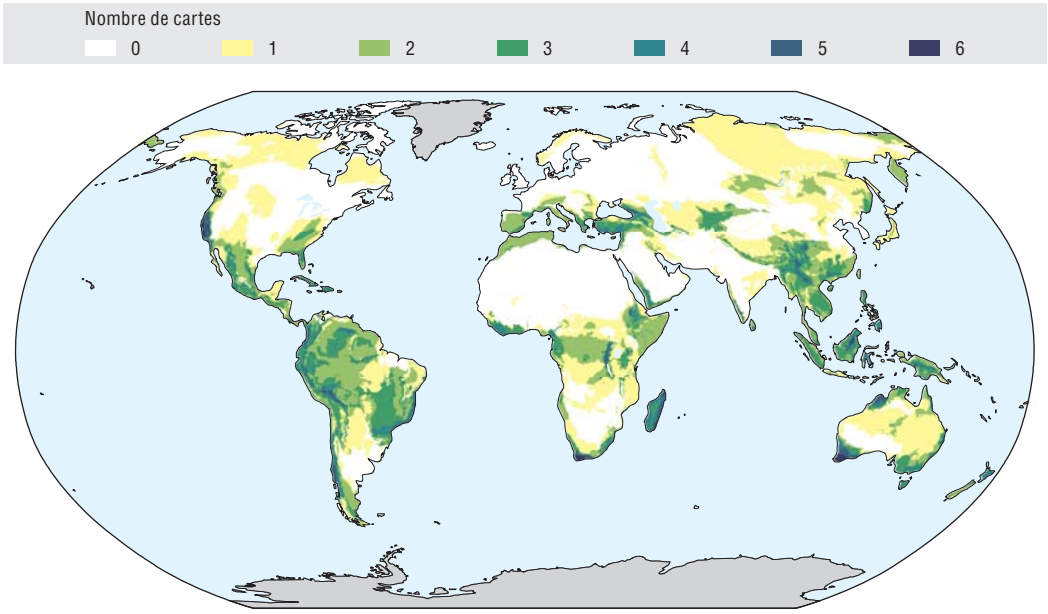
Une carte des aires protégées actuelles a servi de point de départ (UICN et PNUE, 2011b). À ce jour, ces aires s'étendraient au total sur une superficie terrestre de 19 millions km^2 environ (UICN et PNUE, 2011 ; Coad *et al.*, 2009). Cependant, en raison de l'imprécision de certaines données spatiales, seuls 15.6 millions km^2 ont pu être pris en compte dans cette simulation (12 %).

De nouvelles aires protégées ont été définies, en fonction des critères suivants :

- Les écorégions conjuguent aires biogéographiques et grands types de biomes (Olsen *et al.*, 2001), ce qui donne un total de 65. L'hypothèse est que ces 65 écorégions distinguent suffisamment les différents types d'écosystèmes et espèces existant dans le monde pour que le tableau soit représentatif. Faute de données (spatiales) assez précises, il n'a pas été possible de procéder à une ventilation spatiale plus poussée (par exemple, en s'appuyant sur les 200 écorégions du WWF). De nouvelles aires ont été ajoutées jusqu'à ce que le critère de 17 % des superficies soit atteint dans chaque écorégion.
- Dans les différentes écorégions, une préférence a été accordée aux parties qui présentent des points chauds de biodiversité. On peut fonder la sélection des aires où la biodiversité est grande sur diverses catégories d'espèces et divers objectifs ; par conséquent, cette sélection comporte toujours un certain degré de subjectivité (Brooks *et al.*, 2006). Nous avons utilisé une carte PNUE-WCMC : elle conjugue plusieurs indicateurs permettant de sélectionner les aires où la diversité biologique est forte (Kapos *et al.*, 2008). Les indicateurs suivants de la biodiversité sont pris en compte dans la cartographie PNUE-WCMC (voir graphique 4.A1) : la présence d'oiseaux endémiques selon Birdlife International ; la diversité des amphibiens ; les 200 écorégions terrestres mondiales définies par le WWF ; les points chauds de la biodiversité selon Conservation International ; et les centres de diversité végétale localisés par le WWF et l'UICN.
- Le cas échéant, une préférence a été accordée aux cellules les plus proches des terres agricoles. Selon toute probabilité, ces secteurs sont les plus menacés par l'expansion agricole.

C'est la représentativité des types d'écosystèmes (écorégions) et des points chauds mondiaux qui constitue le principal critère de l'analyse, et non pas le nombre absolu d'espèces ou l'abondance spécifique, conformément à l'objectif de CDB et aux indicateurs présentés dans la troisième édition des *Perspectives mondiales de la diversité biologique* (SCDB, 2010a).

Graphique 4.A1. **Superposition des cartes des priorités concernant la biodiversité mondiale**



Note : Plus le nombre de cartes se recoupant est élevé, plus le consensus est solide en ce qui concerne les zones où il est important de préserver la biodiversité à l'échelle mondiale (Kapos *et al.*, 2008).

À partir de la cartographie des aires protégées portées à 17 %, les courbes de l'offre foncière établies dans le modèle LEITAP ont été adaptées pour rendre compte de la limitation des superficies disponibles pour l'agriculture du fait de l'accroissement de l'étendue des aires protégées (Eickhout *et al.*, 2006). Les résultats du modèle LEITAP concernant la production agricole à l'échelle régionale ont été utilisés dans le modèle IMAGE-GLOBIO pour mesurer les effets de l'extension à 17 % des aires protégées sur les pressions qui influencent l'AME (essentiellement un changement dans l'utilisation des terres concernant cette simulation).

Incidences sur la biodiversité de l'atténuation du changement climatique dans les scénarios 450 *base* et 550 *base* et 550 *bioénergies faibles*

D'après les projections, le changement climatique jouera un rôle de plus en plus important dans la diminution de la biodiversité à l'avenir. Son atténuation pourrait concourir à la réalisation des objectifs de la convention relative à la biodiversité en même temps qu'à celle des objectifs de la convention dont il fait l'objet. Le changement climatique est lié à la biodiversité de différentes manières. Il influe sur les écosystèmes du fait des modifications des conditions météorologiques (précipitations et températures), lesquelles se répercutent sur les milieux où vivent les espèces. En conséquence, l'abondance des espèces change et certaines espèces peuvent même disparaître de certaines régions. Lorsqu'on analyse les synergies et les clivages potentiels entre ces domaines d'action, il importe de prendre en considération les changements d'utilisation des terres susceptibles de découler des efforts déployés pour atténuer le changement climatique, car ces changements ont constitué jusqu'alors le facteur le plus important de la diminution de la biodiversité. S'agissant des mesures prises pour protéger le climat, les changements d'utilisation des terres concernés au premier chef sont probablement ceux qui sont liés aux bioénergies, à la déforestation (REDD) et au reboisement.

Rôle des bioénergies

Dans la plupart des scénarios d'atténuation, les bioénergies constituent un élément important de l'action publique relative au climat. Elles peuvent être une solution attractive pour remplacer le pétrole dans les transports, elles peuvent être utilisées pour produire de l'électricité et de l'hydrogène, et elles peuvent aussi être associées à la séquestration du carbone dans la production d'électricité et d'hydrogène, de manière à créer des émissions négatives (van Vuuren *et al.*, 2010). Plusieurs études indiquent que l'utilisation des bioénergies pourrait avoir des inconvénients et présenter des risques, en raison des vastes superficies nécessaires à leur production (directement ou indirectement), et qu'elle pourrait se traduire par une contraction considérable des écosystèmes naturels et avoir des conséquences sur la biodiversité et sur le carbone (Sala *et al.*, 2009 ; ten Brink *et al.*, 2010). Il pourrait aussi en résulter une augmentation des prix des produits alimentaires. Une évaluation quantitative des effets négatifs et positifs des bioénergies apporterait peut-être un éclairage supplémentaire sur les avantages et inconvénients exacts des différentes politiques en la matière.

Dans les simulations de référence sur l'atténuation du changement climatique, le recours aux bioénergies est représenté moyennant la construction d'un éventail d'options d'atténuation efficaces par rapport à leur coût, qui permet de mettre en œuvre la trajectoire de concentration visée (voir l'annexe au chapitre 3). Dans le chapitre sur la biodiversité, ces scénarios sont employés pour étudier les effets de l'atténuation du changement climatique sur la biodiversité (encadré 4.9). Il s'agit des scénarios 450 *base* et 550 *base*. Ils prévoient essentiellement le recours aux bioénergies produites à partir de la biomasse ligneuse et de résidus. La consommation totale de bioénergie s'établit à 20 % des approvisionnements totaux en énergie primaire (ATEP) dans le premier cas et à 13 % dans le second. En outre, le scénario 550 *base* a été soumis à une analyse de sensibilité moyennant l'hypothèse d'un recours moins important aux bioénergies (scénario *bioénergies faibles*). Dans tous les calculs, on part du principe que les bioénergies sont produites sur des terres agricoles en friche et, dans certains cas, sur des prairies naturelles. Les aires protégées sont exclues de la production des bioénergies.

Dans le scénario 550 *bioénergies faibles*, la production de bioénergie sur les prairies naturelles est totalement exclue. De plus, des critères de durabilité plus stricts sont appliqués, de sorte qu'il n'est pas possible de produire des bioénergies dans des zones où les ressources en eau sont rares et dans les zones gravement dégradées. Enfin, les objectifs à court terme prévus dans le scénario 550 *base* pour stimuler les technologies de bioénergie ont été supprimés. Ces restrictions se traduisent par une consommation de bioénergie représentant 6.5 % des ATEP.

Incidences sur la biodiversité de l'atténuation du changement climatique dans le scénario 450 *base* + *utilisation des terres réduite*

Dans le modèle IMAGE, le facteur le plus important de déforestation et de destruction des prairies naturelles est le développement de l'exploitation des terres à des fins agricoles. Sur la période 2010-30, à l'échelle mondiale, le modèle prévoit une contraction nette des espaces naturels, y compris des forêts, sous l'effet de l'augmentation des superficies affectées à la production alimentaire et aux cultures énergétiques. Manifestement, éviter de convertir des écosystèmes naturels comme les forêts en superficies agricoles supplémentaires limite les émissions de gaz à effet de serre et le recul de la biodiversité. La réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD) est un exemple des politiques qui visent

à tirer parti de ce potentiel. Des études montrent qu'éviter les émissions de CO_2 au moyen de la REDD est une solution relativement bon marché (Kindermann *et al.*, 2008), en particulier dans les pays en développement. Étant donné le prix élevé du carbone dans les scénarios ambitieux étudiés dans le présent rapport, il est très tentant de recourir à des mesures de REDD.

En guise d'analyse de sensibilité, et pour évaluer le potentiel d'un scénario d'*utilisation des terres réduite*, le scénario d'atténuation du changement climatique *450 base* a été conjugué à des projections sur l'amélioration des rendements en agriculture, l'objectif étant d'éviter un accroissement supplémentaire des superficies agricoles (qu'elles soient consacrées à la production d'aliments destinés à la consommation humaine et animale, ou à la production d'énergie) au-delà de 2020 (encadré 4.9). Dans le *scénario de référence*, le degré d'amélioration des rendements est fonction de l'expansion des superficies agricoles et il varie donc selon les régions et les cultures (c'est dans la région de l'Afrique que les progrès sont les plus importants). Sur la période 2020-30, la moyenne mondiale des rendements est de 3 à 18 % plus élevée que dans le *scénario de référence*, selon les cultures (les chiffres les plus hauts correspondent à des végétaux cultivés principalement dans la région de l'Afrique). Dans cette simulation *450 base + utilisation des terres réduites*, sous l'effet de l'amélioration de la productivité de l'agriculture, les superficies agricoles sont moins importantes que dans le *scénario de référence* en 2050, de 1.2 million km^2 dans le cas des surfaces cultivées et de 1 million km^2 dans celui des pâturages. Il en résulte que la destruction de forêts et d'autres écosystèmes naturels est évitée en totalité, moyennant l'accroissement des superficies des espaces naturels. S'agissant des forêts, il ressort des études que la mise en œuvre et le financement pourraient passer par des politiques comme la REDD. En ce qui concerne les autres écosystèmes, il est plus difficile de se prononcer, encore que des études indiquent que certains d'entre eux sont susceptibles de stocker des quantités considérables de carbone et/ou peuvent présenter une diversité biologique d'une grande valeur.



© OCDE 2012

Chapitre 5

Eau

par
Xavier Leflaive, Maria Witmer (PBL), Roberto Martin-Hurtado, Marloes Bakker (PBL), Tom Kram (PBL), Lex Bouwman (PBL), Hans Visser (PBL), Arno Bouwman (PBL), Henk Hilderink (PBL), Kayoung Kim

Partout sur la planète, les besoins quotidiens en eau suscitent une concurrence toujours plus vive entre les villes, les agriculteurs, les industries, les fournisseurs d'énergie et les écosystèmes. En l'absence de gestion adaptée, le prix à payer peut être élevé – non seulement du point de vue financier, mais aussi en termes d'occasions manquées, d'atteintes à la santé et de dommages causés à l'environnement. Faute de profondes réformes et d'améliorations notables de la gestion de l'eau, d'ici à 2050 la situation risque fort d'empirer, les ressources disponibles devenant plus incertaines. Ce chapitre récapitule les pressions qui se font le plus fortement sentir sur l'eau et les principales mesures prises en conséquence. Il commence par évoquer les difficultés et évolutions actuelles, et la manière dont elles pourraient orienter les perspectives de l'eau en 2050. Sont passés en revue les problèmes de rivalité (entre l'irrigation, l'industrie, la production d'électricité, les villes et l'environnement) et de surexploitation (des eaux de surface et souterraines), le stress hydrique, les catastrophes liées à l'eau (inondations, par exemple), la pollution de l'eau (éléments nutritifs – azote et phosphore – provenant des terres agricoles ou transportés par les eaux usées, notamment) et les rejets dans les mers, ainsi que le manque d'accès aux services d'eau et d'assainissement (au sens des Objectifs du Millénaire pour le développement – OMD). S'ajoute un examen des instruments de gestion en vigueur (tels que les droits sur l'eau et la tarification) et des possibilités qui s'offrent d'améliorer les perspectives de l'eau par des mesures plus ambitieuses. Le chapitre aborde les nouveaux enjeux de la politique de l'eau. Une attention particulière est accordée au rôle déterminant de l'eau dans la croissance verte ; aux relations entre l'eau, l'énergie et l'alimentation ; aux mécanismes d'allocation de l'eau qui préservent des écosystèmes sains ; et aux sources d'eau alternatives (réutilisation). Dans chaque cas, la gouvernance, les instruments économiques, l'investissement et la mise en place d'infrastructures ont leur importance. Tous participent aux réformes de la politique de l'eau, dans les pays de l'OCDE et à l'échelle mondiale.

MESSAGES CLÉS

L'accès à une eau propre est fondamental pour le bien-être humain. La nécessité de gérer l'eau pour répondre à ce besoin constitue un enjeu de taille, et de plus en plus important, dans maintes régions du monde. L'eau n'est pas suffisamment abondante et sa qualité laisse à désirer pour beaucoup d'habitants de la planète, qui pâtissent en outre des perturbations liées aux inondations et sécheresses. Des conséquences s'ensuivent pour la santé, l'environnement et le développement économique. **Faute de profondes réformes et d'améliorations notables des méthodes et techniques de gestion de l'eau, d'ici à 2050 la situation risque fort d'empirer, d'autant qu'il faut prévoir une intensification de la concurrence pour l'accès aux ressources en eau et une incertitude grandissante quant aux quantités disponibles.**

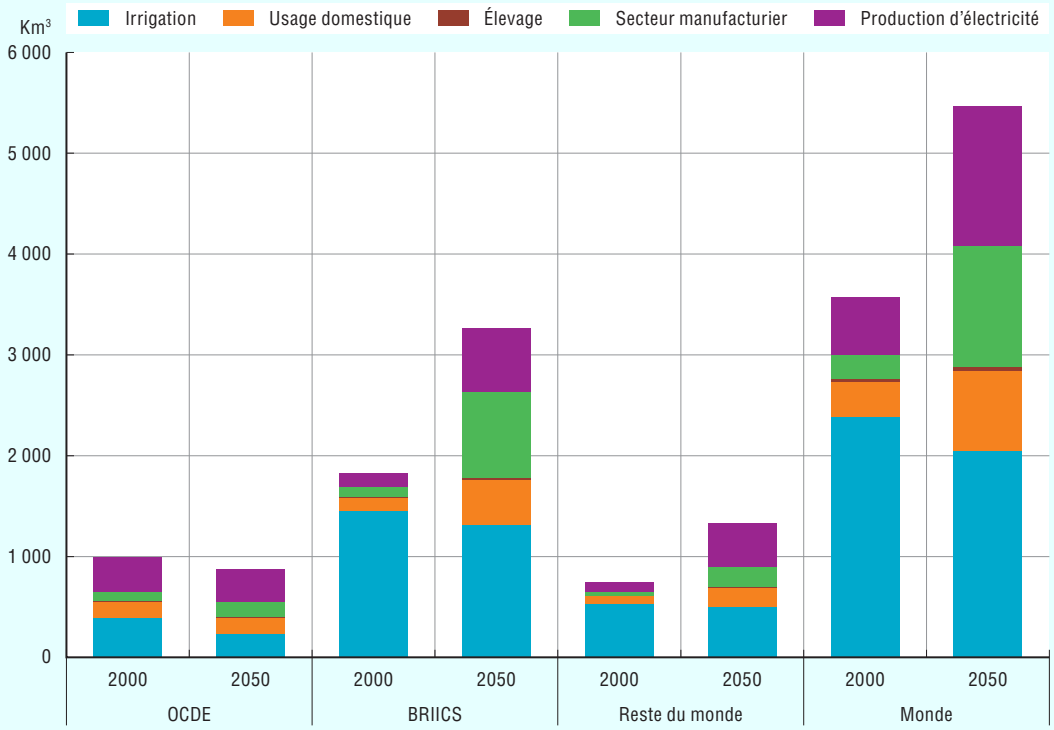
Grandes tendances et projections

Aspects quantitatifs de l'eau

D'après le *scénario de référence* des *Perspectives*, à l'horizon 2050, 3.9 milliards de personnes, soit plus de 40 % de la population mondiale, vivront sans doute dans des bassins hydrographiques soumis à un **stress hydrique élevé**.

À l'échelle planétaire, les projections indiquent une progression de **la demande d'eau** de 55 % entre 2000 et 2050. L'augmentation viendra principalement des activités manufacturières (+400 %), de la production d'électricité (+140 %) et des usages domestiques (+130 %). Compte tenu de la concurrence entre ces demandes, il ne sera guère possible d'accroître les volumes destinés à l'irrigation.

Demande mondiale d'eau : *scénario de référence*, 2000 et 2050



Note : Ce graphique se rapporte uniquement à la mesure de la demande d'eau « bleue » (voir encadré 5.1) et ne tient pas compte de l'agriculture pluviale.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594541



Dans beaucoup de régions du monde, les **eaux souterraines** sont soumises à une exploitation que le renouvellement des nappes ne parvient pas à compenser, et s'avèrent en outre de plus en plus polluées. Le taux d'épuisement des eaux souterraines a plus que doublé entre 1960 et 2000, et dépasse désormais 280 km^3 par an.

Aspects qualitatifs de l'eau



La poursuite des gains d'efficience en agriculture et des investissements consacrés au traitement des eaux usées dans le monde développé devrait contribuer à stabiliser et à restaurer la ***qualité* des eaux de surface et souterraines dans la plupart des pays de l'OCDE** d'ici à 2050.



En dehors de la zone OCDE, la qualité des eaux de surface va vraisemblablement se dégrader durant les décennies à venir, compte tenu des apports d'éléments nutritifs d'origine agricole et faute de traitement adéquat des eaux usées. D'où une multiplication de phénomènes tels que l'eutrophisation, l'appauvrissement de la biodiversité et les maladies. Par exemple, le nombre de lacs menacés par la prolifération d'algues nocives augmentera de 20 % au cours de la première moitié du siècle.



Les micropolluants (médicaments, cosmétiques, produits de nettoyage et résidus de biocides) constituent un nouveau sujet de préoccupation dans de nombreux pays.

Approvisionnement en eau et assainissement



Le nombre de personnes ayant **accès à une source d'approvisionnement améliorée** a augmenté de 1.8 milliard entre 1990 et 2008, progression surtout liée au groupe des BRIICS (Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud), et plus particulièrement à la Chine.



Plus de 240 millions de personnes (vivant majoritairement dans des zones rurales) n'auront vraisemblablement pas **accès à une source d'approvisionnement améliorée** en 2050. L'Objectif du Millénaire pour le développement relatif à un approvisionnement en eau plus satisfaisant a peu de chances d'être atteint en Afrique subsaharienne. À l'échelle mondiale, le nombre de citadins dépourvus d'un tel accès a augmenté entre 1990 et 2008, car l'urbanisation progresse plus vite que les raccordements aux infrastructures de l'eau. Le défi est d'autant plus grand que l'accès à une source d'approvisionnement *améliorée* ne se traduit pas toujours par l'accès à une eau *potable*.



Les projections indiquent que près de 1.4 milliard de personnes, vivant pour la plupart dans des pays en développement, seront encore privées d'**accès à un assainissement de base** en 2050. L'Objectif du Millénaire pour le développement relatif à l'assainissement ne sera pas atteint.

Catastrophes liées à l'eau



Actuellement, le nombre de **victimes des inondations, sécheresses et autres catastrophes** liées à l'eau oscille chaque année entre 100 et 200 millions (personnes touchées ou tuées) ; près des deux tiers sont imputables aux inondations. D'ici à 2050, le nombre de personnes **exposées aux inondations** devrait passer de 1.2 milliard à 1.6 milliard (pratiquement 20 % de la population mondiale). On prévoit que la valeur économique des biens exposés avoisinera 45 000 milliards USD à l'horizon 2050, soit une augmentation de plus de 340 % par rapport à 2010.

Options et impératifs d'action

Inciter à un usage efficient de l'eau

- **Améliorer la tarification de l'eau** afin qu'elle rende compte du caractère limité de la ressource et incite à l'utiliser de façon plus rationnelle dans tous les secteurs (agricole, industriel, domestique, etc.) ; parer aux conséquences sociales, moyennant des structures tarifaires ou des mesures ciblées judicieusement

conçues. Recourir à toute une panoplie d'instruments pour freiner la demande d'eau et faire en sorte que d'autres sources d'approvisionnement (réutilisation d'eaux usées après traitement, par exemple) soient compétitives.

- **Mettre en œuvre des mécanismes d'allocation de l'eau flexibles** (notamment en associant réforme des droits sur l'eau et politiques de tarification).

Améliorer la qualité de l'eau

- **Mieux coordonner le développement de la collecte des eaux usées (réseaux d'égouts) et l'épuration** pour éviter le rejet d'eaux usées sans traitement. Des techniques novatrices et des modèles économiques inédits s'imposent ; le secteur privé est un acteur de premier plan à cet égard.
- Améliorer et accroître l'utilisation d'équipements et de techniques adaptées pour traiter les eaux usées et gérer efficacement les flux d'éléments nutritifs et les ruissellements d'origine agricole. **Promouvoir les activités de R-D** pour accélérer et diffuser l'innovation dans les pays développés et en développement. Renforcer les capacités dans les économies visées (en axant essentiellement les efforts sur les agriculteurs), par le biais de la formation et de l'éducation.

Investir dans des infrastructures vertes

- **Investir dans de nouvelles capacités de stockage de l'eau** compatibles avec d'autres objectifs de la politique environnementale (par exemple la préservation des services écosystémiques, des forêts ou de la biodiversité).
- **Réduire l'impact et la fréquence des catastrophes liées à l'eau** en rétablissant les fonctions écosystémiques des plaines alluviales et des zones humides, en veillant à l'hydromorphologie et en supprimant les incitations en faveur de l'installation ou de l'investissement dans des zones à risque.
- **Accélérer le déploiement des infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement** dans les pays en développement. Mettre à l'étude des solutions novatrices, nécessitant moins d'eau, d'énergie ou de capitaux. Les pays membres peuvent financer partiellement le processus, par exemple en orientant une plus grande proportion de l'aide publique dans ce sens, et le secteur privé a aussi un rôle essentiel à jouer.

Veiller à la cohérence des politiques

- **Améliorer la gouvernance de l'eau** de manière à en assurer la cohérence avec d'autres domaines d'intervention tels que l'énergie, l'agriculture et l'aménagement urbain. Solliciter la participation de tous les acteurs concernés (administrations aux différents niveaux, groupes d'usagers de l'eau, entreprises privées). Faire en sorte que la gouvernance permette d'éviter les conflits autour des eaux transfrontières.
- **Évaluer et réformer les subventions qui encouragent une utilisation non durable de l'eau,** et veiller à la cohérence entre les objectifs de la politique de l'eau et les initiatives prises dans d'autres secteurs (notamment l'énergie et l'agriculture).

Combler le déficit d'information

- **Investir dans l'amélioration des informations liées à l'eau** (concernant notamment la consommation, l'irrigation et l'impact du changement climatique sur les ressources en eau).

1. Introduction

Partout sur la planète, les besoins quotidiens en eau suscitent une concurrence toujours plus vive entre les particuliers, les agriculteurs, les industries et les écosystèmes. Faute de gestion adaptée, le prix à payer peut être élevé – non seulement du point de vue financier, mais aussi en termes d'occasions manquées, d'atteintes à la santé et de dommages causés à l'environnement.

Le présent chapitre récapitule les pressions qui se font le plus fortement sentir sur l'eau, ainsi que les principales réponses possibles. Il commence par évoquer les difficultés et évolutions actuelles, autrement dit la manière dont les demandes concurrentes et la surexploitation, les catastrophes liées à l'eau, la mauvaise qualité de l'eau et le manque d'accès à des services d'approvisionnement et d'assainissement pourraient orienter les perspectives de l'eau en 2050. Après avoir passé en revue la panoplie d'instruments en vigueur, il envisage les possibilités d'amélioration qu'offriraient des scénarios d'action plus ambitieux[1], à partir des données et modèles de l'OCDE (dans la limite des informations disponibles). Suit un examen des mesures que doivent prendre dès maintenant les gouvernements nationaux, la communauté internationale et le secteur privé.

Principaux déterminants de la salubrité de l'eau

Quels sont les processus qui influent sur les aspects quantitatifs et qualitatifs de nos systèmes hydrologiques ? Cette section rappelle brièvement les grands facteurs en jeu, puis les principales mesures prises par les pouvoirs publics (évoquées plus en détail dans la section 4). L'état des ressources en eau subit le contrecoup à la fois des interventions humaines et des évolutions environnementales. Aujourd'hui, les facteurs humains sont tout d'abord l'augmentation de la population, la progression des revenus et les activités économiques (voir le chapitre 2 sur les évolutions socio-économiques). Jusqu'à présent, la croissance économique et la dynamique démographique ont exercé une plus grande influence sur l'eau que le climat. Toutefois, après 2050, le changement climatique est appelé à devenir un facteur prépondérant (voir l'encadré 5.3, pour une illustration, et l'annexe 5.A)[2].

L'essor démographique et l'évolution des modes de vie stimulent la demande d'eau des ménages et le rejet de polluants dans les masses d'eau. D'après les projections examinées dans le chapitre 2, l'augmentation de la population mondiale va se poursuivre jusqu'en 2050, quoiqu'à un rythme plus lent, en se concentrant pour l'essentiel dans les pays en développement, et plus particulièrement en Afrique de l'Ouest.

La croissance du produit intérieur brut (PIB) oriente la demande d'eau à usage agricole et industriel, et les effluents polluants qui vont de pair, ainsi que la demande liée à la production d'électricité. L'agriculture mérite de retenir l'attention : elle devra en effet produire bien davantage d'ici à 2050 pour répondre aux besoins grandissants de nourriture. Ce secteur a des conséquences à la fois sur la disponibilité de l'eau (en modifiant les

écoulements et en rivalisant avec d'autres formes d'utilisation des eaux de surface et souterraines) et sur sa qualité (par le rejet d'éléments nutritifs et de micropolluants dans les eaux de surface et souterraines). Différents types de sources d'énergie agissent aussi sur les aspects qualitatifs et quantitatifs de l'eau disponible pour d'autres usages. L'augmentation de la demande d'énergie et la modification du bouquet énergétique sont à prendre en compte dans la gestion de l'eau.

L'urbanisation entre en jeu dans les besoins d'approvisionnement en eau et d'assainissement. D'une part, elle fait baisser le coût par habitant du raccordement aux infrastructures correspondantes. D'autre part, à mesure que la population des villes augmente, des investissements supplémentaires doivent être consacrés aux infrastructures d'adduction et d'évacuation des eaux usées. Des problèmes particulièrement complexes se posent dans les bidonvilles. Par ailleurs, l'urbanisation rend encore plus indispensables les infrastructures de protection contre les inondations : les surfaces imperméables modifient l'écoulement des eaux pluviales, nuisent à la réalimentation des aquifères souterrains et augmentent les risques d'inondations.

Mesures d'intervention : résumé

Une action coordonnée des secteurs public et privé s'impose sans tarder pour relever les défis liés à l'eau auxquels nous sommes d'ores et déjà confrontés. D'autres efforts devront s'y ajouter à l'avenir pour parer au stress hydrique et aux nouveaux problèmes évoqués dans les sections ci-après.

Les modèles retenus pour les *Perspectives de l'environnement* montrent qu'il ne suffira pas d'accroître progressivement l'efficacité d'utilisation de l'eau (voir section 3, Action publique : scénarios actuels et à venir). À supposer que les performances soient radicalement améliorées à cet égard, la nécessité de revoir plus fondamentalement l'allocation des ressources en eau restera sans doute incontournable. L'eau disponible risque de faire l'objet d'une concurrence toujours plus vive entre les demandes croissantes correspondant à la production d'électricité, à l'industrie, à l'approvisionnement urbain et à l'agriculture. Comme indiqué ci-dessous, les pays de la zone OCDE expérimentent des approches novatrices concernant l'allocation des ressources en eau (droits sur l'eau négociables, compteurs intelligents, etc.), la réutilisation de l'eau ou la tarification viable de l'eau (qui passe par des redevances ou permis de prélèvement reflétant la rareté de la ressource). Il faut aller plus loin pour évaluer correctement certains de ces instruments et les utiliser à plus grande échelle, de façon à atteindre l'état environnemental voulu tout en répondant aux besoins sociaux et économiques.

Certaines des mesures requises nécessiteront des dépenses publiques. Or, dans le contexte actuel d'assainissement budgétaire, l'ampleur des ponctions devra être justifiée par une évaluation fiable des avantages, l'étude des mécanismes de financement alternatifs et la recherche de solutions possibles à bas coût.

L'innovation peut grandement contribuer à promouvoir une gestion durable des ressources en eau. Les technologies (entre autres) ont leur importance. On peut citer les systèmes d'irrigation efficaces et les techniques agricoles écologiques permettant de réduire le ruissellement des engrais, les recherches sur les cultures, l'épuration des eaux par des systèmes à membranes et autres techniques de filtration, ainsi que le traitement poussé des eaux usées. Encore faut-il que les technologies aillent de pair avec des modèles économiques inédits, et s'inscrivent dans un cadre réglementaire propice, pour améliorer la gestion de

l'eau et faire de cette ressource une priorité dans d'autres domaines de l'action publique, notamment l'énergie, l'alimentation et l'aménagement du territoire. Le recensement et une meilleure évaluation des services rendus par les écosystèmes hydrologiques peuvent faciliter la généralisation de démarches innovantes, écologiquement rationnelles et peu coûteuses face à certains des défis évoqués ici. L'épuration de l'eau, la régulation des flux, la maîtrise de l'érosion et de la sédimentation, ainsi que la restauration de l'hydromorphologie, ont toutes un rôle à jouer, au même titre que les nouvelles techniques actuellement mises au point pour améliorer la collecte, le traitement et la présentation des données étayant à la fois l'élaboration des politiques et les activités relatives à l'eau.

Le secteur privé a un rôle crucial à jouer dans la recherche de technologies novatrices et de modèles économiques inédits. Sont notamment concernés les entreprises de l'eau, le secteur financier (opportunités à saisir en matière d'investissements liés à l'eau), ainsi que les utilisateurs de l'eau dans des domaines tels que la production énergétique, l'industrie, l'agriculture et leurs fournisseurs (qui mettent au point et diffusent des pratiques efficientes concernant l'utilisation de l'eau).

La gouvernance est également déterminante, car la politique de l'eau recoupe un large éventail de secteurs à des échelles géographiques différentes, du niveau local au niveau transfrontalier. D'après une analyse des dispositifs de gouvernance de l'eau dans les pays de l'OCDE, l'insuffisance du financement destiné à la gestion des ressources en eau arrive en tête des préoccupations pour la plupart des pays, suivie par l'éparpillement des missions et responsabilités incombant aux instances centrales et infranationales, et par le manque de capacités (infrastructures et connaissances) des collectivités territoriales (OCDE, 2011g). Dans le cas des cours d'eau, lacs et aquifères transfrontaliers, la gouvernance est essentielle pour éviter les tensions diplomatiques et sociales. D'où l'utilité d'instruments de portée générale, tels que la Convention de la CEE-ONU sur la protection et l'utilisation des cours d'eau transfrontières et des lacs internationaux (Convention sur l'eau), et d'instruments plus spécifiques (comme le Fonds international pour le sauvetage de la mer d'Aral, IFAS).

2. Grandes tendances et projections

Cette section passe en revue les tendances et les projections à long terme concernant la demande, l'exploitation et la disponibilité de l'eau (eaux souterraines et stress hydrique compris), les catastrophes liées à l'eau, la qualité de l'eau, ainsi que l'accès aux services d'approvisionnement et d'assainissement. Elle vise aussi à définir les termes employés (encadré 5.1). D'autres précisions sur les hypothèses retenues et l'analyse sous-tendant cette section sont données dans le chapitre 1 (Introduction) et dans l'annexe 5.A à la fin du présent chapitre.

Eau douce : demande et exploitation

Tendances récentes dans les pays de l'OCDE

À l'échelle de la planète, les estimations indiquent que la demande d'eau a augmenté deux fois plus vite que la population au cours du siècle dernier. Le secteur agricole est arrivé en tête, avec environ 70 % de la demande totale d'eau douce (OCDE, 2008c). En 2000, la demande mondiale d'eau la plus importante provenait, après l'agriculture irriguée, de la production d'électricité, pour le refroidissement des centrales thermiques (turbines à vapeur).

Encadré 5.1. **Définitions clés**

Le présent chapitre renvoie à plusieurs notions qui appellent une définition rigoureuse.

Demande d'eau : demande émanant de différents usagers. Peut répondre à cette demande l'eau douce provenant de l'environnement naturel (cours d'eau, lac ou aquifère) ou d'autres sources (eau recyclée, par exemple).

Prélèvement d'eau (ou extraction d'eau) : eau physiquement prélevée dans l'environnement. Une partie de cette eau peut retourner dans l'environnement. C'est ainsi que plusieurs industries effectuent de tels prélèvements à des fins de refroidissement – puis restituent une eau dont l'état se prête à d'autres usages. Toutefois, une partie importante de l'eau prélevée dans l'environnement est perdue. Par exemple, dans certaines villes, les fuites de canalisations représentent jusqu'à 40 % de l'eau traitée pour une utilisation domestique.

Consommation d'eau : utilisation réduisant la quantité ou la qualité de l'eau qui est restituée à l'environnement. L'eau consommée n'est pas nécessairement prélevée dans l'environnement (elle peut provenir d'autres sources, telles que l'eau recyclée). Certaines formes d'utilisation de l'eau ne se traduisent pas par une consommation (par exemple, la navigation, la baignade, les processus naturels). Elles doivent néanmoins être prises en compte dans la gestion de la ressource (notamment selon des critères environnementaux de flux et de qualité). L'agriculture consomme de l'eau par le biais de l'évapotranspiration et de la récolte des végétaux. L'hydroélectricité en consomme du fait de l'évaporation correspondant à la surface supplémentaire de la masse d'eau retenue par un barrage. Les effets des utilisations domestiques et industrielles sur la qualité de l'eau dépendent du traitement avant rejet dans l'environnement.

Épuisement des eaux souterraines : situation dans laquelle les prélèvements dépassent le taux de recharge naturelle des nappes.

Eau bleue : eau douce des aquifères, cours d'eau et lacs qui peut être prélevée à diverses fins, notamment pour l'irrigation, les activités manufacturières, la consommation humaine, l'élevage et la production d'électricité.

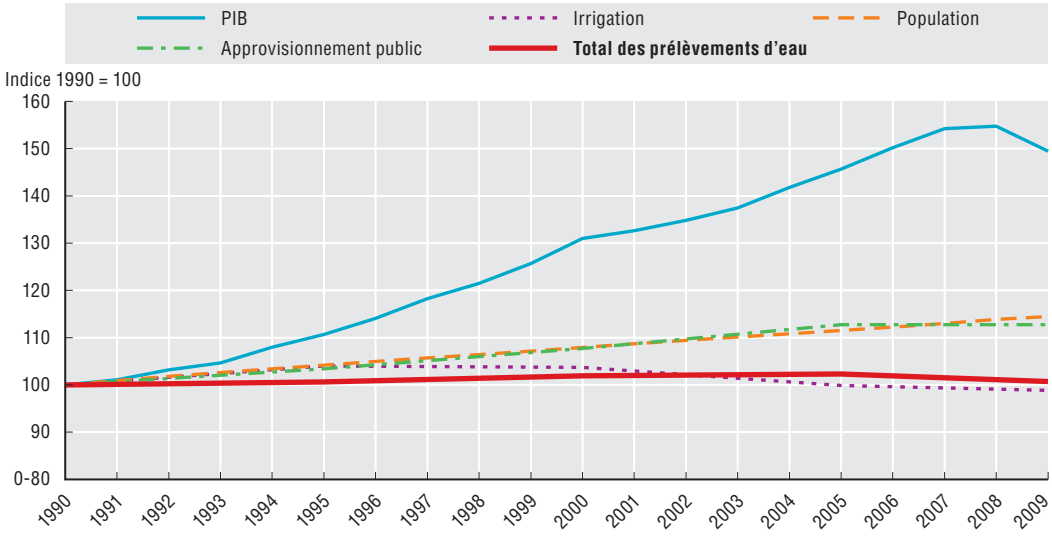
Eau verte : eau des précipitations qui s'infiltre naturellement dans le sol pour retourner ensuite du bassin versant vers l'atmosphère par le phénomène d'évapotranspiration.

Stress hydrique : moyenne annuelle, toutes formes confondues, de la demande d'eau « bleue » (voir ci-dessus) dans un bassin (ou sous-bassin) hydrographique par rapport à la moyenne annuelle des disponibilités en eau (précipitations moins évapotranspiration) dans ce bassin. Le flux d'eau « verte » est ainsi pris en compte dans le volume d'eau disponible. Les ratios obtenus sont souvent classés en quatre catégories : moins de 10 % = stress nul ; 10-20 % : stress faible ; 20-40 % = stress moyen ; et plus de 40 % = stress élevé. Étant donné la variabilité saisonnière et interannuelle de la demande et des disponibilités, à laquelle s'ajoute le souci de maintenir les flux naturels à un certain niveau, plus les ratios sont élevés, plus le volume d'eau disponible risque d'être insuffisant.

Sources : Travaux publiés par la FAO, notamment : FAO (1996), *Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development*, Rome – voir en particulier la section sur les indicateurs pour le développement de ressources en eau durables, *www.fao.org/docrep/W4745E/w4745e0d.htm*) ; FAO (2010), *Disambiguation of Water Use Statistics*, FAO, Rome.

Dans la zone OCDE, le total des prélèvements d'eau de surface est resté stable depuis les années 1980 (graphique 5.1). Or les quantités prélevées pour l'approvisionnement public et, dans une moindre mesure, pour l'irrigation ont augmenté. Plusieurs explications peuvent être avancées : techniques d'irrigation plus performantes ; déclin de certaines industries

Graphique 5.1. **Prélèvements d'eau douce, principales utilisations et PIB dans la zone OCDE, 1990-2009**



Note : Le Chili, l'Estonie, Israël et la Slovénie ne sont pas pris en compte dans les données.
Source : Direction de l'environnement de l'OCDE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594484

grandes consommatrices d'eau (activités extractives, sidérurgie, etc.) ; utilisation plus efficace de l'eau par les centrales thermiques ; recours accru à des technologies de production plus propres ; et réduction des fuites des réseaux d'adduction. Depuis peu, la stabilisation observée tient aussi en partie aux sécheresses, autrement dit à des conditions physiques rendant les prélèvements d'eau impossibles dans certaines régions.

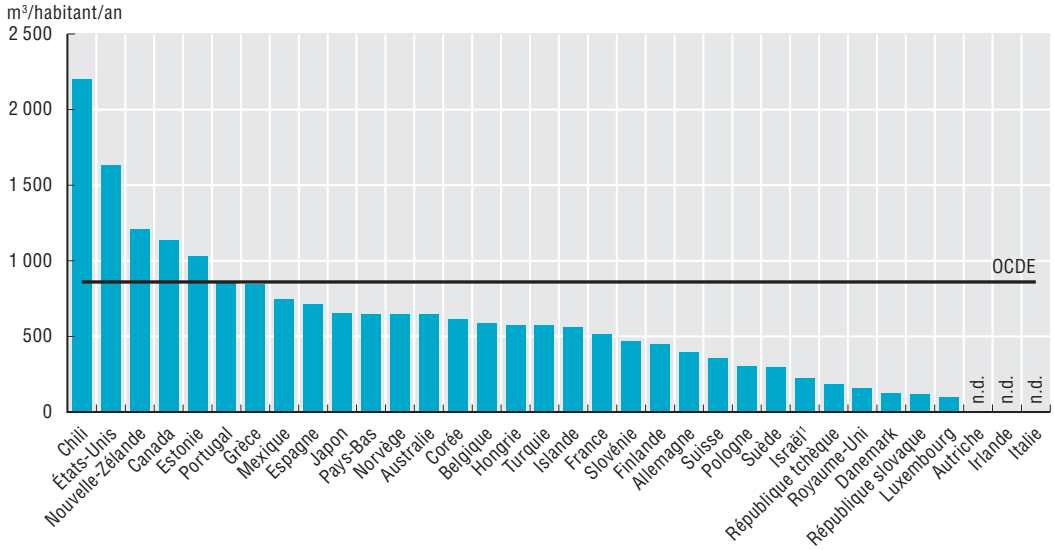
Les quantités d'eau destinées à l'agriculture ont augmenté de 2 % entre 1990 et 2003 dans la zone OCDE, mais tendent depuis à diminuer. L'irrigation a représenté 43 % du total de l'eau utilisée par les pays de l'OCDE en 2006. Pour l'essentiel, la progression de l'utilisation à des fins agricoles a été le fait de l'Australie, de la Grèce, du Portugal et de la Turquie – pays dans lesquels l'agriculture consomme beaucoup d'eau (plus de 60 % du total des prélèvements d'eau douce) et/ou dans lesquels ce secteur repose largement sur l'irrigation (plus de 20 % des terres cultivées).

Même si, au niveau national, la plupart des pays de l'OCDE font globalement une utilisation durable de l'eau, presque tous restent confrontés à des pénuries, au moins saisonnières ou localisées, et plusieurs comptent de vastes régions arides ou semi-arides où le manque d'eau nuit à la viabilité du développement et de l'agriculture.

Les graphiques 5.2 et 5.3 illustrent l'intensité de l'utilisation des ressources en eau douce (de surface et souterraines), exprimée en prélèvements bruts par habitant et en pourcentage des ressources renouvelables. Les indicateurs révèlent d'importants écarts à l'intérieur de la zone OCDE. Les pays européens affichent généralement des chiffres par habitant moins élevés. L'eau est utilisée de façon plus ou moins durable selon les pays. Par exemple, en 2005, les prélèvements ont représenté 1.2 % environ de l'apport d'eau total au Canada, contre 40 % en Corée, dont l'équilibre hydrique est ainsi menacé. La situation est également préoccupante dans certains pays européens de l'OCDE tels que la Belgique et l'Espagne, où les prélèvements dépassent 20 % des ressources en eau renouvelables (graphique 5.3).

Graphique 5.2. **Prélèvements annuels d'eau douce par habitant, pays de l'OCDE**

2009 ou dernière année disponible



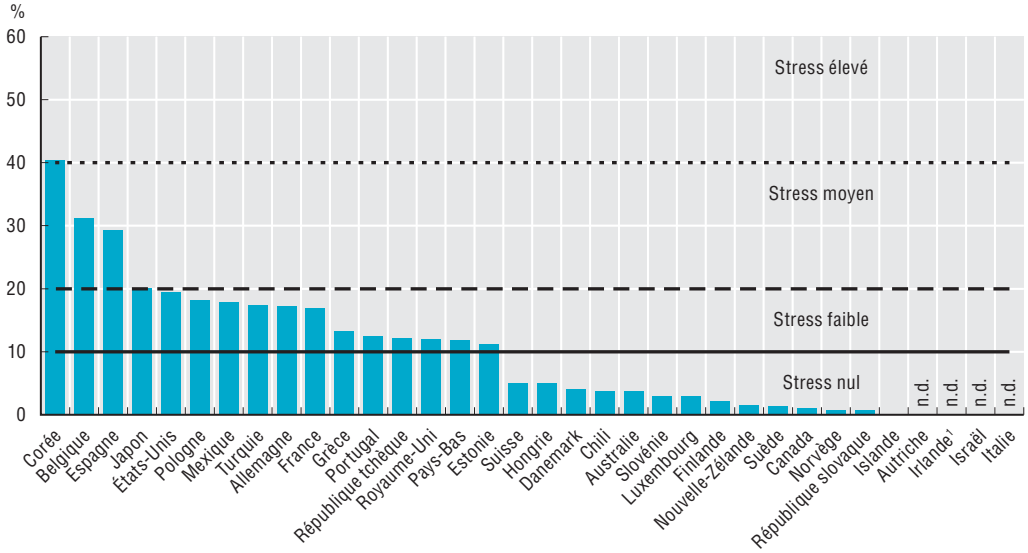
1. Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem-Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Source : Direction de l'environnement de l'OCDE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594503

Graphique 5.3. **Stress hydrique, pays de l'OCDE**

2009 ou dernière année disponible ; prélèvements d'eau en % des ressources renouvelables



1. Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem-Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Source : Direction de l'environnement de l'OCDE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594522

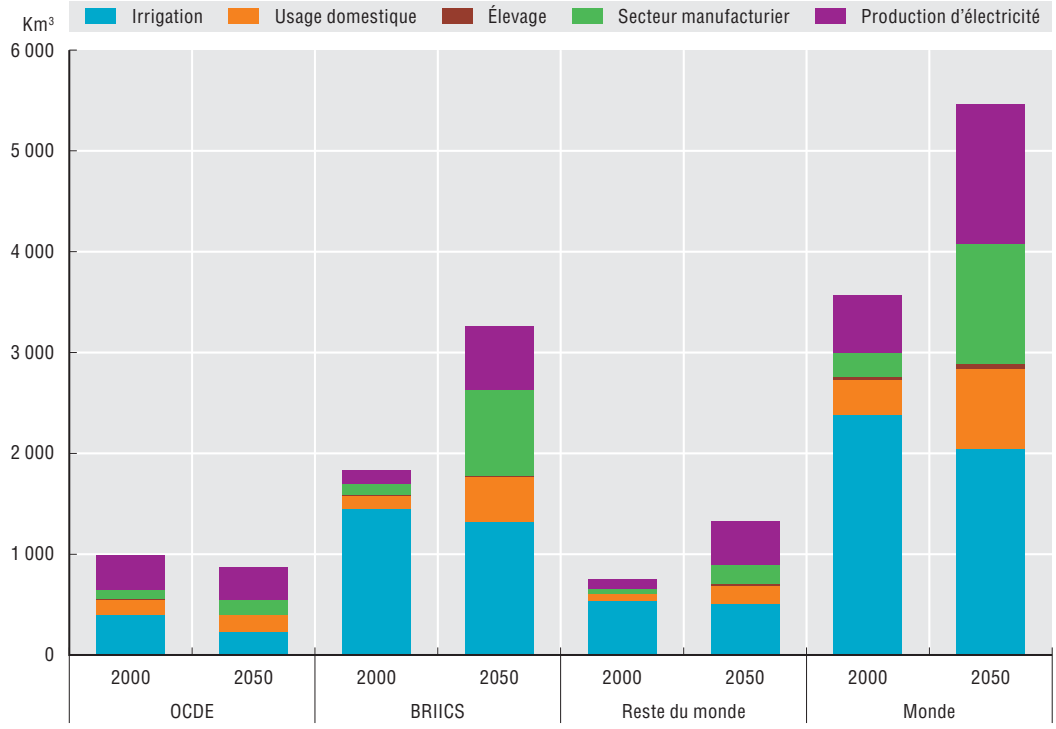
La réalité est cependant plus complexe que ne le laissent entrevoir les indicateurs agrégés. L'indicateur national peut occulter une utilisation non durable dans certaines régions ou à certaines périodes, ainsi qu'une forte dépendance vis-à-vis de ressources provenant de pays voisins (dans le cas des bassins transfrontaliers). Dans les régions arides, il arrive que les ressources en eau douce soient insuffisantes au point de rendre inévitable une exploitation non durable pour répondre à la demande.

Dans les pays de l'OCDE, les principaux sujets de préoccupation sont l'utilisation inefficace de l'eau (gaspillage, imputable par exemple aux fuites des canalisations urbaines) et ses conséquences environnementales et socio-économiques : diminution des débits fluviaux, pénuries d'eau, salinisation des masses d'eau douce dans les zones côtières, problèmes sanitaires, recul des zones humides, appauvrissement de la biodiversité, désertification et réduction de la production alimentaire.

Demande mondiale d'eau à l'horizon 2050

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* prévoit une augmentation significative de la demande mondiale d'eau – de 3 500 km^3 environ en 2000 à près de 5 500 km^3 en 2050 (graphique 5.4), soit 55 % de plus. Sont principalement en cause les activités manufacturières (+400 %, environ 1 000 km^3), la production d'électricité (+140 %, environ 600 km^3) et les usages domestiques (+130 %, environ 300 km^3). Toutefois, la

Graphique 5.4. **Demande mondiale d'eau : *scénario de référence*, 2000 et 2050**



Note : Ce graphique se rapporte uniquement à la mesure de la demande d'eau « bleue » (voir encadré 5.1) et ne tient pas compte de l'agriculture pluviale.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594541

demande n'est pas automatiquement transposable en termes de consommation, puisqu'une part importante de la ressource utilisée retourne ensuite dans les masses d'eau, en restant ainsi utilisable en aval, si la qualité le permet.

Faute de nouvelles politiques, la répartition de la demande d'eau devrait aussi changer sensiblement d'ici à 2050. Il faut s'attendre à une forte augmentation de la demande d'eau en Asie du Sud et en Chine, de même que dans d'autres économies émergentes du groupe des BRIICS (Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud), et à des parts beaucoup plus grandes en 2050 pour le secteur manufacturier, la production d'électricité et les usages domestiques. Les pays en développement (« reste du monde », ou RdM) devraient également afficher une importante demande d'eau destinée à la production d'électricité. Partout sur la planète, la progression de la demande correspondant à ces utilisations entrera en concurrence avec la demande d'eau d'irrigation. En conséquence, une diminution de la part disponible pour l'irrigation est à prévoir (encadré 5.2). Cette concurrence pour l'accès à l'eau serait encore plus vive si les projections prenaient en compte les quantités supplémentaires indispensables au maintien de flux suffisants pour assurer la santé des écosystèmes.

Encadré 5.2. **Incertitudes entourant la demande d'eau à usage agricole**

Dans la présente édition des *Perspectives de l'environnement*, les projections relatives à l'utilisation d'eau d'irrigation supposent que la superficie des terres irriguées demeurera inchangée d'ici à 2050, pour plusieurs raisons.

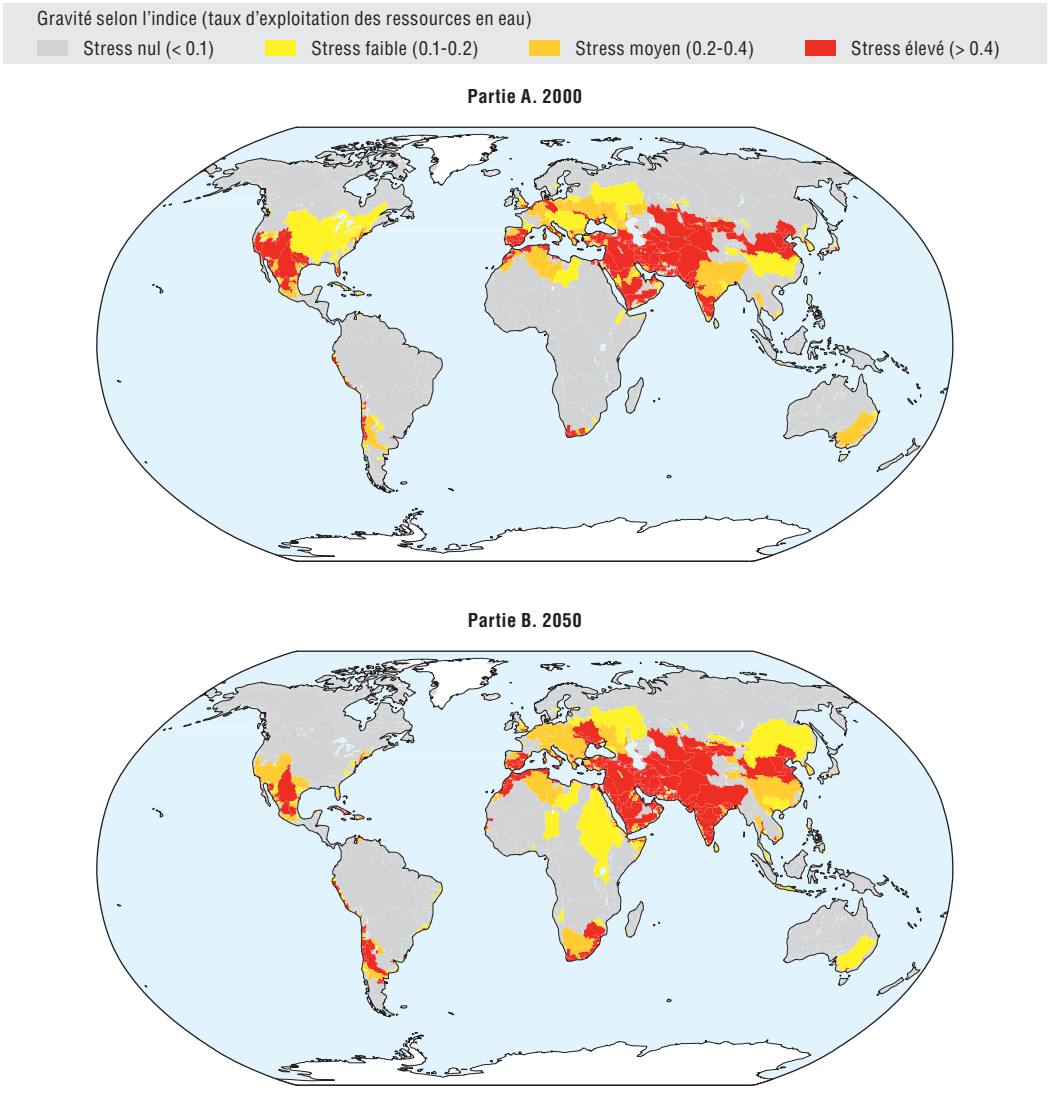
- D'après la majorité des analystes, l'irrigation ne pourra pas s'étendre à grande échelle au cours des décennies à venir car les terres qui s'y prêtent sont rares dans la plupart des régions ; là où elles existent, ces terres sont peu susceptibles d'être irriguées rapidement, faute d'infrastructures et de budgets publics suffisants.
- L'irrigation est appelée à entrer de plus en plus en concurrence avec d'autres usages de l'eau, et l'expérience montre que les usages domestiques tendent à l'emporter sur l'irrigation dans l'allocation des ressources en eau.
- Une grande marge d'incertitude entoure les superficies irriguées, actuelles et à venir, ainsi que la quantité d'eau utilisée à cette fin. Il ressort de divers ouvrages fondés sur des hypothèses comparables à celles du *scénario de référence* des *Perspectives* de l'OCDE que les projections se situent entre le niveau actuel (incertain) et 10 % à 20 % de plus d'ici au milieu du siècle (voir l'annexe 5.A).

Étant donné ces incertitudes et les maigres possibilités d'expansion, on se fonde ici sur une hypothèse prudente d'absence d'augmentation des surfaces irriguées. Aussi le stress hydrique à venir peut-il être sous-estimé dans certaines régions. Les méthodes d'estimation de la demande d'eau retenues pour les *Perspectives de l'environnement* sont examinées plus avant dans l'annexe 5.A.

Problème grandissant du stress hydrique

L'accroissement de la demande en eau va accentuer le stress hydrique (voir l'encadré 5.1 pour la définition) dans beaucoup de bassins hydrographiques, en particulier dans les régions très peuplées des économies en développement rapide. En conséquence, la planète comptera plus de bassins hydrographiques soumis à un stress hydrique élevé en 2050, d'après les projections du *scénario de référence* (graphique 5.5). D'ici à 2050, le

Graphique 5.5. **Stress hydrique par bassin hydrographique : *scénario de référence*, 2000 et 2050**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

nombre d'habitants concernés devrait fortement augmenter, pour atteindre 3.9 milliards, soit plus de 40 % de la population mondiale, contre 1.6 milliard en 2000. Près des trois quarts de l'ensemble des personnes confrontées à un stress hydrique élevé vivront alors dans les pays du groupe BRIICS. La quasi-totalité de la population de l'Asie du Sud et du Moyen-Orient et de larges parts de celle de la Chine et de l'Afrique du Nord se trouveront dans des bassins hydrographiques affichant un stress hydrique élevé. Les conséquences pour la vie quotidienne sont incertaines, et dépendront largement de l'efficacité des stratégies de gestion de l'eau mises en place. Par ailleurs, le stress hydrique devrait s'atténuer quelque peu dans certains pays de l'OCDE, tels que les États-Unis. On prévoit en effet une baisse de la demande (grâce à des gains d'efficience et à une réorientation structurelle au profit d'activités de services consommant moins d'eau) et une augmentation des précipitations due au changement climatique (encadré 5.3).

Encadré 5.3. **Impact du changement climatique sur les ressources en eau douce : l'exemple du Chili**

Le changement climatique influera sur les ressources en eau douce en modifiant le cycle hydrologique. Selon les projections du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), son impact sur les systèmes d'eau douce et leur gestion se manifestera surtout par la hausse des températures, l'élévation du niveau des mers et la variabilité des précipitations. Des modifications toucheront la quantité, la régularité, la répartition dans le temps, la forme et l'intensité des précipitations, ainsi que l'écoulement annuel moyen ; la fréquence et l'intensité de phénomènes extrêmes comme les inondations et sécheresses augmenteront ; la température de l'eau et le taux d'évapotranspiration s'élèveront ; et la qualité de l'eau se dégradera (Bates *et al.*, 2008). La nature et l'ampleur de ces répercussions attendues dépendent étroitement du contexte : certaines régions devraient afficher un excès ou un manque d'eau, et beaucoup pâtiront de niveaux de pollution insoutenables résultant d'une plus grande irrégularité des précipitations et des débits fluviaux. Ces problèmes s'accentueront au cours de la seconde moitié du siècle (GIEC, 2008).

Jusqu'à présent, la croissance économique et la dynamique démographique ont exercé une plus grande influence sur l'eau que le climat. Mais dès maintenant, le changement climatique incite à faire prévaloir la souplesse et la résilience dans les mécanismes d'allocation de l'eau et les infrastructures liées à l'eau (équipements hydroélectriques, ouvrages de protection contre les inondations, systèmes de drainage et d'irrigation, installations de traitement des eaux usées, etc.), compte tenu du caractère plus aléatoire des régimes hydrologiques à venir.

Par exemple, diverses études nationales menées récemment au Chili ont permis une première évaluation quantitative des répercussions du changement climatique sur les ressources en eau. A été plus particulièrement analysé l'impact des évolutions affectant la température, l'évapotranspiration et les précipitations dans huit bassins hydrographiques qui s'étendent dans la vallée centrale du Chili.

L'analyse laisse présager une diminution de l'écoulement fluvial de 35 % en moyenne pour l'ensemble des bassins hydrographiques entre 2041 et 2070. Ceux qui sont situés à l'extrême nord et à l'extrême sud (bassins de Limarí et de Cautín) seront plus gravement touchés à court terme. Les résultats mettent également en évidence, pour certains bassins, un décalage dans le temps du gonflement des cours d'eau lié à la fonte des neiges, qui pourrait survenir non plus au printemps et en été, mais pendant les mois d'hiver. Pour la quasi-totalité des bassins considérés, ils indiquent une forte augmentation du nombre de mois correspondant à un déficit hydrologique. La disponibilité des ressources en eau en sera grandement perturbée pour les différents secteurs productifs du Chili. Parallèlement, l'élévation prévue des températures devrait repousser plus haut la limite des neiges persistantes et entraîner un accroissement des débits d'eau hivernaux dans la cordillère des Andes.

Sources : Voir, par exemple, Vicuña, S., R.D. Garreaud et J. McPhee (2010), « Climate Change Impacts on the Hydrology of a Snowmelt Driven Basin in Semiarid Chile », *Climate Change*, doi : *http://dx.doi.org/10.1007/s10584-010-9888-4* ; Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu et J.P. Palutikof (dir. pub.) (2008), « Le changement climatique et l'eau », *Document technique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Secrétariat du GIEC, Genève.

Épuisement des eaux souterraines

Les nappes souterraines sont, de loin, la principale source d'eau douce sur la Terre (eau stockée sous forme de glace non comprise). Elles représentent plus de 90 % de l'eau douce immédiatement disponible (PNUE, 2008 ; Boswinkel, 2000). Le volume total de ces ressources souterraines est difficile à mesurer, mais, d'après une estimation, il avoisinerait

10.5 millions km^3 (Shiklomanov et Rodda, 2003) à l'échelle mondiale. Par ailleurs, dans les zones pauvres en eaux de surface, à commencer par certaines parties de l'Afrique, et là où il n'existe pas d'autre solution, les nappes souterraines constituent une ressource relativement propre, fiable et économique. Elles contribuent aussi grandement à préserver les systèmes hydrographiques en alimentant les lacs et cours d'eau.

Toutefois, le rythme d'exploitation des eaux souterraines devient insoutenable dans un certain nombre de régions. Les nappes sont de plus en sollicitées, car les technologies modernes de captage se généralisent tandis que les ressources en eaux de surface, plus accessibles, sont peu à peu surexploitées. À l'échelle mondiale, on estime que l'eau douce provenant des nappes souterraines entre comme suit dans les différentes utilisations : 50 % dans l'approvisionnement à usage domestique ; 40 % dans les prélèvements liés à l'auto-approvisionnement des industries ; et 20 % dans la fourniture d'eau d'irrigation (Zektser et Everett, 2004). À l'échelle de l'Union européenne, la part de l'approvisionnement en eaux souterraines qui va à des utilisations domestiques s'établit à 70 % environ ; en France, les eaux souterraines représentent 63 % des prélèvements pour les usages domestiques, 41 % pour les activités industrielles et 20 % pour l'irrigation.

Dans la seconde moitié du XXe siècle, l'exploitation des eaux souterraines aidant, les conditions de vie et la sécurité alimentaire se sont améliorées pour des milliards d'agriculteurs et de consommateurs. Mais l'épuisement des nappes pourrait bien constituer la principale menace pour l'agriculture irriguée, avant même l'accumulation de sels dans le sol. Sa rapidité est due à la multiplication des petites pompes d'irrigation dans le monde en développement. Le volume d'eau souterraine utilisé par l'irrigation dépasse nettement les taux de recharge des nappes dans certaines régions en Australie, aux États-Unis, en Grèce, en Italie et au Mexique, non sans compromettre la viabilité économique de l'agriculture. Dans des pays caractérisés par d'importantes zones semi-arides, comme l'Australie, les États-Unis, l'Inde et le Mexique, l'eau d'irrigation est pour plus d'un tiers pompée dans le sol (Zektser et Everett, 2004). La surexploitation des aquifères, surtout dans les régions semi-arides et arides, entraîne des problèmes environnementaux (piètre qualité de l'eau, diminution des débits fluviaux, assèchement des zones humides), une augmentation des coûts de pompage et l'appauvrissement de la ressource pour les générations futures (Shah *et al.*, 2007).

Même si nous n'utilisons qu'une proportion relativement faible des réserves d'eaux souterraines connues de la planète, le stock mondial s'amenuise (« épuisement des eaux souterraines » – voir encadré 5.1) à un taux qui a plus que doublé entre 1960 et 2000, de 130 km^3 (±30) à 280 km^3 (±40) d'eau par an (Wada *et al.*, 2010). Au cours des 50 dernières années, le processus s'est étendu au-delà de poches isolées pour toucher de vastes superficies dans un grand nombre de pays. Une étude montre que les taux d'épuisement les plus élevés correspondent à certaines des principales régions agricoles du monde, notamment le nord-ouest de l'Inde, le nord-est de la Chine, le nord-est du Pakistan, ainsi que la vallée centrale de la Californie et le Midwest aux États-Unis (Wada *et al.*, 2010). En outre, elle fait apparaître que le taux d'épuisement a augmenté de façon plus ou moins linéaire entre les années 1960 et le début des années 1990, parallèlement au rythme rapide de l'essor économique et de l'accroissement démographique, surtout en Inde et en Chine.

Toute diminution du volume total d'eaux souterraines, aussi faible soit-elle (quelques points de pourcentage seulement dans certains cas), a un effet sensible sur les ressources en eau. Par exemple, elle peut provoquer l'affaissement des sols, ce qui entame

définitivement la capacité de stockage de l'aquifère et augmente le risque d'inondation. Là où les nappes alimentent les cours d'eau et les lacs, le moindre déficit suffit pour réduire l'écoulement fluvial et abaisser le niveau des lacs, ce qui amoindrit la surface d'eau disponible pour les utilisations humaines ou les écosystèmes ripicoles et aquatiques. Ces effets externes peuvent à leur tour limiter les perspectives d'exploitation des ressources en eaux souterraines (Alley, 2007).

Bien que l'exploitation des ressources souterraines ait impérativement besoin d'être compensée, beaucoup de pays arides la subventionnent, de façon directe ou indirecte (par exemple, certaines mesures dispensent les agriculteurs du paiement de l'énergie utilisée pour pomper l'eau des aquifères), et ne prévoient pas de dispositions pour recharger les nappes exploitées. Les subventions accordées à l'agriculture au titre de l'énergie ont fait grandement baisser les coûts des prélèvements des eaux souterraines dans un certain nombre de pays de l'OCDE et en Inde.

Catastrophes liées à l'eau

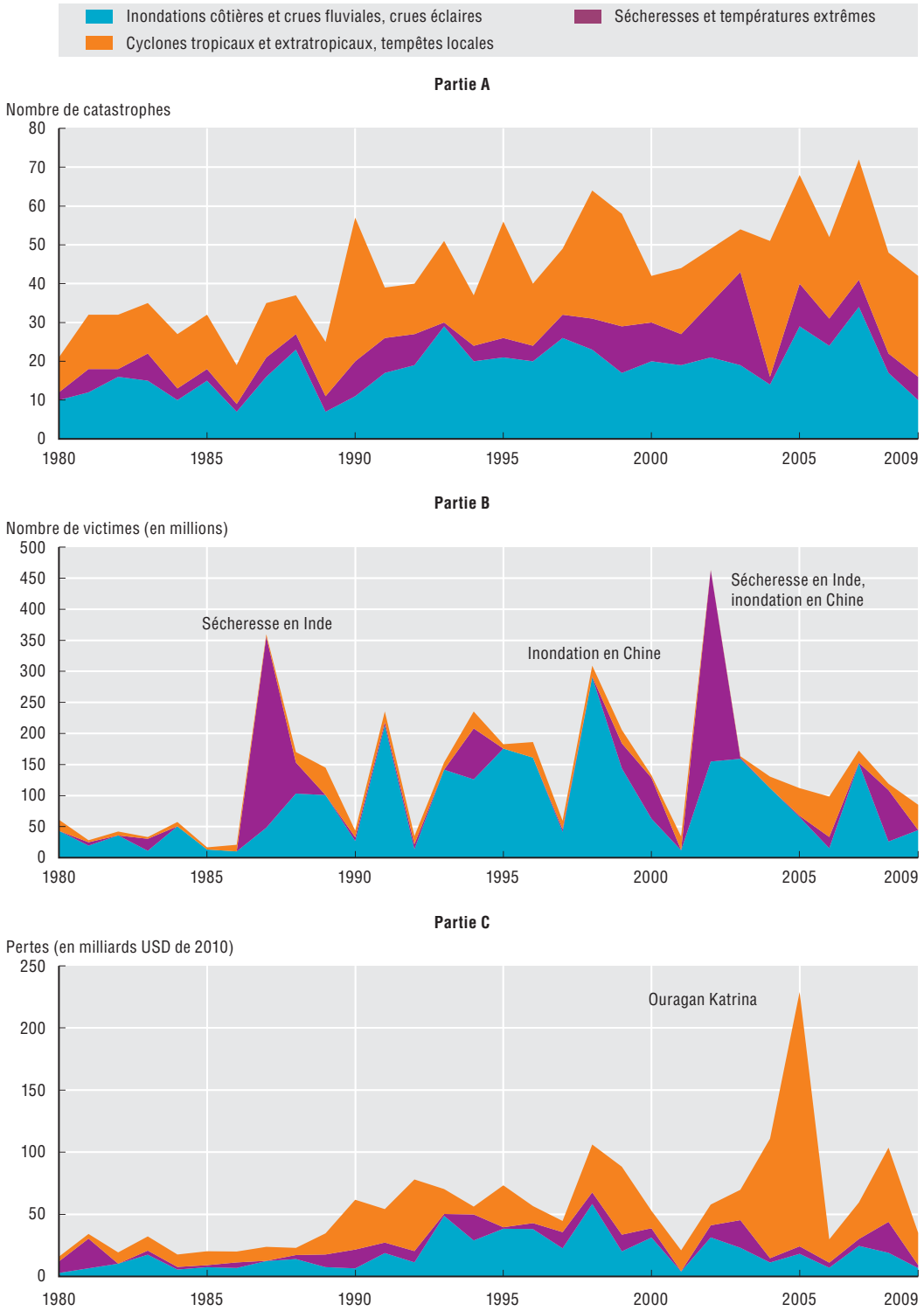
Non seulement l'eau ne répond pas aux besoins quantitatifs et qualitatifs d'un grand nombre d'habitants de la planète, mais les perturbations provoquées par les sécheresses et les inondations font planer une menace supplémentaire sur leur sécurité. Les catastrophes liées aux inondations, aux tempêtes et aux sécheresses sont lourdes de conséquences pour la santé, l'environnement et le développement économique. Ainsi, après la sécheresse qui a sévi en Éthiopie et au Soudan en 1983, plus de 400 000 personnes sont mortes de famine. En 2002, la sécheresse survenue en Inde, ainsi que les inondations et les tempêtes en Chine, ont touché 450 millions de personnes. En 2005, aux États-Unis, l'ouragan Katrina et l'inondation qui a suivi se sont soldés par des dommages évalués à 140 milliards USD.

Tendances récentes

Les catastrophes météorologiques, en particulier les inondations, les sécheresses et les tempêtes, ont été plus nombreuses durant les trois décennies écoulées (graphique 5.6). L'évolution des catastrophes liées à l'eau et à la météorologie entre 1980 et 2009 a été analysée au moyen d'informations fournies par la *Base de données EM-DAT* (*Emergency Events Database*), tenue à jour par le Centre de recherche sur l'épidémiologie des catastrophes (CRED)[3]. Cette base de données recense des informations sur les répercussions humaines et économiques des catastrophes liées à l'eau, et des indicateurs rendent compte des pertes économiques directes et du nombre de victimes (personnes touchées ou tuées). Les catastrophes sont classées par catégories en fonction des causes (inondations, sécheresses ou tempêtes).

Le graphique 5.6 fait apparaître les tendances passées concernant le nombre de catastrophes « graves » liées aux conditions météorologiques (en haut), le nombre de victimes (au milieu) et les pertes économiques (en bas). Les principaux facteurs en jeu sont l'accroissement de la population mondiale, l'augmentation des richesses et l'expansion des zones bâties. S'il existe un lien étroit entre les valeurs extrêmes des variables climatiques et les catastrophes d'ordre météorologique (GIEC, 2011), les données ne sont pas suffisantes pour permettre d'établir une corrélation entre la fréquence des catastrophes et le changement climatique. Les études dans lesquelles les pertes économiques ont été ajustées en fonction de l'essor démographique et de la croissance économique indiquent généralement une tendance à la stabilisation, voire à la diminution, des pertes imputables aux événements graves liés à l'eau (Neumayer et Barthel, 2011 ; Bouwer, 2011 ; voir également l'annexe 5.A).

Graphique 5.6. **Les catastrophes météorologiques dans le monde, 1980-2009**



Note : À des fins de comparaison, les pertes sont exprimées en USD de 2010.

Source : Visser, H., A.A Bouwman, P. Cleij, W. Ligtvoet et A.C. Petersen (à paraître), *Trends in Weather related Disaster Burden: A Global and Regional Study*, PBL (Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas), La Haye/Bilthoven.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594560

Pour la période 1980-2009, les catastrophes liées à la météorologie se répartissent comme suit : inondations, plus de 40 % ; tempêtes, un peu moins de 45 % ; et sécheresses, 15 %. Le nombre de victimes oscille entre 100 et 200 millions environ par an, avec des pointes à 300 millions, voire plus. Près de deux tiers des victimes peuvent être attribuées aux inondations. Viennent ensuite les sécheresses et les températures extrêmes, soit 25 %, et les tempêtes, pour les 10 % de victimes restantes.

Les estimations indiquent des pertes économiques allant de 50 à 100 milliards USD par an entre 1980 et 2009. Le pic de 220 milliards correspond à l'ouragan Katrina qui a frappé les États-Unis en 2005. Les pertes économiques sont imputables pour la moitié aux tempêtes, pour un tiers aux inondations et pour près de 15 % aux sécheresses.

Le nombre de catastrophes est assez également réparti entre les régions : près de 40 % pour l'OCDE, 30 % pour les BRIICS et 30 % pour le reste du monde (RdM). Mais des différences marquées sont à signaler entre ces trois groupes en termes d'impacts. S'agissant des victimes (personnes touchées ou tuées), les pourcentages respectifs sont les suivants : BRIICS, plus de 80 % ; reste du monde, près de 15 % ; pays de l'OCDE, 5 % seulement environ. Les pertes économiques affectent pour les deux tiers les pays de l'OCDE, pour un quart les BRIICS et pour un peu plus de 10 % le reste du monde. Ces chiffres témoignent des écarts entre les trois groupes de pays en ce qui concerne la capacité d'adaptation et la valeur économique des biens, immobiliers et autres.

Inondations : la situation en 2050

D'après le *scénario* des *Perspectives de l'environnement*, la population de la planète va croître d'un tiers d'ici à 2050, pour dépasser 9 milliards d'habitants (chapitre 2). Dans le même temps, celle des plaines alluviales et deltas – zones plus particulièrement touchées par les inondations – devrait progresser encore plus rapidement, de près de 40 %. Les évolutions en termes d'exposition des populations et des actifs économiques, et dans certains cas en termes de vulnérabilité, sont principalement en cause dans l'augmentation des pertes liées aux catastrophes observée par le passé (GIEC, 2011). Elles se poursuivront sans doute dans les décennies à venir. Abstraction faite du changement climatique, appelé à jouer un rôle déterminant dans les inondations à l'horizon 2050, le nombre de personnes et la valeur des actifs exposés seront nettement plus élevés qu'aujourd'hui : 1.6 milliard de personnes (soit pratiquement 20 % de la population mondiale) et quelque 45 000 milliards USD (340 % de plus qu'en 2010). En ce qui concerne la valeur économique, l'augmentation par région devrait être d'à peine 130 % pour les pays de l'OCDE, de plus de 640 % pour les BRIICS et de près de 440 % pour les pays en développement (voir l'annexe 5.A pour d'autres précisions sur ces calculs).

La vulnérabilité aux inondations n'est pas partout la même à l'intérieur des pays, et les plus pauvres sont souvent les premières victimes. Par exemple, Dhaka, Kolkata (Calcutta), Shanghai (Chine), Mumbai (Bombay), Jakarta, Bangkok et Hô-Chi-Minh-Ville sont les villes qui comptent le plus grand nombre de personnes exposées aux inondations, et se trouvent en outre dans des pays affichant un PIB par habitant peu élevé, en 2010 comme en 2050 (voir l'annexe 5.A). Cette liste coïncide avec celle d'une étude antérieure de l'OCDE sur les villes côtières mentionnée dans le chapitre 3 sur le changement climatique (Nicholls *et al.*, 2008).

Qualité de l'eau

La qualité de l'eau est essentielle pour le bien-être des êtres humains, le maintien d'écosystèmes aquatiques sains et les activités du secteur primaire, notamment l'agriculture et l'aquaculture. Or l'eutrophisation (évoquée ci-après), l'acidification, la

contamination toxique et les micropolluants pèsent lourdement sur la santé humaine, le coût du traitement de l'eau potable, l'irrigation et les écosystèmes aquatiques. Les problèmes de qualité rendant l'eau inutilisable ne font qu'aggraver la pénurie.

Tendances récentes dans les pays de l'OCDE

Si les pays de l'OCDE ont fait sensiblement baisser la charge de pollution provenant de sources – municipales et industrielles – fixes en implantant des stations d'épuration et en réduisant l'utilisation de produits chimiques, les améliorations apportées à la qualité de l'eau ne sont pas toujours immédiatement perceptibles[4], sauf en ce qui concerne la pollution organique. La charge de pollution émanant de sources – agricoles et urbaines – diffuses (engrais et pesticides, ruissellement sur les surfaces imperméables et les routes, produits pharmaceutiques dans les déchets humains et animaux) continue de poser des problèmes dans de nombreux pays.

La part relative de la pollution de l'eau par les éléments nutritifs d'origine agricole a augmenté en raison de la baisse plus rapide des niveaux absolus de pollution industrielle et urbaine. Entre 1990 et le milieu des années 2000, les pressions exercées par l'agriculture sur la qualité des cours d'eau, des lacs, des nappes souterraines et des eaux côtières se sont atténuées dans la plupart des pays de l'OCDE parallèlement à la diminution des excédents d'éléments nutritifs et des applications de pesticides. Malgré cette amélioration, en termes absolus, la pollution due aux éléments nutritifs et aux pesticides reste significative dans beaucoup de pays et régions de l'OCDE. Dans près de la moitié des pays membres, les concentrations mesurées dans les eaux de surface et souterraines des zones agricoles dépassent les valeurs limites recommandées par les normes nationales d'eau potable. S'ajoute le problème des aquifères profonds pollués par l'agriculture, dont la dépollution naturelle peut prendre plusieurs décennies. Dans certains cas, la réduction de la pollution agricole n'a pas apporté d'amélioration qualitative à l'eau provenant de nappes souterraines dégradées qui se renouvellent lentement.

Dans la zone OCDE, le prix à payer peut être élevé pour traiter l'eau en éliminant les éléments nutritifs et les pesticides afin qu'elle réponde aux normes d'eau potable. L'eutrophisation des eaux marines a aussi un coût économique pour les pêcheries commerciales de certains pays (comme la Corée ou les États-Unis). La présence de micropolluants persistants dans les masses d'eau alourdit également la facture du traitement de l'eau potable (encadré 5.4).

Eutrophisation des eaux de surface et côtières

L'eutrophisation se produit dans des masses d'eau en cas d'apport excessif d'éléments nutritifs qui stimulent trop fortement la croissance des végétaux, d'où une raréfaction de l'oxygène et une prolifération algale nocive. Il s'agit d'un phénomène préoccupant, qui appauvrit la biodiversité aquatique dans les cours d'eau, lacs et zones humides, nuit aux utilisations humaines de l'eau (consommation d'eau potable, activités récréatives, pêche, baignade, entre autres exemples) et peut aussi affecter la santé (voir ci-dessous et le chapitre 4 sur la biodiversité). La pollution à l'origine de l'eutrophisation provient de sources fixes (réseaux d'assainissement urbains) et diffuses (ruissellement à partir des terres agricoles, pour l'essentiel). Ces différents aspects sont examinés ci-après.

D'après le *scénario de référence*, l'eutrophisation va augmenter sur la planète dans les vingt prochaines années, puis se stabiliser dans certaines régions (l'OCDE, la Russie et l'Ukraine). Au Japon et en Corée, les excédents d'éléments nutritifs par hectare de terre cultivée atteignent

Encadré 5.4. **Pallier les risques liés aux micropolluants**

Les micropolluants, et leurs effets sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine, sont une source d'inquiétude grandissante. Sont visés les médicaments, les cosmétiques, les produits détergents ou les résidus de biocides (herbicides et fongicides). Ils pénètrent dans les masses d'eau *via* l'évacuation des eaux urbaines, l'écoulement provenant des terres agricoles et le ruissellement des eaux pluviales à partir des routes et des surfaces imperméables. Les micropolluants peuvent avoir une action néfaste sur les organismes vivants, êtres humains compris, le plus souvent en perturbant le système endocrinien (hormonal), avec pour conséquences des cancers, des malformations congénitales et divers troubles du développement (voir chapitre 6, section 4 sur les produits chimiques). S'ajoute à ces risques l'association dans les systèmes aquatiques de multiples polluants, qui peuvent se conjuguer (« effet cocktail ») en créant de nouveaux problèmes pour les organismes vivants. En outre, les micropolluants tendent à être persistants : ils ne sont pas parfaitement dégradés par les technologies classiques de traitement. Ils peuvent alors s'accumuler dans les masses d'eau et les sédiments, et les concentrations s'élèvent d'autant. L'augmentation attendue de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes, ainsi que les forts débits engendrés par le changement climatique, risquent de remettre en suspension les polluants stockés dans les sédiments.

D'autres approches s'imposent pour venir à bout du problème : réduire la contamination à la source ; moderniser les stations d'épuration existantes en intégrant des formes de traitement complémentaires telles que l'ozonisation ou la filtration sur charbon actif* ; implanter des stations d'épuration décentralisées là où de grands volumes de micropolluants sont à prévoir (hôpitaux, établissements de soins, etc.) ; et mettre au point et diffuser de nouvelles technologies de traitement, allant des capteurs aux nanotechnologies en passant par les traitements hybrides.

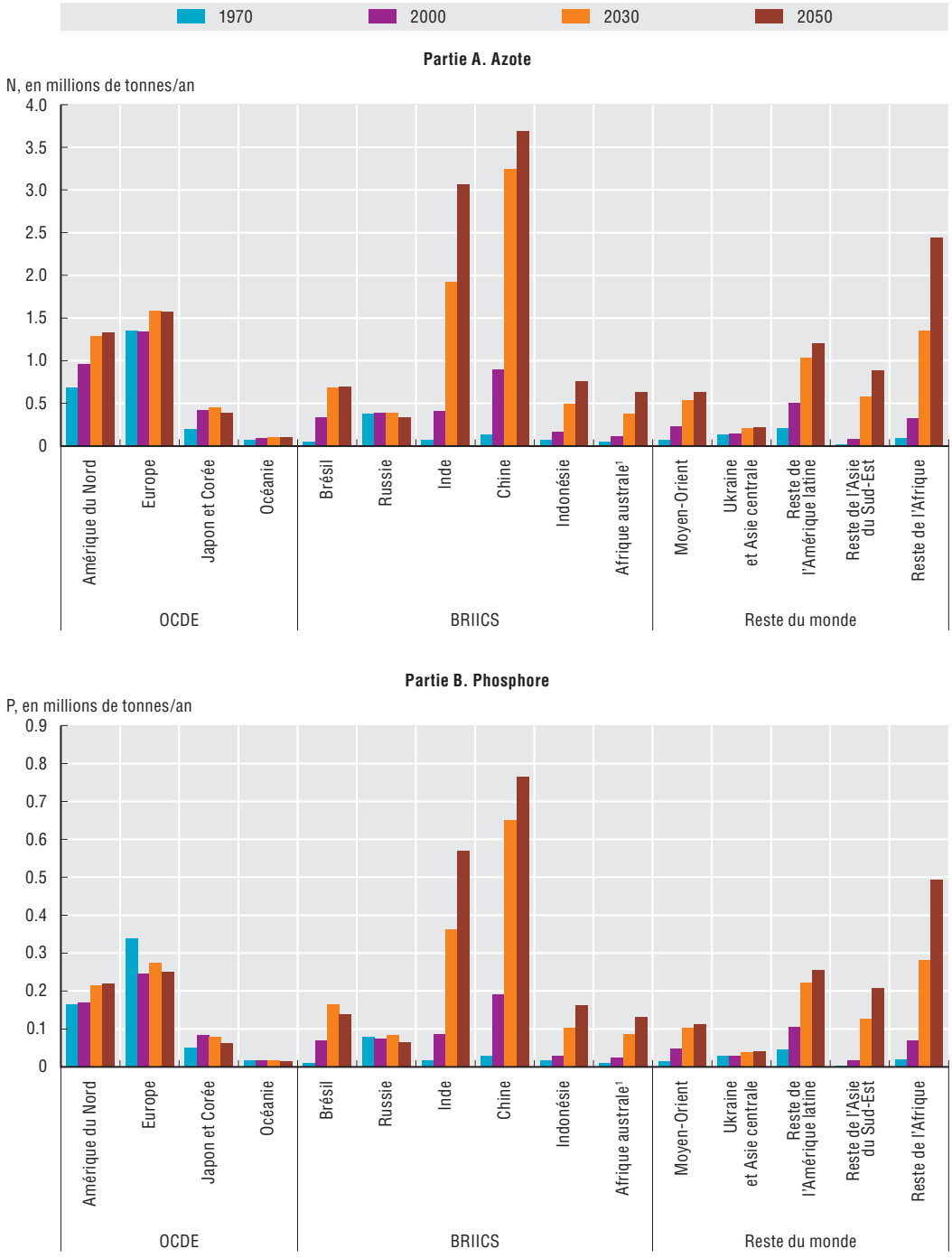
* Les autorités suisses prévoient de moderniser 100 stations d'épuration, sur 700 en activité.

déjà des niveaux élevés. En Chine, en Inde, en Indonésie et dans les pays en développement, les projections indiquent une augmentation de l'eutrophisation après 2030 ; en Chine, cette évolution tient aux éléments nutritifs apportés par les eaux usées, les excédents liés à l'agriculture étant appelés à se stabiliser. Au Brésil, l'eutrophisation va probablement s'aggraver, sous l'effet d'excédents croissants de phosphore d'origine agricole, tandis que le phosphore lié aux eaux usées et les nitrates devraient se stabiliser ou diminuer après 2030.

Effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées

D'après le *scénario de référence*, les effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées devraient suivre une courbe ascendante. Les projections indiquent une progression de 180 % (de 6 millions de tonnes par an environ en 2000 à 17 millions en 2050) dans le cas de l'azote (N) et de plus de 150 % (de 1.3 milliard de tonnes en 2000 à 3.3 millions en 2050) dans celui du phosphore (P) (graphique 5.7). Sont principalement en cause la croissance démographique, l'urbanisation accélérée et l'augmentation du nombre de ménages bénéficiant d'un assainissement amélioré et raccordés aux réseaux d'égouts, que les systèmes de traitement des eaux usées peinent à rattraper. L'élimination des éléments nutritifs par les stations d'épuration devrait s'améliorer rapidement, mais pas assez vite pour compenser la forte augmentation prévue des volumes à traiter.

Graphique 5.7. **Effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées : *scénario de référence*, 1970-2050**



1. Dans le modèle IMAGE, l'Afrique australe renvoie à une région géographique englobant dix pays, en plus de la République d'Afrique du Sud, pour les travaux concernant l'utilisation des terres, la biodiversité, l'eau et la santé. Pour la modélisation portant sur l'énergie, la région a été divisée entre, d'une part, l'Afrique du Sud et, d'autre part, le « reste de l'Afrique australe ».

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594579

Effluents d'éléments nutritifs liés à l'agriculture

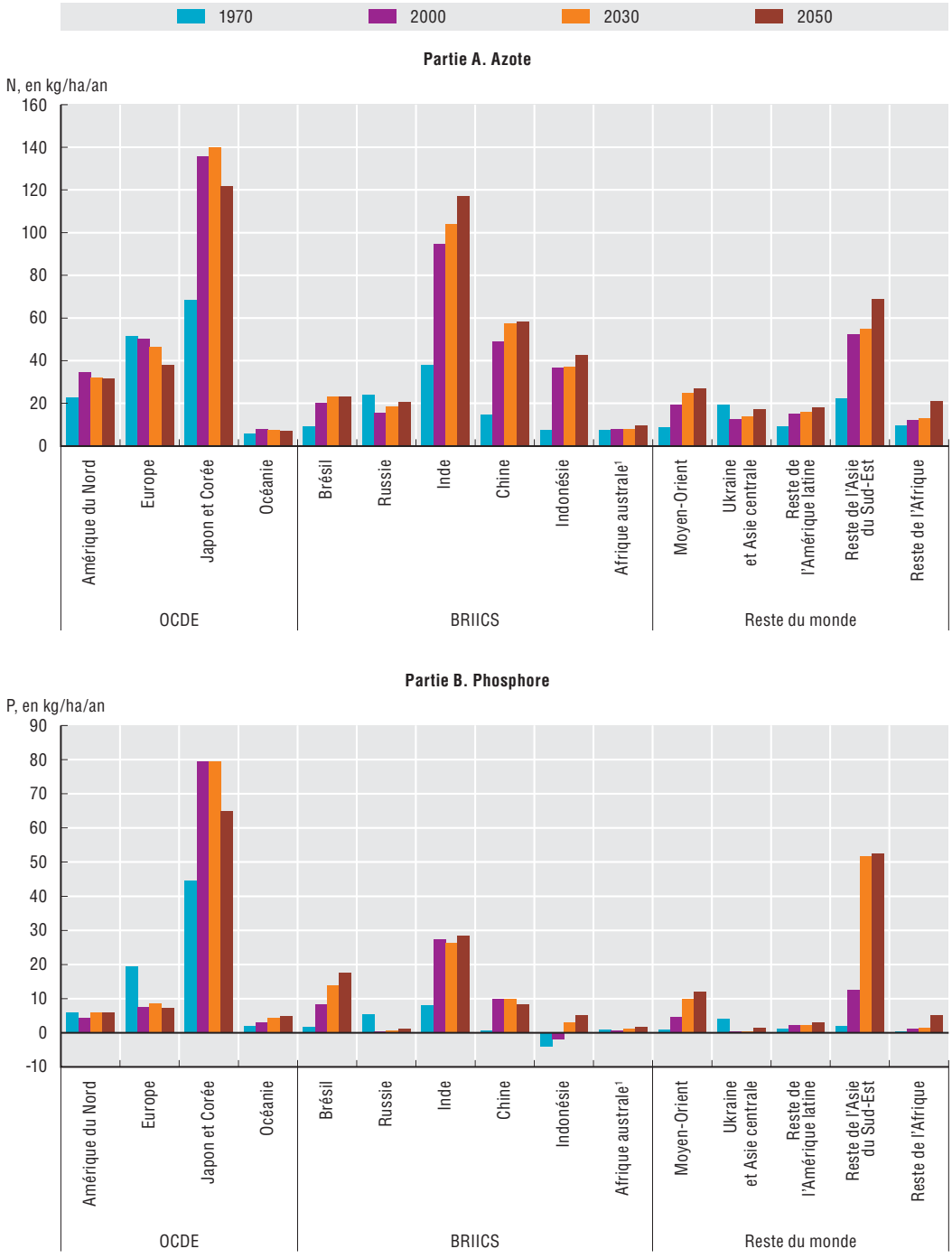
Des excédents d'éléments nutritifs apparaissent en agriculture si les quantités ajoutées pour enrichir les sols dépassent celles qui sont soustraites. Dans le cas de l'azote, ces excédents risquent de s'infiltrer dans les eaux souterraines, de ruisseler des champs vers les cours d'eau ou de diffuser dans l'atmosphère en se transformant en ammoniac (volatilisation). Les processus par lesquels l'azote pénètre dans le sol sont la fixation biologique, les dépôts atmosphériques, l'application d'engrais azotés de synthèse et l'épandage de fumier. L'azote est soustrait du sol par la récolte des cultures et le pâturage. Le phosphore vient du fumier et des engrais. Il suit le même cheminement que l'azote, à une différence près : il s'accumule dans le sol et n'est ni entraîné dans les eaux souterraines ni rejeté dans l'atmosphère (voir l'annexe 5.A pour plus de précisions).

D'après le *scénario de référence*, les excédents d'azote imputables à l'agriculture devraient diminuer dans la plupart des pays de l'OCDE d'ici à 2050 (graphique 5.8, partie A). En effet, les progrès en termes d'efficience d'utilisation des engrais seront sans doute plus rapides que l'accroissement de la production. En Chine, en Inde et dans la plupart des pays en développement, une tendance inverse est à prévoir : les excédents d'azote par hectare sont appelés à s'élever, la production augmentant plus vite que l'efficience d'utilisation. En Chine et en Inde, la production végétale devrait progresser de plus de 50 % pour la période 2000-30 et de 10 % à 20 % entre 2030 et 2050. Au Brésil, elle devrait enregistrer un bond de 65 % pour la période 2000-30, puis de 10 % supplémentaires à l'horizon 2050. Les projections indiquent une augmentation de plus de 75 % de la production brésilienne de soja et autres légumineuses pour la période 2000-30, suivie d'une stabilisation à l'horizon 2050. Elles prévoient dans ce pays une efficience d'utilisation des engrais azotés élevée et plus ou moins stable pour 2030, car le soja fixe l'azote atmosphérique et ne nécessite guère d'apports d'engrais azotés[5].

Sur le continent africain (hors Afrique australe), les projections placent l'Afrique du Nord en tête des excédents d'engrais, avec 20 % du total pour l'azote et 40 % pour le phosphore en 2050. En Afrique subsaharienne, les excédents sont plus faibles que dans bien d'autres pays en développement. Du fait que les sols manquent souvent de phosphore, il faut apporter davantage d'engrais pour rétablir et améliorer la fertilité du sol de façon à favoriser la production végétale. Globalement, le *scénario de référence* laisse entrevoir une augmentation de la production végétale africaine entre 2000 et 2050 (comme suit : Afrique du Nord, 150 % ; Afrique de l'Ouest, 375 % ; Afrique de l'Est, 265 %). Il table sur une expansion notable de l'espace agricole et sur des rendements accrus. À défaut d'augmentation des superficies consacrées à l'agriculture, cet essor de la production passe sans doute par le rétablissement et l'amélioration de la fertilité des sols, des progrès techniques et des taux d'application d'engrais plus élevés, surtout dans le cas des engrais phosphatés. Des méthodes d'exploitation plus écologiques seront également indispensables.

Dans la plupart des pays de l'OCDE, les excédents de phosphore par hectare devraient augmenter légèrement dans les vingt prochaines années, puis baisser par la suite (graphique 5.8, partie B). En Chine et en Inde, ils devraient aussi diminuer ou se stabiliser, tandis qu'un accroissement est à prévoir dans la plupart des pays en développement et au Brésil. Le phosphore est fixé dans le sol où il s'accumule jusqu'à saturation. Il faut continuer à enrichir le sol jusqu'à ce que le phosphore soit mobilisable par les plantes, ce qui entraîne des apports excédentaires. Les ruissellements augmentent d'autant. Lorsque le sol est saturé en phosphore, le processus de fixation s'arrête, et les apports d'engrais peuvent correspondre plus

Graphique 5.8. **Excédents d'éléments nutritifs liés à l'agriculture, par hectare : *scénario de référence*, 1970-2050**



1. Dans le modèle IMAGE, l'Afrique australe renvoie à une région géographique englobant dix pays, en plus de la République d'Afrique du Sud, pour les travaux concernant l'utilisation des terres, la biodiversité, l'eau et la santé. Pour la modélisation portant sur l'énergie, la région a été divisée entre, d'une part, l'Afrique du Sud et, d'autre part, le « reste de l'Afrique australe ».

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594598

ou moins aux quantités absorbées par la production végétale. Les excédents peuvent alors tendre vers zéro. Il en va ainsi dans beaucoup de régions agricoles d'Europe. En Chine et en Inde, les sols évoluent rapidement vers la saturation en phosphore, d'où la stabilisation ou la légère baisse des excédents qu'indiquent les projections.

Le Brésil utilise actuellement bien moins d'engrais par unité produite que la plupart des pays de l'OCDE – il devrait lentement se rapprocher des niveaux des pays membres, en enregistrant un accroissement notable de la production végétale. Par ailleurs, il faut signaler que le soja et autres légumineuses ont besoin de grandes quantités de phosphore. Ces deux facteurs expliquent l'augmentation des excédents de phosphore au Brésil.

Conséquences environnementales

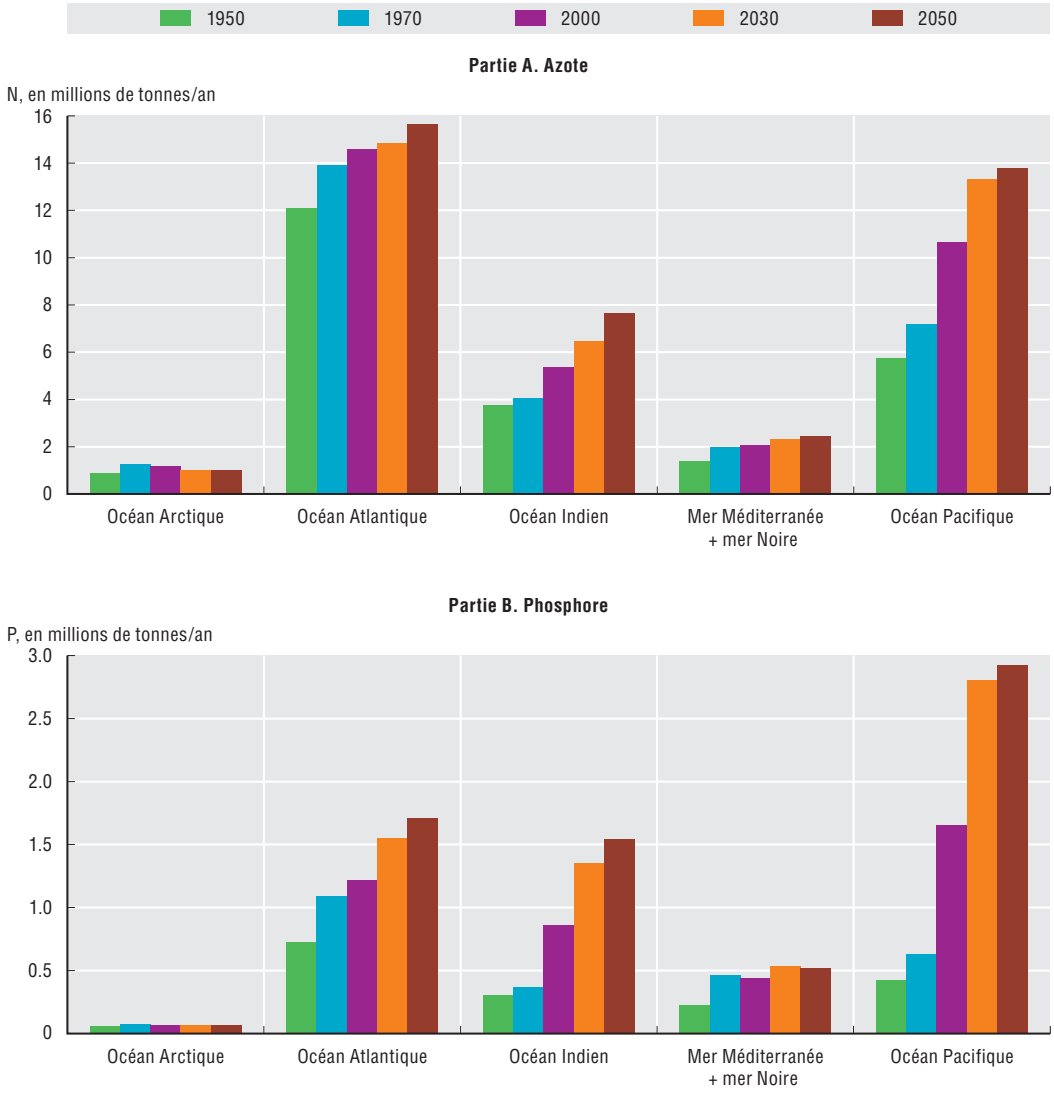
À l'échelle mondiale, on estime que la dégradation de la qualité de l'eau a déjà réduit la biodiversité d'un tiers environ dans les cours d'eau, les lacs et les zones humides, les pertes les plus importantes étant enregistrées en Chine, en Europe, au Japon, en Asie du Sud et en Afrique australe (les calculs sont précisés dans le chapitre 4 sur la biodiversité). D'après le *scénario de référence*, la biodiversité aquatique devrait encore régresser dans les BRIICS et les pays en développement d'ici à 2030, puis se stabiliser (voir le chapitre 4 sur la biodiversité pour un examen plus détaillé). Or cette baisse est sous-estimée, car les incidences des futurs barrages, de l'assèchement de terres gagnées sur les zones humides et du changement climatique n'entrent pas dans la modélisation. Par ailleurs, la surexploitation de certaines ressources en eau et les modifications hydromorphologiques ont porté atteinte aux écosystèmes aquatiques. La fixation et la mise en application de débits fluviaux écologiques minimums, ainsi que le retour à l'état naturel du lit, des berges et du régime d'écoulement des cours d'eau, ont de plus en plus leur place dans la planification environnementale de certains pays de l'OCDE, évolution dynamisée dans l'Union européenne par la directive-cadre sur l'eau (encadré 5.9).

D'après le *scénario de référence*, compte tenu de la charge croissante en éléments nutritifs dans les eaux de surface, le nombre de lacs touchés par la prolifération d'algues nocives aura globalement augmenté de 20 % environ en 2050 par rapport à 2000, l'Asie, l'Afrique et le Brésil étant plus particulièrement affectés. Ces effets devraient être aggravés par le changement climatique et l'élévation de la température de l'eau (Carpenter *et al.*, 1992 ; Mooij *et al.*, 2005 ; Jeppesen *et al.*, 2009).

La fréquence, la durée, l'ampleur et la portée des phénomènes d'appauvrissement en oxygène et de prolifération d'algues nocives vont augmenter d'ici à 2050 selon les projections du *scénario de référence*, car les fleuves apportent toujours plus d'éléments nutritifs dans les mers, notamment dans le Pacifique (graphique 5.9). Les rejets de phosphore devraient progresser plus vite que les rejets d'azote et de silicium (graphique 5.9, partie B), non sans compromettre l'équilibre naturel des écosystèmes marins près des côtes. La tendance est encore accentuée par la multiplication des barrages partout dans le monde. Du fait que les sédiments chargés en silicium se déposent au fond des réservoirs, la quantité de sédiments charriés en aval diminue, et la concentration de silicium est réduite d'autant. Ce déséquilibre amplifie le risque de prolifération d'algues nocives.

Abstraction faite des eaux usées et de l'agriculture, l'aquaculture entraîne des rejets d'éléments nutritifs de plus en plus abondants. Ceux-ci n'étant pas pris en compte dans le modèle, les projections risquent de sous-estimer les quantités apportées dans les cours d'eau et les mers.

Graphique 5.9. **Éléments nutritifs rejetés par les cours d'eau dans les mers : *scénario de référence*, 1950-2050**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594617

Accès aux services d'eau et d'assainissement

Tendances actuelles

La cible 7.C des Objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) est de « réduire de moitié d'ici à 2015 le pourcentage de la population qui n'a pas accès de façon durable à l'eau potable et à des services d'assainissement de base ». Cette section examine le nombre de personnes sans accès une *source d'eau améliorée* et à un assainissement de base, selon le programme commun de surveillance. Cependant, accès à une source d'eau améliorée ne signifie pas forcément accès à une *eau potable*.

Il ressort du suivi officiel de la cible 7.C des OMD qu'au niveau mondial, le nombre de personnes ayant accès à une source d'approvisionnement en eau améliorée s'est accru de 1.1 milliard en zone urbaine et de 723 millions dans les campagnes entre 1990 et 2008

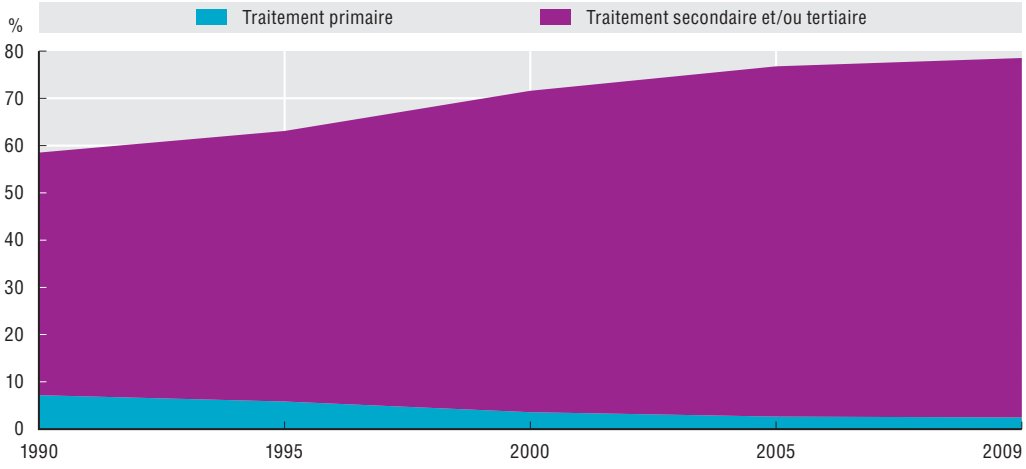
(Nations Unies, 2011). Il s'agit pour la plupart d'habitants des BRIICS. Il n'en reste pas moins qu'en 2008, 141 millions de citadins et 743 millions de ruraux demeuraient tributaires de sources d'approvisionnement en eau non améliorées (Nations Unies, 2011). Qui plus est, le nombre d'habitants des villes dépourvus d'accès à une source améliorée a en fait augmenté entre 1990 et 2008, puisque l'urbanisation a progressé plus vite que les nouveaux raccordements (graphique 5.12).

Le suivi officiel montre par ailleurs qu'en 2008, 2.6 milliards de personnes n'avaient toujours pas accès à un assainissement de base. D'après l'Évaluation annuelle mondiale de l'ONU-Eau sur l'assainissement et l'eau potable (GLAAS ; OMS, 2010)[6], c'est en Asie du Sud et de l'Est et en Afrique subsaharienne que les personnes sans approvisionnement en eau amélioré ni assainissement de base sont les plus nombreuses. Jusqu'à présent, les efforts visant à accroître les taux de raccordement ont davantage profité aux plus aisés qu'aux pauvres (Nations Unies, 2011). Cette situation entraîne d'énormes risques sanitaires, en particulier pour les individus les plus pauvres, qui sont les plus vulnérables.

Dans les pays de l'OCDE, le pourcentage de la population raccordée à une station d'épuration municipale est passé d'un peu moins de 50 % au début des années 1980 à environ 70 % aujourd'hui (graphiques 5.10 et 5.11). Pour l'ensemble de l'OCDE, près de la

Graphique 5.10. **Taux de raccordement aux stations d'épuration dans la zone OCDE, 1990-2009**

En % de la population totale



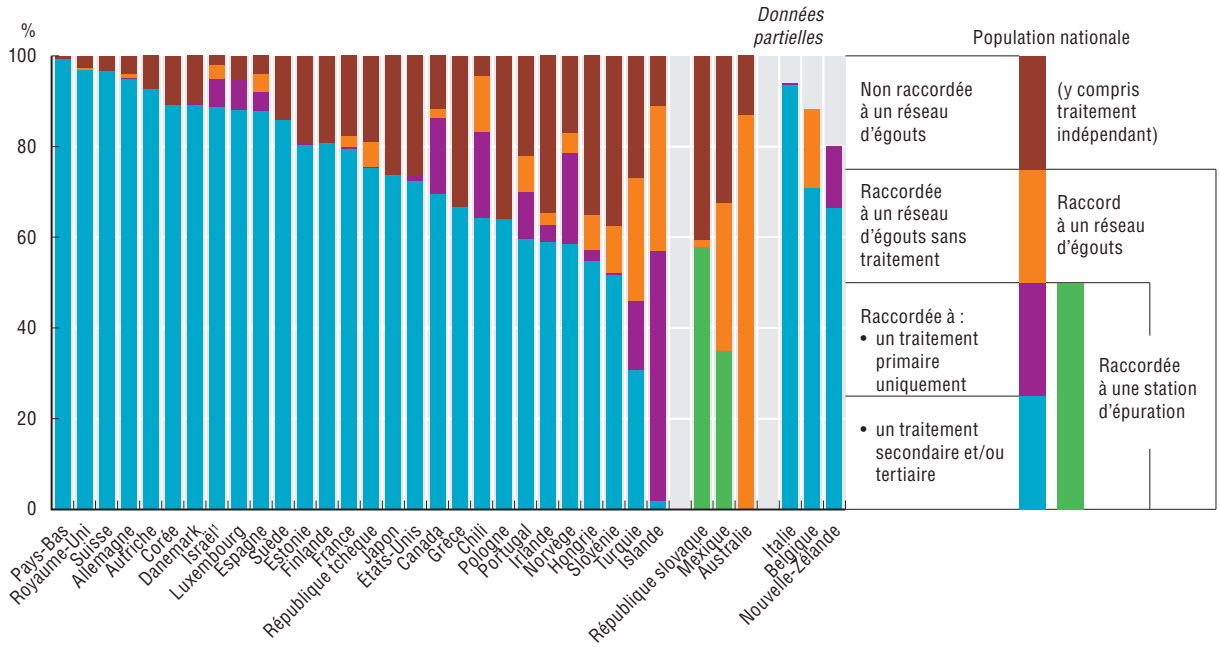
Note : Cet indicateur présente le pourcentage de la population d'un pays qui est raccordée à une station d'épuration publique, ainsi que le niveau de traitement (primaire uniquement, secondaire et tertiaire – voir définitions ci-après). « Raccordé »signifie ici raccordé physiquement à une station d'épuration par un réseau d'égouts public. Les stations d'épuration non publiques, qui traitent les eaux usées industrielles, ou les installations individuelles privées, comme les fosses septiques, ne sont pas prises en compte. Le taux de raccordement optimal n'est pas nécessairement égal à 100 % ; il peut varier d'un pays à l'autre et dépend des caractéristiques géographiques et de la répartition spatiale des habitats. Le traitement primaire désigne le traitement des eaux usées (urbaines) par un processus physique et/ou chimique de décantation des solides en suspension, ou d'autres processus qui réduisent d'au moins 20 % avant rejet la demande biologique en oxygène (DBO) des eaux usées entrantes et d'au moins 50 % le total des solides en suspension qu'elles contiennent. Le traitement secondaire recourt à un processus le plus souvent biologique pour traiter les eaux usées (urbaines) et passe par une décantation secondaire ou un autre traitement, entraînant l'élimination d'au moins 70 % de la DBO et d'au moins 75 % de la DCO (demande chimique en oxygène). Le traitement tertiaire (qui complète le traitement secondaire) s'attaque à l'azote, au phosphore et/ou à tout autre polluant affectant la qualité ou empêchant une utilisation spécifique de l'eau : pollution microbiologique, coloration, etc. Les efficiences des différents traitements possibles ne s'additionnent pas.
Les données ne tiennent pas compte de l'Australie, du Chili, du Mexique, de la République slovaque et de la Slovénie.

Source : Direction de l'environnement de l'OCDE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594636

Graphique 5.11. **Part de la population raccordée à une station d'épuration publique dans les pays de l'OCDE**

2009 ou dernière année disponible, en % de la population totale



Note : Voir la note du graphique précédent.

1. Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem-Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Source : Direction de l'environnement de l'OCDE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594655

moitié des dépenses publiques de lutte contre la pollution concerne l'eau (assainissement et traitement des eaux usées). Si l'on prend en compte les dépenses du secteur privé, ce domaine représente pas moins de 1 % du PIB dans certains pays.

Le pourcentage de la population raccordée à une station d'épuration et le niveau de traitement varient notablement d'un pays de l'OCDE à l'autre (graphique 5.11) : le traitement secondaire et tertiaire a ainsi progressé dans certains, tandis que d'autres en sont encore au stade de la construction de réseaux d'égouts ou de stations d'épuration de première génération. À l'avenir, l'élimination des micropolluants nécessitera de nouveaux traitements (encadré 5.4). La gestion des eaux pluviales et des eaux de ruissellement, ainsi que de la pollution qu'elles provoquent, constitue un autre motif de préoccupation. Certains pays ont atteint la limite économique en termes de raccordement au réseau d'égouts et optent pour d'autres solutions non collectives de traitement des eaux usées, surtout pour de petites localités isolées (encadré 5.5).

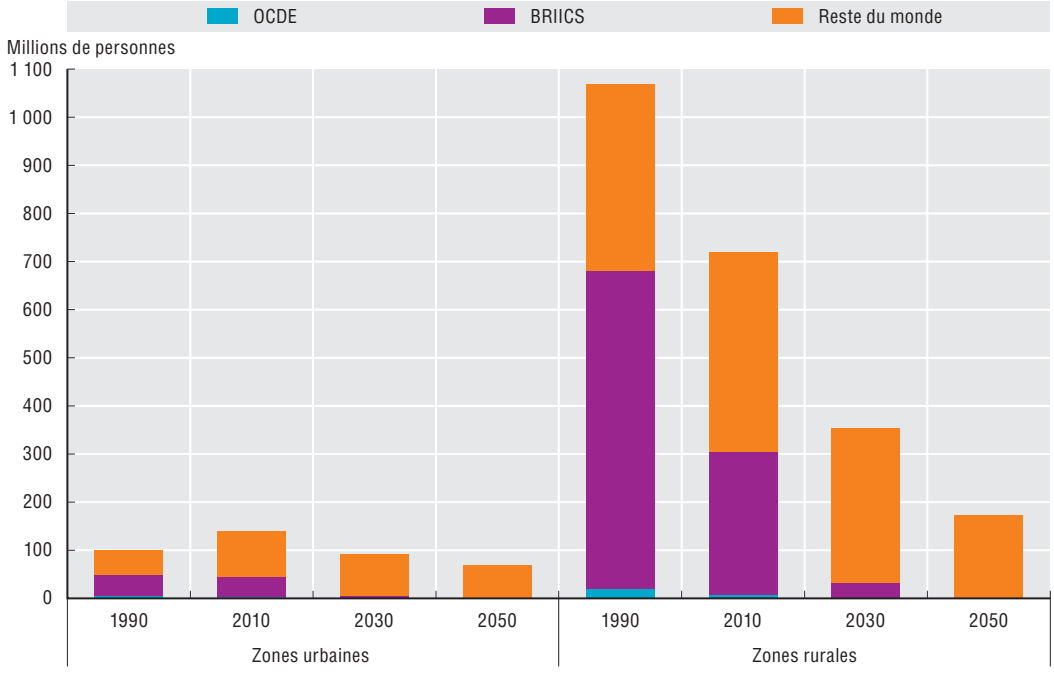
Évolution future

D'après le *scénario de référence*, tous les BRIICS assureront un accès universel à un approvisionnement en eau amélioré avant 2050 (graphique 5.12)[7]. Les taux de raccordement devraient s'accroître sous l'effet de la hausse du niveau de revenu et de la poursuite de l'urbanisation, qui facilite l'élargissement de la couverture des réseaux d'adduction d'eau et d'assainissement. En revanche, dans les pays en développement (reste du monde), les

Encadré 5.5. **Le programme ibéro-américain sur l'eau**

L'Espagne soutient le programme ibéro-américain sur l'eau, approuvé en 2007 par le Sommet ibéro-américain des chefs d'État et de gouvernement et destiné à appuyer la réalisation des OMD relatifs à l'eau et à l'assainissement en Amérique latine. Ce programme donne lieu à quatre activités : renforcement des capacités, transfert de technologie, consolidation des institutions et soutien à la Conférence des directeurs ibéro-américains pour l'eau (CODIA). Parmi les résultats notables, on note la fondation d'un centre de recherche et d'essais pour les technologies non traditionnelles de traitement des eaux en Uruguay, qui encourage la recherche et le transfert de technologies par l'intermédiaire du dialogue entre les parties prenantes et les pays. Ce type de technopole a pour vocation de mettre à l'essai de nouvelles technologies d'assainissement originales destinées à des petites localités isolées, ainsi que d'identifier les solutions optimales en fonction des conditions climatiques et des polluants à traiter.

Graphique 5.12. **Nombre de personnes n'ayant pas accès à une source d'eau améliorée : *scénario de référence*, 1990-2050**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

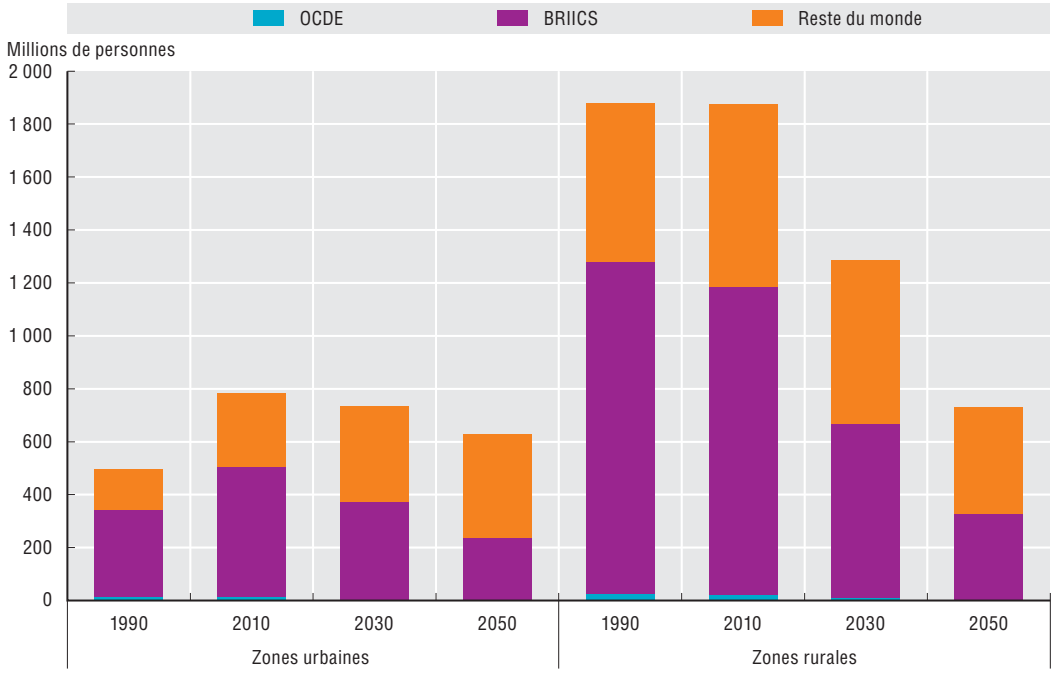
StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594674

progrès devraient être beaucoup plus lents. D'après les estimations des Nations Unies, 85 % de la population vivant dans les régions en développement aura vraisemblablement accès à une source d'eau potable améliorée en 2015, contre 70 % en 1990 (Nations Unies, 2011). L'OMD qui prévoit de diviser par deux le nombre de personnes n'ayant pas accès à un approvisionnement en eau amélioré entre 1990 et 2015 devrait être atteint dans la plupart des régions, mais pas en Afrique subsaharienne.

Cependant, ce succès apparent peut être trompeur, et ce pour trois raisons. Premièrement, des progrès rapides ont été observés dans les zones rurales et cette tendance devrait se prolonger d'après le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, mais le

nombre absolu de ruraux dépourvus d'accès est toujours préoccupant (graphique 5.13). Deuxièmement, comme évoqué ci-avant, le nombre de citadins sans accès à un approvisionnement en eau amélioré a en fait augmenté entre 1990 et 2008, car le développement des services n'a pas suivi le rythme de la croissance des villes. Troisièmement, enfin, l'indicateur des OMD – c'est-à-dire la « proportion de personnes qui utilisent des sources d'eau potable améliorées »– ne rend pas nécessairement compte de l'accès à une eau *potable*, qui a été reconnu comme un droit de l'homme fondamental par les Nations Unies en 2010 (voir la section 3 pour plus de détails). Les travaux de l'OCDE l'ont amplement démontré, notamment ceux concernant l'Europe orientale, le Caucase et l'Asie centrale (EOCAC ; voir OCDE, 2011d).

Graphique 5.13. **Nombre de personnes n'ayant pas accès à des installations sanitaires de base : *scénario de référence*, 1990-2050**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594693

D'après le *scénario de référence*, le nombre de personnes n'ayant pas accès à un système d'assainissement de base devrait se maintenir à 2.5 milliards à l'horizon 2015 et être encore de près de 1.4 milliard en 2050. Il devrait s'agir à 60 % de personnes vivant ailleurs que dans les pays de l'OCDE et les BRIICS (graphique 5.13). Dans ces conditions, il est vraisemblable que la cible des OMD relative à l'assainissement ne sera pas atteinte en Afrique subsaharienne et dans un certain nombre de pays d'Asie.

Comme l'illustrent les graphiques 5.12 et 5.13, la grande majorité des personnes n'ayant pas accès à l'eau et à l'assainissement à l'heure actuelle vivent en milieu rural. Selon les projections, cette tendance devrait se poursuivre jusqu'en 2050, date à laquelle le nombre de ruraux sans accès à l'assainissement devrait être comparable à celui des citadins se trouvant dans cette situation.

Ces chiffres sont inquiétants, et on ne saurait trop insister sur les conséquences de l'inaction face à la nécessité d'accélérer les avancées en la matière. Les implications pour la santé, notamment, sont bien documentées. On estime ainsi que l'eau insalubre, l'assainissement inadéquat et le manque d'hygiène coûtent la vie à 2.2 millions d'enfants de moins de 5 ans chaque année à travers le monde. Sur ce nombre, 1.5 million décèdent de maladies diarrhéiques, deuxième cause de morbidité dans le monde. L'impact en termes de décès (mortalité) de ces maladies chez les enfants de moins de 15 ans est plus important que l'impact combiné du VIH et du sida, du paludisme et de la tuberculose (voir le chapitre 6 sur la santé et l'environnement).

La non-réalisation de l'objectif concernant l'assainissement sera également lourde de conséquences pour la qualité de l'eau. L'épuration des eaux usées progresse moins vite que leur collecte, d'où l'apparition de nouvelles sources d'éléments nutritifs et d'agents pathogènes qui sont rejetés dans l'environnement sans être traités. Les répercussions de cette situation sur l'environnement ont été examinées plus haut dans la section sur la qualité de l'eau.

3. Action publique : scénarios actuels et à venir

Cette section commence par passer en revue les instruments dont disposent aujourd'hui les pouvoirs publics pour gérer les ressources en eau et développer les services d'eau et d'assainissement, en illustrant l'exposé par des exemples d'avancées réalisées récemment par les pays de l'OCDE dans leur application. Elle examine ensuite trois simulations effectuées à partir de modèles afin d'analyser d'autres scénarios d'avenir en matière d'utilisation efficiente de l'eau, de réduction des éléments nutritifs et d'amélioration de l'accès à une eau salubre et à l'assainissement.

Inventaire des instruments de la politique de l'eau

Les pays de l'OCDE ont adopté toute une série d'outils pour relever les défis auxquels ils sont confrontés dans le domaine de l'eau, dont des approches réglementaires, des instruments économiques, des outils fondés sur l'information et d'autres moyens d'action (tableau 5.1).

Approches réglementaires

Afin de protéger la santé humaine, la plupart des pays ont instauré des normes de qualité de l'eau ambiante modulées selon les différents usages : boisson, activités récréatives ou baignade, par exemple. Des normes de qualité s'appliquent aussi aux rejets des réseaux d'égouts municipaux et des stations d'épuration, des industries et des centrales électriques.

Ainsi, l'Australie dispose d'orientations nationales sans caractère obligatoire (définies dans la *National Water Quality Management Strategy*) qui peuvent être intégrées dans la législation au niveau fédéral ou des territoires, et donc faire l'objet d'une réglementation à ces niveaux. Dans l'UE, selon les données à long terme des stations de surveillance (Eionet), les concentrations de phosphore et de nitrates relevées dans l'eau douce sont en recul depuis quelques années (1992-2008), essentiellement grâce à l'amélioration du traitement des eaux usées et à l'interdiction des détergents phosphatés.

Tableau 5.1. **Principaux instruments de gestion des ressources en eau**

Approches réglementaires (mesures contraignantes)	Instruments économiques	Instruments d'information et autres
Normes de qualité de l'eau (eau de boisson, qualité ambiante, eaux à usage récréatif, rejets industriels, par exemple).	Redevances (de prélèvement ou de pollution, par exemple). Tarification (des services de l'eau, par exemple). Paiement des services de bassin (protection des captages en amont, par exemple).	Comptage de la consommation d'eau. Éco-étiquetage et certification (agriculture, appareils ménagers économes en eau, par exemple).
Normes de performances.	Réforme des subventions dommageables pour l'environnement (soutien agricole lié à la production, subventions énergétiques pour le pompage de l'eau, par exemple).	Accords volontaires sur le rendement d'utilisation de l'eau entre les entreprises et les pouvoirs publics.
Encadrement ou interdiction de certaines activités ayant un impact sur les ressources en eau (activités polluantes dans les bassins hydrographiques, interdiction des détergents phosphatés, par exemple).	Subventions (investissements publics dans les infrastructures, tarification sociale de l'eau, par exemple).	Mesures de promotion/sensibilisation/formation en faveur de pratiques agricoles écologiques ou de technologies d'irrigation améliorées.
Autorisations de prélèvement et de rejet. Droits sur l'eau.	Quotas et droits sur l'eau négociables.	Initiatives partenariales et accords de coopération visant à améliorer les réseaux d'eau, par exemple entre agriculteurs et compagnies des eaux.
Règlements d'occupation des sols et zonage (obligation d'établir des zones tampons pour l'emploi de pesticides, par exemple).	Mécanismes d'assurance.	Outils de planification (plans de gestion intégrée des bassins hydrographiques, par exemple). Analyse coûts-avantages des politiques de gestion de l'eau.

Droits sur l'eau[8]

Les droits sur l'eau modernes précisent le volume d'eau qui peut être prélevé par leur détenteur dans une masse d'eau. Il peut s'agir d'un volume fixe ou d'une proportion de l'eau disponible. Dans la plupart des pays où ils sont explicitement définis, ces droits sont attachés à la propriété foncière. Les pays commencent toutefois à acquérir une certaine expérience du dégroupage et de la gestion séparée des deux, ce qui ouvre des possibilités de redéploiement flexible des droits sur l'eau. De fait, ces droits peuvent constituer pour les pouvoirs publics un instrument efficace pour réaffecter l'eau au profit des usages qui présentent le plus de valeur (qu'il s'agisse de cultures de valeur ou d'usages industriels particuliers).

Les droits sur l'eau sont soumis à une série de conditions, notamment au paiement de redevances. Toutefois, dans la pratique, les détenteurs de droits peuvent se considérer lésés en cas de prix élevé de l'eau. En outre, les droits sur l'eau sont négociables dans certains pays ou régions et ils ont généralement une durée limitée, ce qui permet de concilier sécurité des droits et flexibilité de l'allocation d'eau.

Pour que les droits sur l'eau puissent être utilisés comme un moyen d'action par les pouvoirs publics, ils doivent le plus souvent être réformés de façon à confier à l'État la propriété et le contrôle de l'eau. Cette démarche peut susciter l'opposition des détenteurs de droits et de ceux qui cherchent à se constituer une rente. Il convient donc de réfléchir à des processus adaptés ainsi qu'à des mesures de compensation.

Les importantes questions de fond soulevées par les droits sur l'eau sont illustrées par un certain nombre d'évolutions récentes. En premier lieu, on observe une multiplication des baux fonciers conclus entre des économies à croissance rapide, qui ont besoin de garantir leurs approvisionnements alimentaires, et des États plus pauvres qui possèdent des terres fertiles et des réserves d'eau (FEM, 2011) ; dissocier les droits sur l'eau de la propriété foncière dans les

seconds permettrait de s'assurer que leurs besoins nationaux en eau sont satisfaits, mais cela pourrait entraîner des tensions avec les nouveaux acquéreurs. En second lieu, il y a un risque de voir une partie des droits sur l'eau faire l'objet d'achats spéculatifs. Pour lutter contre ce risque, plusieurs États d'Australie interdisent ou plafonnent la détention de droits sur l'eau par des personnes qui ne possèdent pas ou n'occupent pas de terrain, ou limitent la proportion de droits sur un captage donné qui peut être détenue par des utilisateurs non-agriculteurs. En conséquence, les marchés de l'eau sont souvent inaccessibles aux utilisateurs urbains (Ekins et Salmons, 2010). En troisième lieu, la réaffectation de l'eau peut avoir des conséquences négatives pour les tiers, qu'il convient de réduire au minimum. Il importe notamment de tenir compte des besoins de l'environnement, par exemple en veillant à l'existence de réserves écologiques minimales.

Les droits négociables sur les éléments nutritifs, qui visent à atténuer la pollution par ces éléments, sont une variante des droits négociables sur l'eau. L'exemple du Lac Taupo en Nouvelle-Zélande illustre bien comment un mécanisme de droits négociables peut réduire le ruissellement d'éléments nutritifs dans les lacs et aider à restaurer la qualité de l'eau (voir encadré 5.6).

Tarification de l'eau

Une tarification appropriée de l'eau et des services correspondants crée des incitations à réduire le gaspillage, à moins polluer, à investir davantage dans les infrastructures de l'eau et à attribuer une valeur aux services fournis par les bassins hydrographiques. La tarification de l'eau peut servir quatre objectifs :

- À l'instar des incitations fiscales et des transferts, elle dégage des moyens pour financer les dépenses d'investissement et les coûts d'exploitation et d'entretien.
- Elle aide à répartir l'eau entre usages concurrents.
- Elle sert à gérer la demande et à dissuader les usagers d'épuiser les ressources.
- Des tarifs appropriés permettent d'assurer un accès adéquat et équitable à l'eau et aux services de l'eau.

Les pays de l'OCDE s'efforcent aujourd'hui de mieux tenir compte des coûts et des externalités des usages domestiques et industriels de l'eau (OCDE, 2010a), comme en témoignent le niveau plus élevé des prix (qui ont parfois augmenté de manière significative sur la dernière décennie) et l'évolution de la structure des tarifs (qui reflète mieux les coûts liés à la consommation et au traitement).

Ils ont par ailleurs acquis une certaine expérience dans l'application de redevances de prélèvement, de redevances de pollution ou sur les rejets et d'autres instruments économiques, tels que les droits sur l'eau négociables ou les paiements pour services de bassin, ce qui leur permet de renforcer l'efficience économique, l'équité sociale et la viabilité écologique des prélèvements d'eau et de l'allocation entre usages concurrents :

- Les pouvoirs publics appliquent souvent des redevances de prélèvement dans le but de lever des financements pour la gestion des ressources en eau ou pour les activités de protection des bassins hydrographiques, mais ces redevances ne tiennent pas souvent compte de la rareté de l'eau et sont en général relativement modestes. Les taxes de prélèvement d'eaux souterraines ont tendance à être plus lourdes que celles qui frappent les prélèvements d'eaux de surface. Dans la plupart des cas, ces redevances sont perçues et gérées par les autorités locales.

Encadré 5.6. **Droits négociables destinés à réduire les flux d'éléments nutritifs : le cas du Lac Taupo en Nouvelle-Zélande**

Le lac Taupo est le plus grand lac d'eau douce de Nouvelle-Zélande et constitue une importante zone de pêche. Les autorités régionales ont pris des mesures pour réduire les apports d'éléments nutritifs dans ses eaux afin de préserver et d'améliorer leur qualité. En l'occurrence, elles ont décidé de mettre en place un système de plafonnement et d'échange en procédant par étapes :

1. Définition du « plafond » – la charge en éléments nutritifs à ne pas dépasser pour préserver la qualité des eaux du lac.
2. Détermination des acteurs du marché – ceux qui rejettent le plus d'éléments nutritifs dans le bassin du lac.
3. Attribution de permis de pollution par les éléments nutritifs aux principaux acteurs.
4. Échange de permis – ce qui implique l'existence d'un marché et la définition d'un prix.
5. Surveillance du respect des dispositions.

Ce système permet de s'assurer que toute augmentation d'éluviation de nitrates est compensée par une réduction correspondante et équivalente à l'intérieur du bassin du Lac Taupo. L'objectif est de réduire la charge d'azote de 20 %. Les exploitations agricoles représentent plus de 90 % des apports maîtrisables d'azote dans le lac, de sorte que les agriculteurs sont les principaux acteurs du système. Un autre acteur clé est le *Lake Taupo Protection Trust*, organisme administrant un fonds de protection de la qualité des eaux du lac, qui sera en mesure d'acheter des permis de rejet d'azote et/ou des terres agricoles.

Les permis sont au départ attribués en fonction de la densité de pâturage, de la production de viande et de laine, de l'utilisation d'engrais et d'autres paramètres vérifiables, pour une période de cinq ans et en se fondant sur les prévisions d'éluviation de l'azote réalisées à l'aide du modèle Overseer® (modèle informatique servant à calculer et estimer les flux d'éléments nutritifs dans un système de production agricole). Une fois ce processus terminé, chaque agriculteur reçoit une autorisation indiquant la quantité fixe d'azote qu'il est autorisé à rejeter (en tonnes par an).

D'une année sur l'autre, les agriculteurs peuvent modifier leurs pratiques agricoles, à condition que leurs ruissellements (d'après les prévisions d'Overseer®) n'excèdent pas le plafond de rejet d'azote autorisé. Si un agriculteur veut augmenter sa production, il doit acheter des droits de rejet d'azote à un autre agriculteur qui souhaite réduire la sienne. Lorsque les deux agriculteurs sont parvenus à un accord, leurs droits de rejet respectifs sont adaptés en conséquence, à la hausse pour l'un et à la baisse pour l'autre.

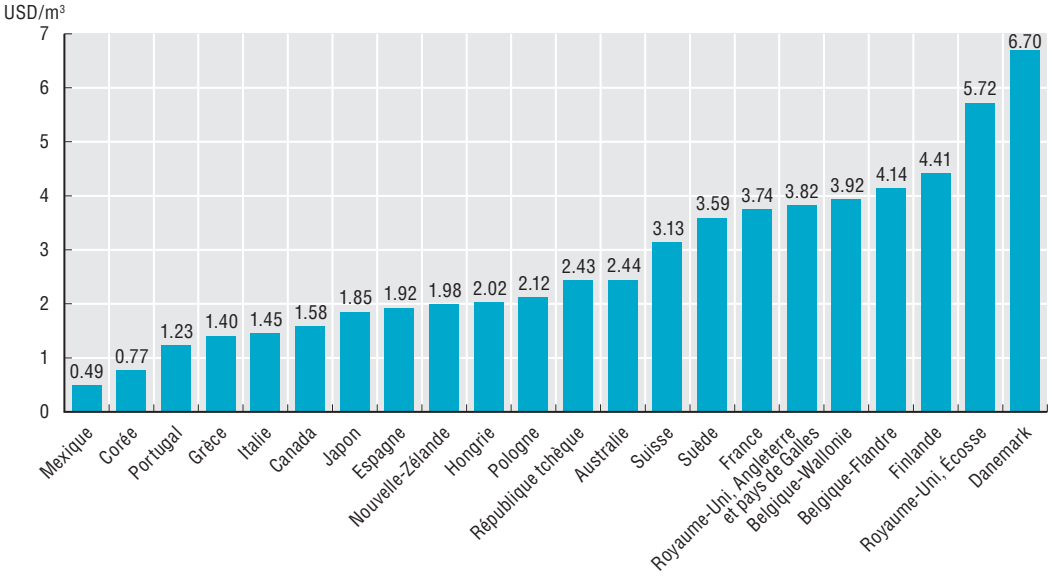
Source : D'après Rutherford, K. et T. Cox (2009), « Nutrient Trading to Improve and Preserve Water Quality », *Water and Atmosphere*, vol. 17, n° 1.

- Il est possible de moduler les redevances de pollution en fonction de diverses caractéristiques du pollueur, des effluents ou des eaux réceptrices. Dans la plupart des cas, ces redevances sont perçues au niveau local, mais rarement à celui du bassin hydrographique, et dévolues au financement d'activités environnementales. Dans certains pays, les recettes collectées auprès des bénéficiaires en aval servent à indemniser les habitants en amont pour les restrictions que leur impose la réglementation foncière, ce qui constitue une étape importante vers une gestion des eaux et de l'aménagement du territoire véritablement intégrée au niveau des bassins hydrographiques.

Les prix de l'eau à usage agricole ont augmenté dans les pays de l'OCDE. Cependant, bien souvent, ils couvrent seulement les coûts d'exploitation et d'entretien, tandis que les coûts d'investissement dans l'infrastructure d'irrigation ne sont que peu, voire pas du tout, récupérés. Il est peu fréquent que les prix de l'eau prennent en compte la rareté et les coûts environnementaux, ce qui tient souvent à la crainte de voir leur relèvement nuire à la compétitivité des agriculteurs sur les marchés mondiaux. Néanmoins, dans les pays qui ont augmenté les tarifs de l'eau payés par les agriculteurs, les données disponibles ne font apparaître aucune baisse de la production agricole (OCDE, 2010c). Les politiques de tarification de l'eau à usage agricole sont souvent associées à d'autres instruments (de réglementation), comme les seuils et permis de prélèvement.

La tarification appliquée aux ménages pour les services d'eau et d'assainissement varie considérablement d'un pays de l'OCDE à l'autre (graphique 5.14), ce qui témoigne de l'inégalité des efforts déployés pour récupérer le coût des services *via* les prix. Les données montrent que, dans la moitié des pays, les services de traitement des eaux usées peuvent être plus onéreux que les services d'eau potable. Elles confirment également que les prix ont progressé durant la décennie écoulée (quoiqu'à un rythme parfois moins soutenu ces dernières années), en raison surtout du relèvement des redevances de traitement des eaux usées, qui ont été alignées sur les coûts de l'investissement nécessaire à une mise en conformité avec les normes environnementales (passage au traitement tertiaire, par exemple). La taxe sur la valeur ajoutée (TVA) ainsi que les autres taxes expliquent aussi en partie cette augmentation.

Graphique 5.14. **Prix unitaire des services d'eau et d'assainissement fournis aux ménages dans l'OCDE (taxes comprises), 2007/08**



Source : Estimations de l'OCDE à partir des réponses communiquées par les pays à l'enquête de 2007-08 ou de données provenant de sources publiques validées par les pays ; voir OCDE (2010a), *Le prix de l'eau et des services d'eau potable et d'assainissement*, Éditions OCDE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594712

La structure des tarifs de distribution de l'eau varie à la fois entre les pays de l'OCDE et au sein même de ces pays, en fonction du degré de décentralisation du processus de fixation des tarifs. Plusieurs études de l'OCDE constatent qu'au fil des ans, de moins en moins de

pays appliquent des structures tarifaires dégressives par tranches et un tarif fixe. Dans certains pays, la tendance est aujourd'hui à l'application de redevances comportant une part fixe et une part dépendant du volume de consommation d'eau, ou à l'alourdissement progressif de la part fixe dans la facture d'eau.

De plus en plus de pays instaurent des redevances d'assainissement pour couvrir le coût de gestion des eaux usées. Dans la plupart des cas, les redevances de collecte et de traitement des eaux usées sont perçues séparément, même si la base de calcul reste le plus souvent la consommation d'eau, et si seul le montant du tarif volumétrique diffère.

Un certain nombre d'enseignements ont été tirés concernant les conséquences sociales des politiques de tarification de l'eau. Lorsque les prix de l'eau sont bas, ce sont les populations pauvres qui en pâtissent le plus, car les compagnies des eaux sont alors privées des moyens financiers nécessaires pour développer leur réseau, de sorte que les plus démunis n'ont pas d'autre choix que de s'approvisionner en eau de mauvaise qualité auprès de revendeurs privés. Les tarifs de l'eau peuvent être structurés de façon à tenir compte des besoins fondamentaux de tous les segments de la population. Cela étant, il est plus efficace de poursuivre les objectifs sociaux au moyen de mesures ciblées telles que des politiques d'aide au revenu. Dans le cadre de la conception de telles mesures, le ciblage et le maintien des coûts de transaction à un niveau peu élevé sont des critères essentiels.

Pour les usagers industriels, la tarification des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement n'est pas tout à fait la même que pour les particuliers. Par exemple, davantage de pays et de régions appliquent des tarifs dégressifs par tranches à ces usagers, et en particulier aux gros consommateurs d'eau. La volonté de retenir les gros clients qui procurent localement des recettes substantielles et stables semble freiner le recours à des structures tarifaires qui favoriseraient une réduction de la consommation d'eau. En ce qui concerne la gestion des eaux usées, les données font apparaître un recours accru à des redevances de collecte distinctes des redevances d'épuration, ces dernières étant de plus en plus établies sur la base de la charge polluante des rejets industriels, ce qui reflète mieux le véritable coût du traitement.

Combiner des instruments d'action : vers un cadre cohérent

Une gestion efficace de l'eau passe par un ensemble cohérent d'instruments combinant réglementation et mécanismes de marché, souvent dans le cadre de plans de gestion complets visant des objectifs bien définis. Les encadrés 5.7 à 5.9 ci-après présentent des exemples tirés de pays de l'OCDE qui illustrent diverses combinaisons possibles de mesures, notamment d'outils économiques (tarification, droits négociables) et de réformes institutionnelles :

- l'initiative nationale pour l'eau de l'Australie (*National Water Initiative*, NWI), qui met largement l'accent sur la planification, la tarification et les échanges de droits sur l'eau ;
- la politique adoptée par Israël, qui associe technologies, tarification et comptage de l'eau ; et
- la directive-cadre sur l'eau de l'UE, qui met en avant les plans de gestion des bassins hydrographiques et l'efficacité par rapport aux coûts.

L'initiative nationale pour l'eau de l'Australie fait appel à une vaste panoplie de moyens d'action pour traiter différents aspects de la gestion de l'eau. Depuis son lancement en 2004, elle fait régulièrement l'objet d'évaluations et d'ajustements.

Encadré 5.7. **L'initiative nationale pour l'eau de l'Australie**

Adopté en 2004, l'Accord intergouvernemental sur une initiative nationale pour l'eau (*Intergovernmental Agreement on a National Water Initiative*, NWI) définit le modèle retenu par l'Australie pour réformer son secteur de l'eau. L'objectif global de l'initiative est d'instaurer à l'échelle nationale un système fondé tout à la fois sur les mécanismes de marché, la réglementation et la planification pour gérer les eaux de surface et souterraines à usage rural et urbain, en vue d'optimiser les résultats économiques, sociaux et environnementaux dans tout le pays. L'Accord sur la NWI énonce des objectifs, des résultats attendus et des engagements touchant à huit aspects interdépendants de la gestion de l'eau : droits d'accès et planification de l'accès à l'eau, marchés de l'eau et échanges, pratiques optimales de tarification de l'eau, gestion intégrée de l'eau au service de l'environnement, comptabilité des ressources en eau, réforme du secteur urbain de l'eau, développement des connaissances et des capacités, partenariats et ajustements locaux.

Tous les deux ans, les autorités australiennes publient un rapport d'évaluation de la mise en œuvre de la NWI. Ces évaluations portent sur tous les réseaux souterrains et superficiels dans l'ensemble des États et des territoires du pays, qu'ils soient ruraux ou urbains. Celle de 2011 relève que des progrès ont été accomplis depuis le lancement de la NWI en 2004, notamment en ce qui concerne les cadres de planification, les marchés de l'eau et les échanges. Les principales critiques portent sur le rythme des réformes, qui est jugé trop lent et inégal d'une collectivité à l'autre.

Afin de remédier à ce problème et d'autres, l'Australie a étoffé sa législation fédérale en adoptant une loi sur l'eau (*Water Act* de 2007) suivie d'une loi modificative (*Water Amendment Act* de 2008), ainsi que d'autres réglementations relatives à l'eau. Ce cadre réglementaire a débouché sur la création de l'autorité de gestion du bassin Murray-Darling (MDB), qui a été chargée de préparer un plan stratégique pour assurer une gestion intégrée et durable des ressources en eau du bassin. La loi sur l'eau de 2007 a également conduit à la création du *Commonwealth Environmental Water Holder*, office fédéral chargé de gérer « l'eau écologique »qui est destinée à protéger et restaurer le patrimoine environnemental au sein du bassin Murray-Darling (la plus importante région agricole d'Australie, d'où provient un tiers de l'approvisionnement alimentaire du pays), mais aussi à l'extérieur, là où le Commonwealth possède des ressources en eau.

Les autorités australiennes financent également le plan *Water for the Future* (encadré 5.13), initiative à long terme qui vient compléter la NWI et la loi sur l'eau de 2007 et vise à sécuriser l'approvisionnement en eau de tous les Australiens (moyennant des investissements de 12.9 milliards AUD sur 10 ans).

Sources : Site Internet de la Commission nationale de l'eau, *www.nwc.gov.au/www/html/117-national-water-initiative.asp* ; Australian National Water Commission (2011), *The National Water Initiative – Securing Australia's Water Future: 2011 Assessment*, NWC, Canberra.

Pour sa part, Israël se caractérise par une intensité de consommation d'eau douce qui est très élevée pour l'OCDE. Cette consommation dépasse les approvisionnements naturels (qui proviennent principalement des précipitations). En outre, le manque d'eau s'est aggravé dans un passé récent en raison de plusieurs cycles de sécheresse qui ont duré plusieurs années et ont conduit à surexploiter les ressources souterraines afin de répondre à la demande croissante d'eau. Les précipitations ont diminué de 9 % depuis 1993 en moyenne, et pourraient encore reculer de 10 % entre 2015 et 2035 si l'on en croit les modèles climatiques. Les perspectives à l'horizon 2050 indiquent que les pressions qui pèsent sur les ressources en eau limitées du pays, tant sur le plan de la quantité que de la

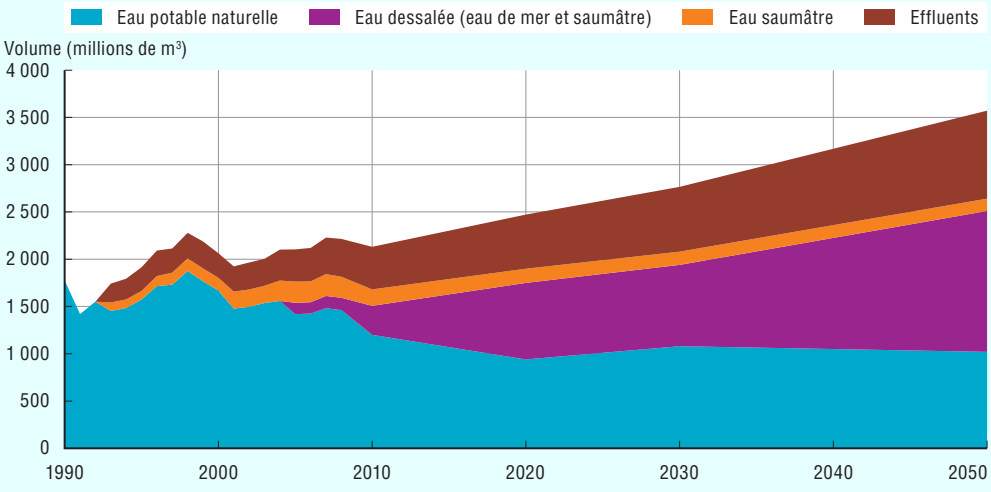
Encadré 5.8. **Réaction des pouvoirs publics face au stress hydrique en Israël**

L'objectif national d'Israël est de fournir de manière durable de l'eau à tous les consommateurs, en respectant les critères établis en matière de qualité, de volume, d'efficience et de faisabilité économique. À cette fin, Israël s'est fixé des objectifs spécifiques en vue de réduire progressivement sa dépendance à l'eau potable naturelle d'ici à 2050. Les principales initiatives prises par les pouvoirs publics visent à faire baisser la demande : *i)* en imposant par voie législative le comptage de l'intégralité de l'eau distribuée ; *ii)* en surveillant la réutilisation de l'eau ainsi que l'utilisation d'eau saumâtre dans l'agriculture ; et *iii)* et en favorisant l'irrigation au goutte-à-goutte et la réutilisation d'eaux usées urbaines épurées dans l'agriculture. Les autorités cherchent également à accroître l'approvisionnement en eau potable en construisant de grandes usines de dessalement d'eau de mer.

Par ailleurs, le pays s'attache à faire usage d'instruments économiques. Les tarifs de l'eau ont été sensiblement relevés ou sont sur le point de l'être dans tous les secteurs, tandis que les effluents épurés et l'eau saumâtre sont proposés à un prix plus bas afin d'encourager leur utilisation pour l'irrigation. Chaque année, un quota d'eau potable est alloué à l'agriculture, et les agriculteurs qui décident d'échanger une partie de ce quota contre des sources de substitution bénéficient d'un prix garanti pour leurs approvisionnements en eaux.

Graphique 5.15. **Perspectives de la consommation d'eau en Israël à l'horizon 2050**

Par type d'eau



Note : Les données statistiques concernant Israël sont fournies par et sous la responsabilité des autorités israéliennes compétentes. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem-Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Source : Autorité de gestion de l'eau, citée dans OCDE (2011c), *Examens environnementaux de l'OCDE : Israël 2011*, Éditions OCDE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594731

qualité, seront amplifiées par l'accroissement démographique et la croissance de l'agriculture (OCDE, 2011c). Dans ces conditions, Israël a mis l'accent dans sa politique de l'eau sur la réduction de la consommation d'eau douce, ainsi que sur le déploiement d'instruments économiques pour gérer la demande et répartir l'eau (graphique 5.15).

Encadré 5.9. **La directive-cadre sur l'eau de l'UE, une approche par bassin hydrographique**

La DCE tient compte de toutes les pressions et de tous les impacts sur le milieu aquatique et intègre des prescriptions énoncées dans d'autres textes législatifs européens relatifs à l'eau. Ses objectifs sont multiples. Les plus importants sont la protection de l'écologie aquatique en général, la protection des habitats uniques et de grande valeur en particulier, la protection des ressources en eau potable et la protection des eaux de baignade. Tous ces objectifs doivent être intégrés au niveau de chaque bassin hydrographique.

La DCE est ambitieuse, mais reste flexible en pratique, car elle n'impose pas un ensemble de mesures universel. Sa mise en œuvre dans les États membres est effectuée en fonction de la législation nationale, et ceux-ci sont libres de fixer leur propre objectif concernant la part des masses d'eau à restaurer d'ici à 2015.

Parmi ses principes clés, la DCE affirme que la gestion de l'eau doit être assurée idéalement au niveau du bassin hydrographique – qui est l'unité géographique et hydrographique naturelle – plutôt que sur la base des limites administratives ou des frontières politiques. Les États membres sont donc tenus d'élaborer des plans de gestion des bassins hydrographiques. Les instruments économiques, dont la tarification de l'eau, jouent un rôle de premier plan dans la DCE. Le but est de parvenir à la récupération des coûts financiers et environnementaux des services de l'eau (principe de la récupération des coûts).

La DCE est complétée par une série d'autres directives sur l'eau (par exemple, la directive 2007/60/CE relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation, entrée en vigueur le 26 novembre 2007), ce qui appelle une coordination. Dans le cas de la directive sur les inondations, il s'agit de coordonner les plans de gestion des risques d'inondation et les plans de gestion des bassins hydrographiques, ainsi que les procédures de participation du public.

La première phase d'une évaluation menée récemment a révélé que, même si les bonnes mesures sont en place, celles-ci sont parfois difficiles à faire appliquer et vulnérables aux pressions politiques nationales (Deloitte et IEEP, 2011). En outre, il est apparu que de nombreux plans ne prévoyaient pas d'adopter des mesures avant les dernières phases de la transposition de la législation européenne. La mise en place par les États membres d'instruments économiques comme la tarification ne progresse que tout doucement, et le principe de la récupération des coûts demeure controversé (voir Deloitte, IEEP, 2011).

Dans l'Union européenne, la directive-cadre sur l'eau (DCE) adoptée en 2000 a institué une approche globale de la politique de l'eau. Son principal objectif est de restaurer les masses d'eau de l'Union (eaux de surface, eaux de transition, eaux côtières et eaux souterraines) afin de parvenir à leur bon état écologique et chimique d'ici à 2015. Tout en définissant un cadre d'action souple que les États membres de l'UE sont invités à transposer en fonction de leur législation nationale, elle énonce une série de principes et d'objectifs ambitieux et prône le recours aux instruments économiques.

Le cas de l'eau à usage agricole

Pour nourrir une population mondiale toujours plus nombreuse, il sera nécessaire d'accroître la production agricole de la planète d'environ 70 % entre 2005 et 2050 (FAO, 2006 ; Bruinsma, 2009). Comme le montre le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de*

l'OCDE, il faudra probablement y parvenir alors que le volume d'eau disponible aura diminué, essentiellement en raison des pressions exercées par l'urbanisation et l'industrialisation croissantes, et peut-être aussi par le changement climatique.

Il est donc urgent d'adopter des technologies d'irrigation efficientes, par exemple des installations goutte-à-goutte, et de mieux entretenir l'infrastructure d'irrigation. Les travaux de l'OCDE sur le transfert de technologies respectueuses de l'environnement ont permis de constater que les mécanismes de transfert ont un impact d'autant plus bénéfique qu'ils développent les capacités d'absorption des technologies dans les économies cibles (voir OCDE, 2011f) ; l'éducation et la formation revêtent donc une importance capitale.

Dans certaines parties de la zone OCDE, l'utilisation de l'eau est devenue plus efficiente et les fuites ont été réduites – globalement, la quantité moyenne d'eau appliquée par hectare irrigué a baissé de 9 % entre 1990 et 2003 (OCDE, 2010c). Les plus fortes baisses ont été observées en Australie, et à un degré moindre au Mexique, en Espagne et aux États-Unis. En revanche, dans d'autres pays, dont la Grèce, le Portugal et la Turquie, la consommation d'eau d'irrigation rapportée à la superficie irriguée augmente (OCDE, 2008b).

Des mesures doivent être prises pour rendre plus efficiente la gestion des ressources en eau dans l'agriculture tout en répondant à la demande mondiale croissante de produits alimentaires et aux effets du changement climatique (OCDE, 2010c). En l'occurrence :

- Il est impératif de renforcer les institutions et les droits sur l'eau.
- Les tarifs de l'eau à usage agricole doivent tenir compte du coût d'approvisionnement, de la rareté, de la valeur sociale de l'eau et des coûts et avantages environnementaux. Ces derniers sont généralement traités au moyen d'autres mesures, notamment des paiements agro-environnementaux, des taxes de pollution et des mécanismes d'allocation de l'eau (encadré 5.10). Dans certains pays, la politique de l'eau est guidée par le principe de récupération totale des coûts (c'est-à-dire la couverture de tous les coûts financiers et environnementaux des services de l'eau par le produit de la tarification). À cet égard, les échanges de droits sur l'eau permettent d'attribuer un prix à la rareté et de favoriser l'usage de la ressource qui a la plus forte valeur. Une telle démarche risque cependant d'aller à l'encontre du souci de sécurité alimentaire et requiert donc un débat éclairé et transparent pour une mise en œuvre efficace. La question des échanges doit être prise en compte, dans la mesure où la libéralisation des échanges de produits agricoles peut renforcer la sécurité alimentaire et protéger l'environnement.
- Il faut améliorer la résilience de l'agriculture face au changement climatique, en élaborant des stratégies pour adapter les systèmes de production agricole. Celles-ci sont susceptibles d'être plus efficaces si elles s'inscrivent dans des stratégies de long terme étroitement liées à l'action des pouvoirs publics en matière de réforme des politiques agricoles et de gestion des risques.

« L'eau virtuelle » : un concept qui présente des limites dans l'optique de l'action des pouvoirs publics

Les concepts d'« eau virtuelle » et d'« empreinte eau » ont suscité beaucoup d'intérêt en tant que moyen de sensibiliser à la rareté de l'eau, aux répercussions de la production et de la consommation de biens sur les ressources en eau, ainsi qu'aux problèmes de répartition de l'eau. Cependant, ces indicateurs ont une utilité limitée en tant qu'instruments d'action ou de gestion, car ils ne prennent en compte ni le coût d'opportunité de l'eau dans la

Encadré 5.10. **Réforme du soutien agricole et des politiques de l'eau : le cas de l'Union européenne**

Jusqu'en 2005, la politique agricole de l'UE (la politique agricole commune ou PAC) était fondée sur des paiements directs aux exploitants encourageant la production, qui allaient de pair avec des paiements agro-environnementaux facultatifs visant à protéger et améliorer l'environnement. On estime généralement que cette politique a favorisé une forte expansion de la production agricole, et qu'elle a permis aux exploitants d'accroître cette production par des moyens peu favorables à l'environnement, comme l'application inconsidérée d'engrais et de pesticides, ce qui a eu de graves conséquences pour l'environnement. À la suite du remaniement complet du système de paiements opéré en 2004, l'environnement est aujourd'hui au centre de la politique agricole. Ainsi, les paiements sont désormais liés entre autres à l'application d'un certain nombre de normes environnementales strictes, en vertu du principe d'éco-conditionnalité, de sorte que les exploitants qui ne les respectent pas voient leurs subventions baisser.

Auparavant, de nombreuses productions végétales qui nécessitent beaucoup d'eau ont été encouragées par la PAC au sein de l'Union européenne. Par exemple, les producteurs de maïs de l'UE ont eu droit jusqu'en 2003 à une subvention directe de 54 EUR/tonne, bien que le maïs soit considéré dans les pays tempérés comme une culture grosse consommatrice d'eau. La nouvelle politique de découplage des paiements a permis de lever cette incohérence et évite que les agriculteurs utilisent l'eau en fonction de différences de subventions entre les cultures. Garrido et Varela-Ortega (2008) rapportent une évolution progressive mais régulière de la répartition des terres entre cultures irriguées en Espagne depuis la réforme de la PAC. Les changements les plus importants sont la progression de la culture de la vigne, des oliviers et des agrumes dans les régions relativement arides (en particulier en Andalousie), et le développement des productions végétales nécessitant davantage d'eau, comme le maïs, et des cultures dont le régime d'aide a été modifié, comme la betterave à sucre, le coton et le tabac, dans les régions qui reçoivent plus de précipitations.

Lorsque les subventions agricoles de l'UE seront entièrement découplées de la production, en 2012, l'économie de l'irrigation sera davantage déterminée par la productivité des cultures et leurs besoins en eau que par le soutien agricole disponible.

Sources : D'après OCDE (2010c), *Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole*, Éditions OCDE ; Calatrava, J. et A. Garrido (2010), « Agricultural Water Pricing: EU and Mexico », *Rapport de consultants auprès de l'OCDE*, disponible à l'adresse : *www.oecd.org/eau*.

production, ni les autres intrants (dont le travail), ni la distinction entre gestion des ressources en eau et qualité de l'eau. Il conviendrait de les associer à d'autres indicateurs dans le cadre d'objectifs plus larges visant, par exemple, à réduire la pauvreté, à stimuler le développement économique ou encore à garantir un taux d'emploi élevé tout en préservant les ressources naturelles (encadré 5.11). En outre, un travail plus poussé de mise au point des modes de calcul de l'empreinte eau leur serait assurément profitable.

Une analyse récente confirme que « les transferts d'eau virtuelle sont très inégaux, mais ne représentent qu'un faible volume par rapport à la totalité des besoins en eau » (Seekel *et al.*, 2011). Ses auteurs concluent que « les transferts d'eau virtuelle ne suffisent pas à répartir de manière égale la consommation d'eau entre les pays, avant tout parce que la consommation intérieure d'eau à des fins agricoles, premier facteur d'inégalité, domine les besoins en eau des pays et ne peut être complètement compensée par les volumes actuels des transferts d'eau virtuelle ».

Encadré 5.11. **Analyse économique des concepts d'eau virtuelle et d'empreinte eau appliqués aux politiques de l'eau**

Eau virtuelle. Le concept d'« eau virtuelle » est apparu au milieu des années 1990 dans les études consacrées aux ressources hydriques. Il a été forgé par le professeur Tony Allan, de l'Université de Londres, pour désigner l'eau servant à produire les cultures commercialisées sur les marchés internationaux. Depuis qu'il a été conçu il y a une quinzaine d'années, ce concept s'est révélé très utile pour attirer l'attention des responsables de l'élaboration des politiques et des autorités chargées d'encourager une utilisation raisonnée des ressources en eau.

Toutefois, le concept d'eau virtuelle souffre d'un défaut fondamental qui l'empêche d'être un outil prescriptif valide : l'absence de cadre conceptuel sous-jacent. Certains chercheurs le rattachent, à tort, à la théorie économique de l'avantage comparatif. Le concept d'eau virtuelle est utilisé le plus souvent pour des analyses ou des comparaisons entre pays pauvres en eau et pays où cette ressource abonde. Étant axé uniquement sur la dotation en ressources naturelles, il exprime un avantage absolu, plutôt qu'un avantage comparatif. Les préconisations qui ressortent des réflexions sur l'eau virtuelle ne permettent donc pas de maximiser les avantages nets de la participation au commerce international. Alors que c'est l'avantage comparatif qui constitue le concept économique pertinent, le concept d'eau virtuelle ne rend compte que de l'avantage absolu.

Plusieurs auteurs ont commencé à décrire la contribution essentielle de facteurs autres que l'eau, comme la densité de population, les tendances historiques de la production, les objectifs nationaux de sécurité alimentaire, les objectifs de lutte contre la pauvreté et la disponibilité d'intrants supplémentaires, lorsqu'on décide s'il faut transférer de l'eau d'une région à une autre ou obtenir les résultats souhaités en transportant ou en échangeant des produits agricoles.

Empreinte eau. Le concept d'« empreinte eau » fait référence au volume d'eau nécessaire pour produire et consommer dans telle région ou tel pays, et sert à évaluer dans une perspective mondiale si une région ou un pays consomme ses ressources de façon durable ou non. Cependant, les empreintes eau estimées sont unidimensionnelles en ce qu'elles expriment l'utilisation d'une seule ressource. De plus, elles ne rendent pas compte des répercussions de la consommation d'eau : elles ne prennent en considération que les volumes d'eau servant aux activités de production et de consommation. En conséquence, l'analyse de l'empreinte écologique en eau ne suffit pas à déterminer les lignes d'action optimales, étant donné qu'elle ne tient pas compte du coût d'opportunité (de rareté) des ressources en eau, ni de la façon dont l'eau est associée à d'autres intrants dans le cadre de la production et de la consommation. L'empreinte eau permet de comparer la consommation d'eau estimée, par habitant ou globalement entre les pays, mais pas d'évaluer correctement les coûts, bienfaits ou impacts environnementaux additionnels de l'utilisation de l'eau.

Agriculteurs, négociants et responsables publics doivent prendre en compte de nombreux aspects économiques et sociaux pour formuler des stratégies optimales. Les concepts d'eau virtuelle et d'empreinte eau s'avèreront utiles dans bien des contextes à la réflexion sur l'action à mener s'ils sont associés à d'autres indicateurs environnementaux, économiques et sociaux. En revanche, ils ne permettront pas seuls de faire aboutir cette réflexion à des résultats optimaux ni de déterminer les lignes d'action qui soient économiquement efficientes et écologiquement efficaces.

Source : D'après OCDE (2010c), *Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole*, Éditions OCDE.

Et si… ? Modélisation de trois scénarios d'avenir pour l'eau

Dans ce chapitre, la situation de l'eau à l'horizon 2050 a été jusqu'ici décrite en se référant au *scénario de référence*, c'est-à-dire en tablant sur des politiques inchangées. Mais la question se pose de savoir si cette situation pourrait être améliorée par des politiques plus ambitieuses. Cette section présente les résultats de travaux réalisés pour ces *Perspectives de l'environnement*, qui ont consisté à modéliser les conséquences de trois scénarios hypothétiques :

- Un scénario d'*efficacité des ressources*.
- Un scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*.
- Un scénario d'*accès accéléré* à l'eau et à l'assainissement.

*Scénario d'*efficacité des ressources

Le scénario d'*efficacité des ressources* modélise l'évolution du stress hydrique dans l'hypothèse d'une baisse de la demande d'eau et d'une amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau sous l'effet de politiques plus ambitieuses. Cette simulation repose sur le scénario 450 *base* présenté au chapitre 3 sur le changement climatique, qui postule une baisse de la demande d'eau pour les centrales thermiques et une augmentation de la part du solaire et de l'éolien dans la production électrique totale. En outre, le scénario d'*efficacité des ressources* postule une amélioration supplémentaire de 15 % de l'efficacité de l'irrigation dans les pays non membres de l'OCDE, ainsi qu'une amélioration de l'efficacité de 30 % des usages domestiques et industriels à l'échelle mondiale. Pour plus de détails sur les hypothèses retenues dans cette simulation, voir l'annexe 5.A.

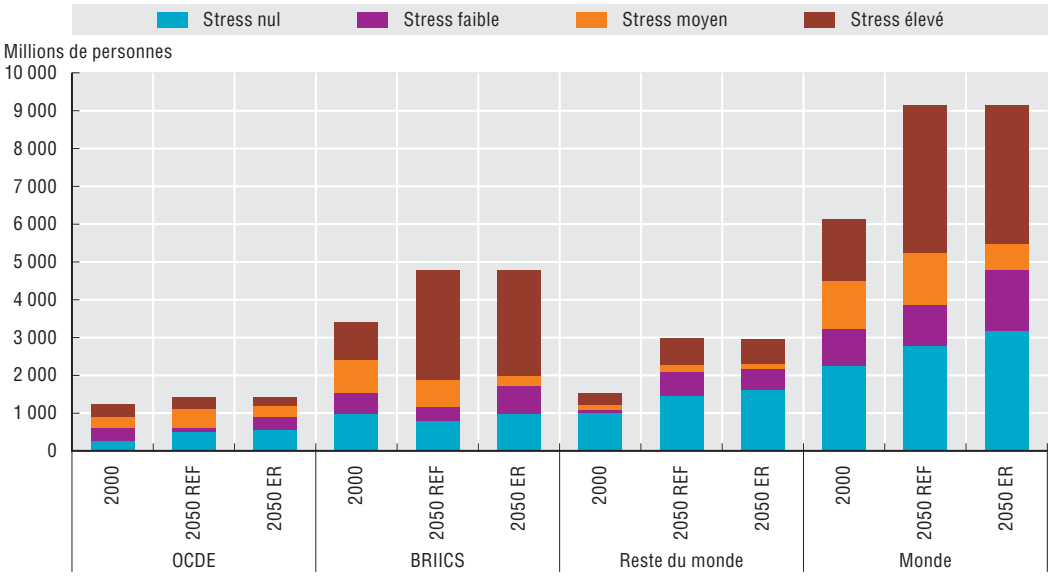
D'après le scénario d'*efficacité des ressources*, l'accroissement de la demande mondiale d'eau devrait ralentir. En 2050, cette demande serait d'environ 4 100 km^3, soit 15 % de plus qu'en 2000 mais 25 % de moins que dans le *scénario de référence*. Dans les pays de l'OCDE, la demande serait en 2050 inférieure de 35 % à celle de 2000 (alors que le *scénario de référence* la situe à un niveau inférieur de seulement 10 %).

Toujours dans le cadre de ce scénario d'*efficacité des ressources*, le stress hydrique serait moindre dans de nombreux bassins hydrographiques en Chine, aux États-Unis, en Europe du Sud et de l'Est ainsi qu'en Russie. Néanmoins, à l'échelle mondiale, le nombre de personnes vivant dans une zone en situation de stress hydrique élevé ne reculerait que légèrement par rapport à celui du *scénario de référence*, passant de 3.9 à 3.7 milliards (graphique 5.16), ce qui donne à penser que ce scénario aurait seulement pour effet de limiter la gravité du stress dans un certain nombre de régions. Si les projections tablent donc sur une augmentation du nombre de personnes épargnées par le stress hydrique, beaucoup d'habitants de la planète resteraient confrontés à un stress hydrique élevé, notamment en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, dans le sous-continent indien et en Asie centrale.

Il ressort de ces simulations que dans plusieurs régions, les seuls gains d'efficacité ne suffiront pas à remédier au stress hydrique. Il s'avère donc nécessaire de mettre en œuvre des approches plus ambitieuses et plus radicales pour faire davantage reculer la demande d'eau et atténuer la concurrence entre usagers. La répartition de l'eau entre les différents utilisateurs (écosystèmes compris) représentera ainsi un enjeu de taille.

Graphique 5.16. **Nombre de personnes vivant dans un bassin hydrographique en situation de stress hydrique en 2000 et en 2050**

Scénario de référence (REF) et scénario d'*efficacité des ressources* (ER)



Source : Projections des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594750

Scénario de recyclage et réduction des éléments nutritifs

Ce deuxième scénario, dit de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*, a été modélisé afin de simuler l'adoption de mesures plus énergiques pour abaisser davantage les rejets d'éléments nutritifs, démarche nécessaire pour faire reculer l'eutrophisation des lacs et des océans. Il évalue l'impact de mesures de réutilisation des éléments nutritifs en agriculture et de réduction des rejets urbains et agricoles d'azote (N) et de phosphore (P). Alors que les réserves de phosphate naturel s'amenuisent[9], la récupération du phosphore contenu dans les eaux usées peut contribuer à combler le déficit. Les hypothèses retenues sont décrites dans l'annexe 5.A.

Les nouvelles mesures de nature à susciter les améliorations considérées consisteraient notamment à faire progresser l'efficacité d'utilisation des engrais et l'efficacité des apports d'éléments nutritifs dans la production animale, et à utiliser du fumier organique à la place des engrais phosphorés et azotés de synthèse dans les pays dont l'agriculture recourt abondamment aux engrais. Le scénario table en outre sur des investissements dans des réseaux d'égouts assurant une collecte séparée de l'urine et des autres eaux usées domestiques (voir le tableau 5.A1 dans l'annexe 5.A) : le recyclage dans l'agriculture des eaux usées traitées réduirait sensiblement les flux d'éléments nutritifs dans les eaux usées *et* l'utilisation d'engrais.

Selon ce scénario, à l'horizon 2050, l'excédent mondial d'azote et de phosphore d'origine agricole pourrait être inférieur de près de 20 % à celui prévu dans le *scénario de référence*, et les rejets d'éléments nutritifs dans les eaux usées pourraient diminuer de près de 35 %. La charge totale en éléments nutritifs dans les cours d'eau serait réduite de près de 40 % pour l'azote et de 15 % pour le phosphore par rapport au *scénario de référence*. Ces réductions pourraient à long terme contribuer à prévenir l'appauvrissement de la biodiversité dans les cours d'eau, les lacs et les zones humides, voire permettre une

certaine régénération par endroits. Dans le cas des zones côtières, c'est autour de l'océan Pacifique que l'efficacité des mesures de réduction des flux d'éléments nutritifs serait maximale. S'agissant des océans Atlantique et Indien, les possibilités d'abaisser les rejets d'éléments nutritifs d'origine agricole sont restreintes étant donné la croissance rapide de la production attendue (graphique 5.17). Les rejets de phosphore dans l'océan Indien augmenteraient même dans le scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*, ce qui tient aux caractéristiques suivantes des régions du monde dont les rejets aboutissent dans cet océan :

- Une faible proportion de la population serait raccordée à un réseau d'égouts.
- La consommation d'engrais est peu élevée à l'heure actuelle et devrait augmenter pour permettre l'amélioration des rendements postulée dans ce scénario, de sorte que le ruissellement de l'azote et du phosphore progresserait.
- L'utilisation d'engrais étant faible, les possibilités de remplacer des engrais chimiques par du fumier organique seraient limitées.
- Le fumier qui serait valorisé en dehors de l'agriculture dans le *scénario de référence* (sous forme de combustibles ou de matériaux de construction, en particulier en Inde) serait utilisé en agriculture dans le scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*.

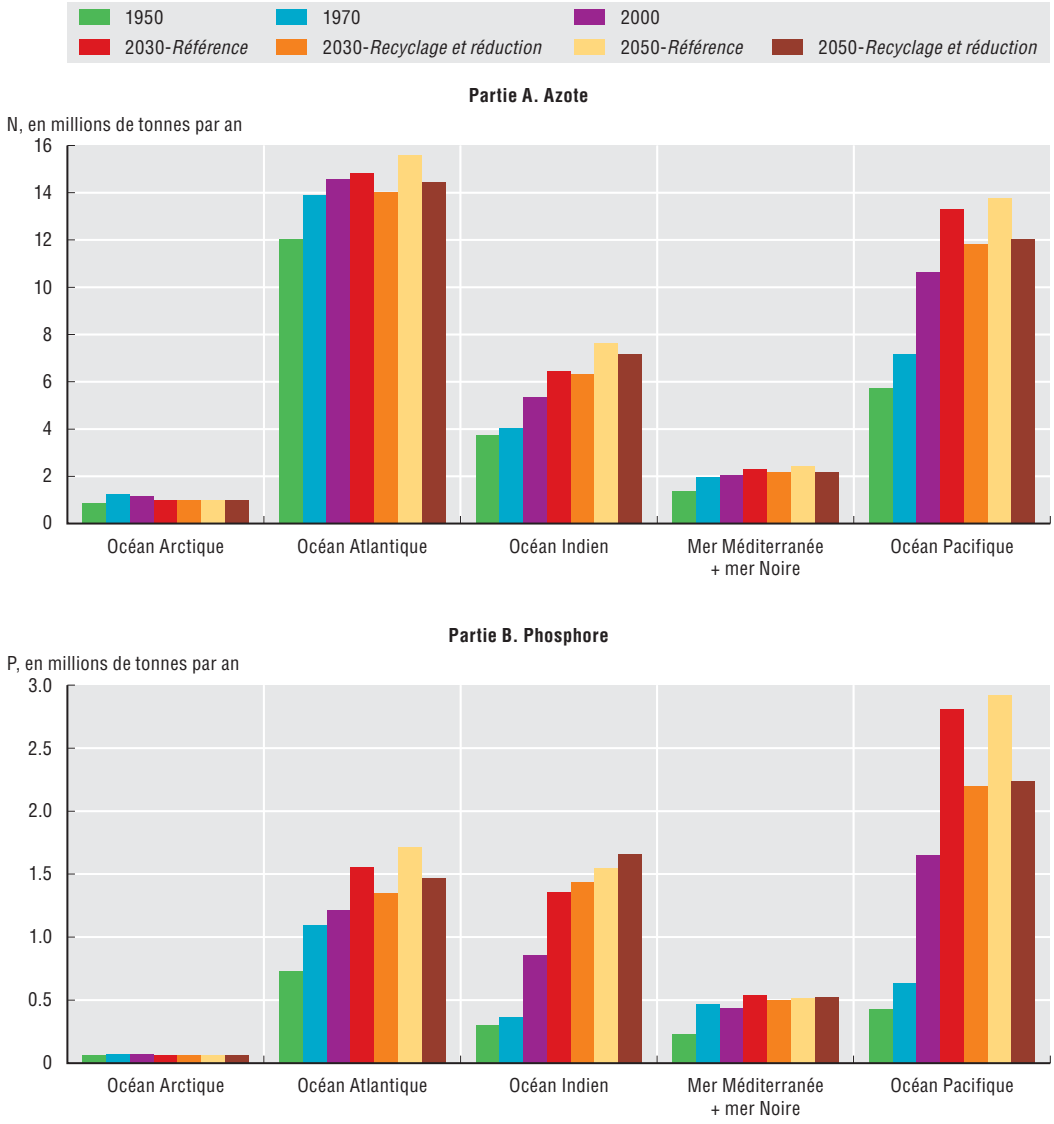
Cela étant, même si l'on parvenait à faire reculer les charges azotées et phosphatées, le risque de prolifération algale dans les zones côtières resterait élevé en raison du déséquilibre persistant entre l'azote, le phosphore et le silicium. En effet, les taux de phosphate et d'azote régressent à un rythme différent et la multiplication des barrages abaisse la charge en sédiments et en silicium dans les cours d'eau. Cela confirme qu'une approche intégrée s'impose, car à long terme, les progrès réalisés sur un seul élément nutritif risquent finalement de se révéler préjudiciables.

*Scénario d'*accès accéléré *à l'eau et à l'assainissement*

En juin 2010, l'Assemblée générale des Nations Unies a adopté une résolution reconnaissant que l'accès à une eau potable et à l'assainissement constitue un droit fondamental. Cette résolution appelle les États et les organisations internationales à fournir des ressources financières, à renforcer les capacités et à procéder à des transferts de technologie, en particulier en faveur des pays en développement, afin de permettre de multiplier les efforts destinés à fournir de l'eau potable, accessible et abordable et l'assainissement pour tous. En mai 2011, le rapporteur spécial sur le droit à l'eau et à l'assainissement a fait observer que ces droits devaient être décrits sous l'angle de la disponibilité, de la qualité, de l'acceptabilité, de l'accessibilité et du caractère abordable[10].

Cette approche tranche avec les définitions figurant dans les OMD. À l'origine, les OMD ont évoqué l'« approvisionnement en eau *potable* » et l'« assainissement *de base* », mais le suivi concerne en fait l'accès à des « sources d'approvisionnement en eau *améliorées* » et à un « assainissement *amélioré* ». Il peut en résulter une réévaluation fondamentale du nombre de personnes (et du type de personnes) sans « accès à l'eau *potable* et à l'assainissement ». Le programme commun OMS/UNICEF de surveillance de l'eau et de l'assainissement, qui est le mécanisme officiel mis en place par les Nations Unies pour suivre l'avancement des OMD relatifs à l'eau et à l'assainissement, envisage l'application de critères supplémentaires pour améliorer la prise en compte de certains de ces aspects.

Graphique 5.17. **Rejets par les cours d'eau d'éléments nutritifs dans la mer : *scénario de référence* et scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*, 1950-2050**



Source : Projections des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594769

Le scénario d'*accès accéléré* des *Perspectives de l'environnement* fait apparaître les coûts annuels et les avantages sanitaires supplémentaires liés à la réalisation d'objectifs plus ambitieux que les OMD. Ces objectifs seraient atteints en deux temps :

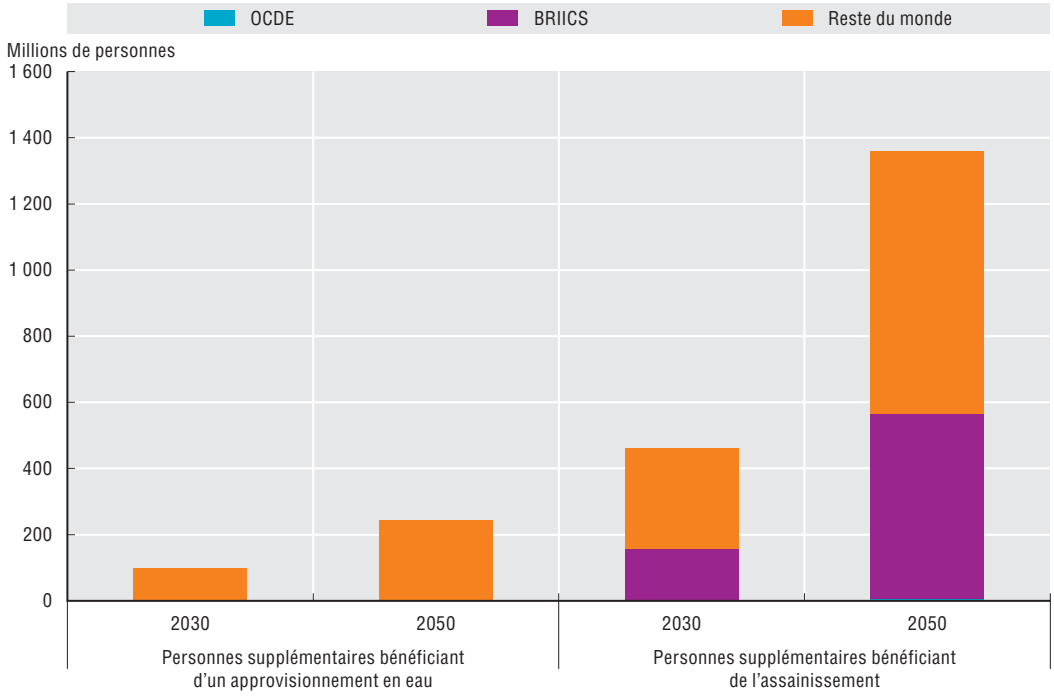
i) D'ici à 2030, le nombre de personnes n'ayant pas accès à une source d'eau *améliorée* et à l'assainissement de base est à nouveau réduit de moitié par rapport à l'année de référence 2005, en s'appuyant sur les progrès déjà réalisés dans le cadre de l'OMD actuel.

ii) L'accès universel à une source d'eau et à l'assainissement de base est obtenu en 2050.

Par rapport au *scénario de référence*, en 2030, près de 100 millions de personnes supplémentaires auraient accès à une source d'eau améliorée et quelque 470 millions de personnes supplémentaires auraient accès à l'assainissement de base dans ce scénario

(graphique 5.18). Il s'agirait presque exclusivement de personnes vivant en dehors des pays de l'OCDE et des BRIICS (c'est-à-dire dans le reste du monde – RdM). En 2050, 242 millions de personnes de plus auraient accès à une source d'eau améliorée, la plus grande partie de cette augmentation intervenant là encore dans le reste du monde. Quant au nombre de personnes supplémentaires qui bénéficieraient d'un assainissement de base, on l'estime à plus de 1.36 milliard (près de 800 millions dans le reste du monde et plus de 560 millions dans les BRIICS).

Graphique 5.18. **Nombre de personnes supplémentaires bénéficiant d'un approvisionnement en eau et de l'assainissement dans le scénario d'*accès accéléré* par rapport au *scénario de référence*, 2030 et 2050**



Source : Projections des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594788

Quels seraient les avantages de ce scénario ? Les retombées sanitaires sont examinées dans le chapitre 6. On estime que le nombre de décès évités chaque année serait de 76 000 d'ici à 2030 et de 81 000 entre 2031 et 2050, essentiellement dans les pays du reste du monde. Les avantages pour l'environnement et pour certains secteurs économiques comme la pêche et le tourisme seraient considérables. Les avantages globaux seraient plus importants encore, sachant que certains bienfaits (fierté et dignité, valeur d'aménité, etc.) sont plus difficiles à quantifier en termes monétaires.

Dans les pays les moins avancés, notamment, les avantages seraient considérables et l'emporteraient largement sur les coûts. L'Organisation mondiale de la Santé estime ainsi que le bénéfice procuré par les services d'eau et d'assainissement de base dans les pays en développement pourrait être jusqu'à sept fois supérieur à leur coût (cité dans OCDE, 2011b). D'après le *Rapport GLAAS des Nations Unies*, un meilleur accès à l'eau et à l'assainissement peut générer des avantages économiques de l'ordre de 3 à 34 USD par USD investi, ce qui accroît le PIB dans une proportion estimée entre 2 et 7 % (OMS, 2010).

L'estimation de ces avantages par pays doit tenir compte de la situation nationale, dont le stade de développement des infrastructures et le PIB par habitant. De plus, leur valeur varie fortement selon les endroits, en fonction de la prévalence des maladies liées à l'eau ou de l'état des masses d'eau réceptrices, par exemple. Certaines retombées positives finissent vraisemblablement par s'amenuiser, car les investissements destinés à améliorer la qualité des services liés à l'eau tendent à afficher des rendements décroissants. En revanche, les bénéfices sont davantage susceptibles de se concrétiser si les investissements sont programmés de manière appropriée et contribuent ainsi à abaisser les coûts et à garantir que les eaux usées collectées sont traitées correctement.

L'expérience des pays de l'OCDE montre qu'accroître l'accès à l'eau et à l'assainissement exige de lourds investissements pour moderniser les infrastructures mal adaptées et construire de nouveaux équipements. Pour atteindre l'objectif 2030 du scénario d'*accès accéléré*, il faudrait augmenter de 1.9 milliard USD par an en moyenne l'investissement mondial entre 2010 et 2030 par rapport au *scénario de référence* ; et pour atteindre l'objectif 2050, ce sont 7.6 milliards USD supplémentaires qui devraient être investis chaque année à partir de 2031. L'écart entre ces deux chiffres tient au fait que la dernière phase est plus coûteuse que les précédentes. En Afrique subsaharienne, ces coûts supplémentaires représenteraient 0.09 % du PIB en 2030 et 0.08 % en 2050.

En outre, des flux financiers substantiels et stables seront nécessaires pour faire fonctionner et entretenir ces infrastructures. Il y aura donc un besoin de stratégies bien conçues et réalistes exploitant les trois grands modes de financement que sont la tarification des services de l'eau, les taxes et les transferts en provenance de la communauté internationale (OCDE, 2010a). Le secteur privé (secteur de l'eau et institutions financières) peut jouer un rôle clé en innovant, en diffusant les innovations et en améliorant l'efficience. Il peut aussi mobiliser l'épargne privée et faciliter les investissements quand les conditions cadres s'y prêtent (OCDE, 2009 ; 2010e). L'intensification de la concurrence pour l'accès aux fonds publics peu abondants pourrait inciter à réexaminer les expériences antérieures de financement privé dans le secteur de l'eau, qui ont été décevantes dans les pays en développement (Annez, 2006). Les fonds publics alloués à l'accès universel devraient normalement augmenter lorsque la résolution de l'ONU reconnaissant le droit à l'eau sera mise en œuvre. En outre, tous les États membres de l'OCDE se sont engagés à porter leur aide publique au développement à 0.7 % de leur PIB, et une partie de cet accroissement pourrait contribuer à financer ces indispensables avancées.

4. Face aux nouveaux enjeux des politiques de l'eau, de nouvelles mesures s'imposent

Les sections précédentes ont montré que le défi de l'eau appelle d'urgence des politiques plus ambitieuses et de nouvelles approches. Dans cette dernière section, nous nous proposons de mettre en lumière certaines des plus importantes orientations nouvelles qui devraient régir les politiques de l'eau et leur réforme :

- Envisager l'eau comme un facteur essentiel de la croissance verte.
- Allouer des quantités d'eau suffisantes au maintien d'écosystèmes sains.
- Favoriser une plus grande cohérence entre les politiques relatives à l'eau, l'énergie, l'environnement et l'alimentation.
- Rechercher de nouvelles sources d'eau (la réutilisation, par exemple).

- Combler les lacunes en matière d'information.
- Concevoir des réformes réalistes et politiquement acceptables.

Envisager l'eau comme un facteur essentiel de la croissance verte

L'OCDE s'emploie à concilier la poursuite de la croissance économique et du développement avec le besoin de garantir que le patrimoine naturel continue de fournir les ressources et les services écosystémiques sur lesquels repose notre bien-être à tous. Cette ambition est à la base du concept de « croissance verte », qui considère l'utilisation durable de l'eau comme un facteur essentiel, puisque le manque d'eau de qualité suffisante peut constituer un important obstacle à la croissance (OCDE, 2011a). Nous avons vu plus haut qu'une gestion appropriée de l'eau peut être extrêmement bénéfique pour la santé, la production agricole et la production industrielle. Elle concourt en outre à la préservation des écosystèmes et des services qu'ils procurent au niveau des bassins hydrographiques, et peut ainsi permettre d'éviter des coûts substantiels liés à l'effondrement de ces services ou aux crues ou sécheresses.

De même, le PNUE (2011) confirme que les investissements dans les infrastructures de l'eau et dans la mise en place de services liés à l'eau peuvent être porteurs d'importants avantages pour l'économie et l'environnement. Il souligne la nécessité d'investir davantage de fonds publics et privés dans les technologies et infrastructures vertes afin de stimuler l'utilisation efficiente de l'eau (et de l'énergie). Il considère ce type d'investissement comme essentiel pour bâtir l'économie verte de demain.

L'utilisation efficiente de l'eau et la gestion de la demande en eau sont essentielles à la croissance verte, aux côtés de la réutilisation et du recyclage de l'eau. Le Projet des quatre fleuves lancé en Corée (encadré 5.12) illustre ce que peut être une politique de croissance verte intégrant l'investissement dans les infrastructures de l'eau.

Plusieurs lignes d'action peuvent permettre de mettre de façon plus systématique la gestion de l'eau au service de la croissance verte :

- Investir dans des systèmes écologiques de stockage et de distribution de l'eau dans les régions qui manquent d'eau, sachant que la fiabilité des ressources est essentielle pour les stratégies de croissance verte. Cependant, les technologies et ouvrages de stockage de l'eau tels que les grands barrages peuvent perturber l'équilibre des écosystèmes. À l'inverse, les infrastructures douces (telles que les zones humides, les plaines d'inondation ou l'alimentation des nappes), les barrages de petite taille, la collecte des eaux de pluie ou encore les ouvrages conçus de manière idoine sont plus respectueux de l'écologie et d'un meilleur rapport coût-efficacité.
- Fixer un prix durable pour l'eau et les services associés, ce qui constitue un moyen efficace de signaler la rareté de la ressource et de gérer la demande. Il faut pour cela identifier les bénéficiaires et déployer des mécanismes pour s'assurer qu'ils contribuent à couvrir les coûts liés aux avantages dont ils profitent.
- Être prêt à affecter l'eau aux secteurs et usages qui maximisent sa valeur ajoutée (services environnementaux compris, voir ci-après), ce qui peut s'avérer délicat sur le plan politique car il s'agit le cas échéant de procéder à des réallocations entre usagers (des agriculteurs vers les villes par exemple). Certains pays de l'OCDE commencent à avoir une certaine expérience de l'application d'approches socialement équitables et politiquement acceptables dans ce domaine. Les instruments employés comprennent des autorisations de prélèvement d'eau qui reflètent la rareté de la ressource, des mécanismes de marché

Encadré 5.12. **Projet de réaménagement des quatre fleuves en Corée**

Le Projet des quatre fleuves offre un bon exemple d'approche globale de la gestion des ressources en eau qui vise également à favoriser une croissance verte. À la suite de la crise économique, la Corée a décidé de consacrer 2 % de son PIB annuel (86 milliards USD au total) à des investissements verts sur la période 2009-13, en vue de remédier à ses problèmes économiques à court terme et de créer des emplois. Elle prévoit d'investir 20 % de ce budget vert (17.6 milliards USD) dans le secteur de l'eau, *via* le Projet de réaménagement des quatre fleuves (4RR).

Cinq ministères sont parties prenantes au projet : Environnement ; Alimentation, Agriculture, Forêt et Pêche ; Culture, Sport et Tourisme ; Administration publique et Sécurité ; Territoire, Transport et Affaires maritimes. Les buts visés sont les suivants : assurer la disponibilité de suffisamment d'eau pour faire face à la raréfaction de l'eau et aux graves sécheresses provoquées par le changement climatique à l'avenir (objectif : approvisionnement en eau de 1.3 milliard m^3) ; prendre des mesures préventives contre les inondations induites par la modification du climat, ainsi que pour faire face à une crue bicentennale, par le dragage des sédiments, le renforcement d'anciennes digues et la construction de petits barrages remplissant plusieurs fonctions (objectif : porter à 920 millions m^3 les capacités de retenue pour lutter contre les inondations) ; améliorer la qualité de l'eau en développant les capacités d'épuration des eaux usées et en créant des installations pour lutter contre les proliférations d'algues vertes (objectif : demande biologique en oxygène de 3 mg/l) ; rétablir l'écologie des cours d'eau, créer des zones humides et réajuster les terres agricoles pour remettre en état l'écosystème (223 projets de restauration prévus) ; aménager les rives des cours d'eau dans une optique de création d'espaces de loisirs ; et développer les régions autour des cours d'eau. Le projet devra être réalisé d'ici à 2012.

À terme, l'État prévoit qu'il génèrera 32.8 milliards USD de retombées positives sur l'économie et créera 340 000 emplois, et espère que l'expérience acquise et les technologies développées grâce à lui feront de la Corée un pays de référence en matière de gestion de l'eau.

Source : Korea Environmental Policy Bulletin (2009), « Four Major River Restoration Project of Republic of Korea », *Korea Environmental Policy Bulletin*, n° 3, vol. VII.

comme les droits sur l'eau négociables, ainsi que des instruments d'information tels que les compteurs intelligents. La question des modalités d'une meilleure allocation de l'eau reste largement débattue. Davantage d'efforts sont nécessaires pour évaluer correctement et mettre en œuvre à plus grande échelle certains de ces instruments, ainsi que pour garantir les valeurs environnementales tout en répondant aux besoins sociaux et économiques. L'expérience des pays membres et non membres de l'OCDE montre que deux importantes conditions préalables doivent être réunies : la constitution de groupes d'appui solides et l'harmonisation des mesures incitatives (voir ci-après la section sur l'économie politique des réformes dans le domaine de l'eau).

- Investir dans les infrastructures d'approvisionnement en eau et d'assainissement, en particulier dans les bidonvilles où l'eau insalubre et l'absence d'assainissement ont des conséquences graves sur la santé et entraînent la perte d'opportunités économiques.
- Catalyser l'investissement et l'innovation qui étaieront une croissance soutenue et créeront de nouvelles opportunités économiques.

Allouer des quantités d'eau suffisantes au maintien d'écosystèmes sains

Devant la nécessité de restaurer le débit écologique des cours d'eau et d'allouer davantage d'eau aux services fournis par les bassins hydrographiques, plusieurs pays ont d'ores et déjà pris des initiatives intéressantes (encadré 5.13). Néanmoins, il reste encore à mettre en place à plus grande échelle des réglementations bien conçues (sur les débits écologiques) et des dispositifs fondés sur les mécanismes du marché, comme les paiements pour les services fournis par les bassins hydrographiques. Des évaluations approfondies des avantages découlant de ces services contribueraient à cet objectif.

Il peut toutefois être délicat de modifier l'allocation des ressources en eau, en particulier au profit de l'environnement, mais aussi entre les autres utilisateurs. En effet, il faut pour cela procéder à de difficiles réformes allant à l'encontre des attentes de différents acteurs, qui considèrent leurs usages existants comme des « droits ». L'obtention d'un soutien en faveur de ces réformes constitue un défi majeur pour les autorités. L'expérience des pays membres et non membres de l'OCDE montre que deux grandes conditions préalables doivent être réunies pour y parvenir : la constitution de groupes d'appui solides et l'harmonisation des mesures incitatives (voir ci-après la section sur l'économie politique des réformes dans le domaine de l'eau).

Favoriser une plus grande cohérence entre les politiques relatives à l'eau, l'énergie, l'environnement et l'alimentation

Les politiques de l'eau recoupent un large éventail de secteurs à des échelles géographiques différentes qui vont du niveau local au niveau international, et c'est pourquoi une gouvernance cohérente de l'eau est primordiale. Comme l'a souligné une analyse des dispositifs de gouvernance de l'eau dans les pays de l'OCDE, en plus du manque de financements pour gérer la ressource en eau constaté dans la plupart des pays, l'éparpillement des fonctions et des responsabilités aux échelons central et infranational et le manque de capacités (infrastructures et connaissances) au sein des collectivités territoriales représentent à la fois des entraves et des moteurs pour les futures réformes des politiques de l'eau (OCDE, 2011g).

L'eau, l'énergie, l'environnement et l'agriculture sont liés par des relations étroites, complexes et qui posent des problèmes multiples. La cohérence entre les politiques de l'eau et les autres politiques sectorielles, notamment énergétiques et agricoles, est ainsi fondamentale pour une approche coordonnée de la gestion de la ressource (OCDE, à paraître). L'eau joue un rôle essentiel dans la production d'énergie (dans les biocarburants et l'hydroélectricité, par exemple, ainsi que dans le refroidissement des centrales thermiques ou nucléaires). Quant à l'énergie, elle est indispensable au transport de l'eau et à l'exploitation des sources d'eau de substitution (dessalement, par exemple). De plus en plus nombreux sont les endroits où la production de denrées alimentaires et celle d'énergie sont en concurrence pour l'accès à des ressources hydriques limitées. Si les tendances actuelles se poursuivent, l'affectation d'eau à l'environnement entrera en conflit avec la production de denrées alimentaires dans plusieurs régions (voir Rosegrant *et al.*, 2002).

Des tensions peuvent apparaître du fait des arbitrages réels ou supposés, par exemple entre la sécurité alimentaire (et la volonté d'assurer une production intérieure) et la productivité de l'eau (et l'allocation de la ressource aux activités à plus forte valeur ajoutée). Des inefficiences peuvent apparaître en présence de subventions dommageables (par exemple, subventionnement de l'énergie consommée par les agriculteurs pour puiser de l'eau dans les nappes souterraines).

Encadré 5.13. **Priorité accordée à la santé écologique des cours d'eau dans deux pays de l'OCDE**

Australie

Le Commonwealth d'Australie finance l'initiative *Water for the Future* (« de l'eau pour l'avenir »), qui prévoit 12.9 milliards AUD d'investissements sur 10 ans et vise à garantir à long terme l'approvisionnement en eau de tous les habitants du pays. Dans le cadre de ce programme, l'État acquiert des droits sur l'eau négociables afin de pouvoir restituer davantage d'eau à l'environnement. Outre les acquisitions de droits effectuées directement auprès des irrigants, l'eau provient des économies engendrées par la modernisation des infrastructures. Les droits acquis viennent s'ajouter aux droits sur l'eau à usage environnemental détenus par le Commonwealth et servent à accroître les apports d'eau aux fleuves, aux rivières et aux zones humides, en particulier dans le bassin Murray-Darling (voir aussi l'encadré 5.7). Entre juin 2009 et juillet 2011, les droits sur l'eau à usage environnemental détenus par le Commonwealth sont passés de 65 à 1 001 milliards de litres. Au 30 juin 2011, ce sont plus de 550 milliards de litres de cette eau qui avaient été restitués au cours d'eau, zones humides et plaines d'inondation du bassin Murray-Darling. Un plan stratégique est par ailleurs en cours d'élaboration en concertation avec toutes les parties prenantes du bassin Murray-Darling en vue d'assurer la gestion durable et intégrée à plus long terme de celui-ci. L'une de ses dispositions phares sera la définition de limites de consommation d'eau afin de permettre la restitution de quantités suffisantes à l'environnement.

Suisse

En décembre 2009, le Parlement suisse a décidé que tous les cours d'eau et lacs devaient être revitalisés pour rétablir leurs fonctions naturelles et accroître les avantages qu'ils procurent à la collectivité, et qu'il convenait d'atténuer les principaux effets négatifs exercés sur l'environnement par la production d'hydroélectricité (régime d'écluses, obstacle à la migration des poissons et perturbation du régime de charriage). Cette décision est considérée comme une nouvelle étape dans la restauration de la qualité des eaux en Suisse.

L'Ordonnance sur la protection des eaux a ainsi été complétée par des dispositions régissant les aspects suivants :

- Espace réservé aux eaux – l'Ordonnance fixe la largeur minimale de cet espace et détermine l'exploitation agricole extensive qui y est admise. Elle exige que des espaces soient alloués aux eaux et que cette allocation soit inscrite dans un plan de gestion au cours des cinq prochaines années.
- Revitalisations – l'Ordonnance décrit la procédure à suivre pour la planification conceptuelle des revitalisations. La priorité doit être accordée aux revitalisations dont l'effet escompté est le plus grand.
- Réduction des effets négatifs de la production hydroélectrique – l'Ordonnance précise quelles atteintes sont considérées comme graves et pour quelles installations des mesures d'assainissement doivent être envisagées. Elle décrit également la procédure de planification et de mise en œuvre des mesures. Des recommandations sur l'établissement des priorités concernant les petites centrales hydroélectriques sont en cours d'élaboration pour aider les autorités locales à mettre en place la rétribution à prix coûtant de l'électricité injectée dans le réseau (Confédération suisse, 2011).

Sources : Site Internet sur l'eau environnementale du Commonwealth d'Australie : *www.environment.gov.au/ewater/about/index.html* ; Confédération suisse (2011), *Renaturation des eaux : modifications d'ordonnances en consultation*, Office fédéral de l'environnement, Berne/Neuchâtel, *www.news.admin.ch/message/index.html?lang=fr&msg-id=33269*.

Ces tensions ne pourront être résolues qu'en adoptant une perspective planétaire. Une plus grande liberté des échanges de produits agricoles et la réforme des politiques de soutien à l'agriculture dans les pays de l'OCDE pourraient ainsi atténuer certaines de ces tensions entre la sécurité alimentaire et la productivité de l'eau (encadré 5.10). Les liens entre domaines d'action doivent également être pris en considération à un stade précoce. Il convient ainsi que les pays qui fixent des objectifs de production de biocarburants tiennent compte de leurs effets potentiels sur les prélèvements d'eau à l'avenir[11].

La coordination des politiques nécessite des discussions entre les différents groupes soutenues par les institutions, ce qui est plus difficile en cas de morcellement des responsabilités entre plusieurs ministères et lorsqu'il faut coordonner la prise de décision entre plusieurs échelons (pays, région, État, commune, bassin hydrographique, etc.). Les capacités des institutions doivent être développées grâce à un renforcement de l'information et de l'échange de données, de l'intégration sectorielle et de la planification conjointe.

Cependant, des approches plus cohérentes se dessinent dans un nombre croissant de pays membres de l'OCDE, en particulier dans le cadre de l'action face au changement climatique, qui voit de nombreux pays commencer à coordonner des politiques jusqu'alors séparées : énergie, eau, lutte contre les inondations et les sécheresses, mesures agro-environnementales, etc. (encadré 5.14). Par exemple, le boisement visant à réhabiliter les terres agricoles situées dans les plaines alluviales a contribué à atténuer les conséquences des crues, à améliorer la qualité de l'eau, à restaurer la biodiversité et à piéger les gaz à effet de serre (OCDE, 2010c). Néanmoins, malgré certaines avancées, il reste à l'évidence beaucoup à faire pour accroître la cohérence des politiques.

Encadré 5.14. **Production hydroélectrique, restauration des cours d'eau et investissement privé dans le *Land* allemand de Bavière**

Dans le contexte de la directive-cadre sur l'eau de l'Union européenne, le ministère bavarois de l'Environnement, de la Santé et de la Protection des consommateurs, celui des Affaires économiques, de l'Infrastructure, des Transports et de la Technologie, ainsi que les principales entreprises de distribution d'électricité opérant en Bavière se sont accordés en 2006 sur un plan directeur relatif à l'avenir de l'hydroélectricité en Bavière, qui vise à concilier un recours accru à l'hydroélectricité et la restauration de l'état écologique des principales masses d'eau du *Land*.

L'application des mesures recommandées dans ce plan devrait aboutir à une augmentation de la production hydroélectrique respectueuse du climat en Bavière et stimuler l'investissement privé. Le plan prévoit d'accroître de près de 14 % la production d'hydroélectricité en créant de nouveaux sites de production, en construisant de nouvelles centrales aux barrages et chutes d'eau existants et en modernisant les installations existantes.

Lorsqu'il sera mis en œuvre, il offrira une bonne illustration des synergies possibles entre développement économique et performances écologiques.

Source : D'après Haselbauer, M. et C. Göhl (2010), *Evaluation of Feasible Additional Hydro Potential in Bavaria/Germany*, RMD-Consult GmbH, Berlin, *www.rmd-consult.de/fileadmin/rmd-consult/news/2010_Hydro_paper_HA.pdf*.

Exploiter de nouvelles sources d'eau

Une réponse peu coûteuse au défi de l'eau de nature à atténuer les déficits hydriques peut consister à faire appel à des sources de substitution – eaux pluviales, eaux ayant déjà servi et eaux dessalées ou saumâtres – ou à encourager plusieurs usages successifs de l'eau. Elle peut avoir pour avantages annexes de permettre des économies d'énergie (selon les technologies appliquées et le contexte) et une réduction des coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien. Cependant, ces technologies ne sont pas exemptes de risques (voir l'encadré 6.6 dans le chapitre 6 sur l'environnement et la santé).

Les pays commencent à acquérir une certaine expérience dans ce domaine. C'est ainsi qu'Israël utilise des eaux usées traitées pour la recharge des nappes souterraines et l'irrigation. Si les rejets polluants ont baissé depuis 2000 (–20 % pour l'azote, –40 % pour les matières organiques et –70 % pour le phosphore), c'est en grande partie grâce à la construction de nouvelles stations d'épuration et à la réutilisation croissante des effluents dans l'agriculture. Pour leur part, Windhoek en Namibie et Singapour ouvrent la voie en matière de recyclage des eaux résiduaires pour alimenter les réseaux de distribution urbains. La collecte des eaux de pluie est quant à elle de plus en plus considérée comme un complément de l'approvisionnement en eau courante (elle est obligatoire à Calcutta, par exemple).

Une large gamme de technologies, d'équipements et de systèmes est disponible pour différents usages : réutilisation des eaux usées pour l'alimentation des nappes souterraines, l'irrigation, le jardinage, ou les usages domestiques ne nécessitant pas d'eau potable ; collecte des eaux de pluie pour accroître les rendements de l'agriculture pluviale ou, là encore, pour les usages domestiques ne nécessitant pas d'eau potable, etc. Les marchés des technologies liées à la réutilisation de l'eau sont en plein essor et contribuent à une croissance verte.

Les autorités nationales et locales auraient intérêt à envisager le recours à ces sources d'eau de substitution et la mise en place des infrastructures correspondantes. Des eaux usées sont aujourd'hui réutilisées aux fins d'irrigation dans différents contextes. Leur réutilisation pour répondre à certains besoins des ménages prend également de l'ampleur, parfois dans le cadre de petits systèmes décentralisés. Cette association est particulièrement indiquée dans les agglomérations nouvelles où il n'existe pas d'infrastructure centrale ; dans les centres-villes dont les infrastructures de l'eau se dégradent ou pâtissent de déséconomies d'échelle ou de contraintes de capacités ; dans le contexte de projets de rénovation urbaine ; dans les situations instables où la flexibilité, la résilience et l'adaptation sont précieuses (en raison des effets du changement climatique) ; et dans les projets qui voient les promoteurs immobiliers exploiter les bâtiments dans lesquels ils investissent (afin de récupérer leur mise de fonds).

Les technologies mises en œuvre sont souvent simples, et les sources de substitution (comme le dessalement d'eau de mer) deviendront plus compétitives encore à l'avenir grâce aux efforts de recherche-développement. Pour exploiter pleinement les avantages des systèmes d'approvisionnement en eau de substitution et atténuer les risques qui leur sont associés (pollution des terres agricoles ou risques pour la santé, par exemple), les mesures suivantes seront importantes :

- Faire participer les populations et les informer en s'appuyant sur une communication efficace et des données solides, sachant que l'idée de réutiliser l'eau est généralement accueillie avec scepticisme.

- Mettre en place des réglementations qui permettent d'étudier d'autres formes d'approvisionnement en eau. Il conviendra en particulier d'adapter les normes de qualité de l'eau à certains usages et à la réutilisation de l'eau. En règle générale, les eaux usées urbaines ne peuvent être réutilisées que si elles ne sont pas fortement polluées. Les réglementations devront tenir compte de plusieurs dimensions, dont les coûts et les avantages sur l'ensemble du cycle de vie, ainsi que les risques et les incertitudes liés aux diverses sources d'eau et aux différentes technologies.
- S'assurer que les autorités de régulation du secteur de l'eau surveillent la qualité de toute une série de sources d'eau.
- Veiller à ce que le prix de l'eau reflète sa rareté afin de stimuler le marché des sources de substitution.
- Planifier avec beaucoup de soin le développement de différentes sources d'eau et infrastructures (systèmes centralisés et décentralisés, par exemple), car l'exploitation des sources de substitution peut remettre en cause le modèle économique des exploitants en place (qu'ils soient publics ou privés).

Combler les lacunes en matière d'information

Les réformes et les nouvelles politiques sont d'autant plus efficaces qu'elles sont : *i)* fondées sur des données et des informations fiables (concernant la disponibilité et l'utilisation de l'eau, les coûts et avantages des services liés à l'eau) ; *ii)* soutenues par des mesures réalistes et applicables ainsi que par des plans d'investissement ; et *iii)* conçues par une communauté de parties prenantes connaissant bien leurs propres besoins et priorités.

Le développement des systèmes d'information sur l'eau (SIE) est primordial si l'on veut favoriser la mise en œuvre plus efficiente et plus efficace d'une gestion et de politiques durables concernant la ressource (OCDE, 2010d). En particulier, il apparaît que dans nombre de pays, l'information n'a pas suivi le rythme soutenu des réformes des politiques de l'eau, ce qui a entraîné un déséquilibre et a souvent empêché la mise en œuvre de ces réformes d'être étayée par des données suffisantes.

D'autres incertitudes entourent l'analyse des tendances et des projections établies à l'aide des modèles qui sont présentées dans ce chapitre, car on manque de données et de certitudes au sujet des progrès scientifiques futurs et des résultats qui seront produits à l'avenir par les politiques. Ces incertitudes concernent, par exemple, l'impact du changement climatique (évolution des régimes pluviométriques et des températures) sur les ressources hydriques au niveau désagrégé ; le développement et la diffusion de nouvelles technologies dans le secteur de l'eau (dessalement, maîtrise des fuites, etc.), dans l'agriculture (nouvelles variétés cultivées, amélioration des pratiques agricoles, efficience de l'irrigation, etc.) et dans le secteur de l'énergie (tours de refroidissement, biocarburants produits sans apports d'eau, utilisation efficace de l'eau dans les activités de production d'énergie) ; l'impact des mesures publiques sur le comportement économique (élasticité-prix de l'eau, par exemple) ; et la sensibilité des écosystèmes de l'eau aux politiques publiques et aux interventions de gestion (telles que celles évoquées lors de l'élaboration des plans de gestion des bassins hydrographiques en Europe ou de la conception des dispositifs de « paiements pour services environnementaux »).

Outre ces réelles causes d'incertitude, il apparaît que nombre de systèmes nationaux et internationaux d'information sur l'eau continuent de fonctionner sans tenir suffisamment compte de l'utilité que présentent les données et informations qui sont régulièrement

collectées pour l'action des pouvoirs publics. Les données portant sur les aspects économiques et institutionnels des réseaux d'eau sont nettement moins abondantes que les données physiques, et elles ne sont que partiellement prises en compte dans les révisions périodiques de la plupart des SIE nationaux et internationaux.

Pour remédier à ces problèmes, il faut :

- Évaluer les SIE locaux, régionaux, nationaux et internationaux, de manière à déterminer comment les données actuelles sur l'eau sont collectées (ou non) et utilisées (ou non) par les autorités, ainsi que les coûts et avantages de leur collecte, de leur analyse et de leur diffusion.
- Instaurer un système de comptabilité économique et environnementale de l'eau[12] assez souple pour répondre aux différents besoins des décideurs au niveau des bassins hydrographiques et aux niveaux national et international.
- Mieux comprendre les systèmes hydrologiques afin de mieux orienter les efforts de collecte des données destinées aux SIE, par exemple en améliorant la connaissance des relations entre eaux souterraines et de surface et en déterminant les débits écologiques dans le contexte du changement climatique.
- Encourager les innovations en matière de collecte des données sur l'eau, telles que la mise en œuvre de nouvelles technologies ou d'initiatives volontaires de collecte ; ou charger des organismes publics de réglementer, de financer ou de faire payer la collecte, le traitement et l'analyse des données.
- Renforcer l'information économique et financière, et améliorer notamment la compréhension et la mesure de la valeur de l'eau.

Concevoir des réformes réalistes et politiquement acceptables

En tirant les leçons des réformes déployées avec succès dans certains de ses pays membres et en accompagnant celles menées dans les pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie centrale (EOCAC), l'OCDE a acquis une vaste expérience des réformes des politiques de l'eau. Il s'en dégage plusieurs enseignements essentiels.

Un premier constat d'ordre général est que la réforme est un processus qui prend du temps, qui est continu et dont la planification est essentielle. En outre, un certain nombre d'enseignements plus spécifiques peuvent être tirés.

Créer un large soutien

- Comme nous l'avons vu précédemment, les politiques de l'eau ne peuvent pas seules apporter des solutions aux problèmes dans le domaine de l'eau. Les autorités chargées de l'eau doivent collaborer avec d'autres secteurs et acteurs, tels que l'agriculture et le secteur de l'énergie, tout en tenant compte des questions environnementales ; elles doivent en outre œuvrer aux différents échelons de l'administration (niveau local, bassins hydrographiques, communes, collectivités territoriales et État).
- S'agissant des bassins hydrographiques transfrontaliers, la coopération internationale peut se révéler utile, non seulement pour échanger des informations et des pratiques exemplaires, mais également pour partager les coûts et les avantages. C'est ainsi que le Canada et les États-Unis coopèrent depuis de longues années dans le cadre de deux instruments bilatéraux : le traité relatif aux eaux limitrophes et l'accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Par ailleurs, la Convention sur la protection et

l'utilisation des cours d'eau transfrontaliers et des lacs internationaux, qui relève de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, constitue un important cadre de coopération internationale.

Opter pour une panoplie de mesures et renforcer les capacités

- Comme indiqué plus haut, il existe tout un éventail de mesures envisageables pour répondre au défi de l'eau (tableau 5.1). Une approche optimale consiste à combiner plusieurs de ces mesures (Israël, par exemple, associe technologies améliorées, tarification et comptage de l'eau dans le cadre de sa politique de l'eau ; voir l'encadré 5.8).
- Les institutions et les capacités doivent être adaptées afin de s'assurer que l'on dispose des compétences voulues pour opérer des choix complexes, tant techniques que non techniques, ainsi que pour évaluer de manière approfondie les solutions envisageables (y compris leur impact économique, social et environnemental).

Tenir compte d'emblée de la viabilité financière

- La dimension financière doit être intégrée très tôt dans le processus (pour éviter de concevoir des politiques trop onéreuses), les possibilités de réduction des coûts doivent être systématiquement prises en compte et le réalisme financier doit imprégner les plans de gestion des ressources en eau.
- Il n'existe finalement que trois sources de financement des investissements et des services liés à l'eau : les « 3 T », à savoir les tarifs, les taxes et les transferts de la communauté internationale (fonds de l'UE, aide publique au développement, etc.). Toutes les autres sources de financement, qui ont un rôle à jouer, doivent être remboursées.
- La planification financière stratégique peut contribuer à définir et à hiérarchiser les politiques de l'eau dans les limites des ressources financières disponibles[13].
- Les incitations financières qui concernent d'autres secteurs (telles que les subventions à l'énergie et à l'agriculture) doivent être cohérentes avec les objectifs de la politique de l'eau.

Gérer le processus politique et améliorer les connaissances

- Les données concrètes sur la dimension économique des politiques de l'eau peuvent faciliter les réformes, lever les tabous et faire avancer le débat. En l'occurrence, il faut des informations sur la demande d'eau et sur la disponibilité de la ressource, ainsi que sur la dimension économique et les effets de répartition de la réforme des politiques de l'eau.
- La confrontation des expériences nationales en matière de réforme des politiques de l'eau peut appuyer ce processus.

Notes

1. Ces projections, de portée mondiale, sont surtout axées sur les actions nécessaires dans les pays de la zone OCDE et les BRIICS (Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine et Afrique du Sud).
2. Voir Alcamo *et al.*, 2007, pour une évaluation et une analyse détaillées des travaux publiés sur les processus en jeu dans la salubrité de l'eau.
3. Pour d'autres précisions, voir Visser *et al.*, (à paraître). La base de données se rapporte aux catastrophes « liées à la météorologie », et non aux catastrophes « liées à l'eau ». Les deux notions se recoupent largement mais ne sauraient être confondues. La principale différence tient à la catégorie « tempêtes », qui renvoie à la fois aux inondations provoquées par ces phénomènes,

comme dans le cas de l'ouragan Katrina, et à l'impact direct du vent. La catégorie des « inondations » englobe les inondations côtières, les débordements des cours d'eau et les crues éclairs, ainsi que les glissements de terrain et les avalanches.

4. D'une part, les données laissent à désirer et, d'autre part, la qualité ne s'est peut-être pas systématiquement améliorée malgré ces changements. À terme, un meilleur suivi des indicateurs de polluants physico-chimiques et biologiques peut contribuer à y remédier.
5. Le soja est cultivé selon un système de rotation des cultures, par exemple en alternance avec du maïs qui utilise l'azote accumulé dans le sol ; dans ces conditions, le soja ne laisse pas s'infiltrer l'azote nitrifié dans les eaux souterraines.
6. L'Évaluation annuelle mondiale de l'ONU-Eau sur l'assainissement et l'eau potable (GLAAS) est une initiative mise en œuvre par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). Son objectif est de fournir aux décideurs à tous les niveaux des analyses mondiales intégrées, fiables et faciles d'accès portant sur les données disponibles, afin d'aider à prendre des décisions éclairées en matière d'eau potable et d'assainissement.
7. Voir l'annexe 5.A pour certaines des hypothèses qui sous-tendent cette analyse.
8. Cette section puise dans FAO (2007).
9. Les prévisions concernant le temps restant avant l'épuisement des réserves mondiales de phosphate naturel sont entourées d'importantes incertitudes. Elles varient de 50 ans à plus de 100 ans, mais dépendent des estimations relatives aux ressources disponibles (van Vuuren *et al.*, 2010).
10. Voir, par exemple, le discours de Catarina de Albuquerque (*www.ohchr.org/EN/NewsEvents/Pages/DisplayNews.aspx?NewsID=11017&LangID=E*).
11. D'après les calculs de Van Lienden *et al.* (2010), la quantité d'eau consommée pour produire des biocarburants de première génération – production de cane à sucre, maïs et fèves de soja, par exemple – pourrait plus que décupler entre aujourd'hui et 2030, et la concurrence pour l'accès aux ressources en eau douce s'en trouvera accentuée dans de nombreux pays. Ces répercussions sur l'environnement et les ressources en eau seront grandement atténuées en cas d'avancée décisive permettant de produire des biocarburants de deuxième génération sans étendre la superficie cultivée (en utilisant des résidus agricoles ou forestiers, par exemple). Voir les sections consacrées aux bioénergies dans les chapitres 3 et 4.
12. À l'appui de la mise en œuvre d'une comptabilité économique et environnementale, le système de comptabilité économique et environnementale de l'eau (SEEAW), qui est une composante du SCEE, fournit aux statisticiens et aux analystes toute une série de concepts, définitions, classifications, tableaux et comptes convenus pour établir une comptabilité de l'eau et des rejets dans l'eau (voir *http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaw/*).
13. Voir OCDE (2011e) pour plus d'informations sur la contribution possible de la planification financière stratégique dans la pratique.

Références

2030 Water Resources Group (2009), *Charting Our Water Future. Economic frameworks to inform decision-making*, site Internet de McKinsey and Company, *www.mckinsey.com/App_Media/Reports/Water/Charting_Our_Water_Future_Exec%20Summary_001.pdf*.

AEE (Agence européenne pour l'environnement) (2001), *Eutrophication in Europe's Coastal Waters*, AEE Copenhague.

Alcamo, J., M. Flörke et M. Märker (2007), « Future Long-Term Changes in Global Water Resources Driven by Socio-Economic and Climatic Changes », *Hydrological Sciences Journal*, vol. 52, n° 2, pp. 247-275.

Alley, W.M. (2007), « Another Water Budget Myth: The Significance of Recoverable Ground Water in Storage », *Ground Water*, vol. 45, n° 3, p. 251.

Annez, P.C. (2006), « Urban Infrastructure Finance from Private Operators: What Have We Learned from Recent Experience? », *World Bank Policy Research Working Paper*, n° 4045, Banque mondiale, Washington, DC.

Australian Government (2011), *About Commonwealth Environmental Water*, Commonwealth Environmental Water, consultable à l'adresse : *www.environment.gov.au/ewater/about/index.html*.

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu et J.P. Palutikof (dir. pub.) (2008), « Le changement climatique et l'eau », *Document technique du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Secrétariat du GIEC, Genève.

Berg, M. van den, J. Bakkes, A.F. Bouwman, M. Jeuken, T. Kram, K. Neumann, D.P. van Vuuren et H. Wilting (2011), « EU Resource Efficiency Perspectives in a Global Context », *Policy Studies*, PBL publication, n° 555085001, *Rapport de l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL)*, La Haye/Bilthoven.

Boswinkel, J.A. (2000), *Information Note*, International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC), Institut néerlandais de géosciences appliquées, Pays-Bas.

Bouwer, L. (2011), « Have Disaster Losses Increased Due to Anthropogenic Climate Change? », *Bulletin of the American Meteorological Society*, janvier, pp. 39-46.

Bouwman, A.F., A.H.W. Beusen et G. Billen (2009), « Human Alteration of the Global Nitrogen and Phosphorus Soil Balances for the Period 1970-2050 », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 23, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2009GB003576*.

Bouwman, A.F. *et al.* (2011), « Exploring Global Changes in Nitrogen and Phosphorus Cycles in Agriculture, Induced by Livestock Production, Over the 1900-2050 Period », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States* (PNAS), doi : *http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1012878108*.

Bouwman, A.F., Kram, T. et K. Klein Goldewijk (dir. pub.) (2006), *Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4*, MNP publication, n° 500110002/2006, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven.

Bruinsma, J. (dir. pub.) (2003), *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030*, FAO et Earthscan, Londres.

Bruinsma, J. (2009), « The Resource Outlook to 2050: By How Much do Land, Water and Crop Yields Need to Increase by 2050? », *Document technique de la Réunion d'experts sur le thème « Comment nourrir le monde en 2050 »*, FAO, 24-26 juin 2009, Rome.

Calatrava, J. et A. Garrido (2010), « Agricultural Water Pricing: EU and Mexico », *in* OCDE, *Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264083592-12-fr*.

Confédération Suisse (2011), *Renaturation des eaux : modifications d'ordonnances en consultation*, Environnement Suisse, Berne/Neuchâtel, consultable à l'adresse : *www.news.admin.ch/message/index.html?lang=fr&msg-id=33269*.

Conley, D. (2002), « Terrestrial Ecosystems and the Global Biogeochemical Silica Cycle », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 16, pp. 68-1 à 68-8 (1121), doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2002GB001894*.

Conseil des droits de l'homme (2010), *Rapport de l'experte indépendante*, Catarina de Albuquerque, chargée d'examiner la question des obligations en rapport avec les droits de l'homme qui concernent l'accès à l'eau potable et à l'assainissement, n° A/HRC/15/31, 29 juin, pp. 17-18, para. 47.

Deloitte et IPEE (Institut pour une politique européenne de l'environnement) (2011), « European Commission General Directorate Environment: Support to Fitness Check Water Policy », *Rapport établi à la demande de la Commission européenne*, DG Environnement, IPEE, *www.ieep.eu/assets/826/Water_Policy_Fitness_Check.pdf*.

Dobermann, A. et K.G. Cassman (2004), « Environmental Dimensions of Fertilizer Nitrogen: What Can be Done to Increase Nitrogen Use Efficiency and Ensure Global Food Security », A.R. Mosier, J.K. Syers et J.R. Freney (dir. pub.), *Agriculture and the Nitrogen Cycle*, Island Press, Washington, DC.

Dobermann, A. et K.G. Cassman (2005), « Cereal Area and Nitrogen Use Efficiency are Drivers of Future Nitrogen Fertilizer Consumption », *Science in China, Series C, Life Sciences*, vol. 48, supplément, pp. 745–758.

Drecht, G. van, A.F. Bouwman, J. Harrison et J.M. Knoop (2009), « Global Nitrogen and Phosphate in Urban Waste Water for the Period 1970-2050 », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 23, n° GB0A03, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2009GB003458*.

Edwards, R., D. Mulligan et L. Marelli (2010), *Indirect Land Use Change from Increased Biofuels Demand. Comparison of Models and Results for Marginal Biofuels Production from Different Feedstocks*, Centre commun de recherche, Institut de l'énergie, Italie.

Ekins, P. et R. Salmons (2010), « Making Reform Happen in Environmental Policy », *Making Reform Happen: Lessons from OECD Countries*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264086296-6-en*.

Ensign, S.H. et M.W. Doyle (2006), « Nutrient Spiraling in Streams and River Networks », *Journal of Geophysical Research*, vol. 111, n° G04009.

Fader, M. *et al.* (2010), « Virtual Water Content of Temperate Cereals and Maize: Present and Potential Future Patterns », *Journal of Hydrology*, vol. 384, pp. 218-231.

FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) (1996), *Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development*, FAO, Rome.

FAO (2006), *World Agriculture: Towards 2030/2050 – Interim Report*, Unité des études prospectives globales, FAO, Rome.

FAO (2007), « Modern Water Rights: Theory and Practice », *FAO Legislative Study*, n° 92, novembre, FAO, Rome.

FAO (2010), *Disambiguation of Water Use Statistics*, FAO, Rome.

FEM (Forum économique mondial) (2011), *Water Security, the Water-Food-Energy-Climate Nexus*, WEF Water Initiative, Island Press, Washington, Covelo, Londres.

Fischer G., F.N. Tubiello, H. van Velthuizen et D.A. Wiberg (2007), « Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements: Effects of Mitigation, 1990-2080 », *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 74, pp. 1083-1107.

Fraiture, C. de *et al.* (2007), « Looking Ahead to 2050: Scenarios of Alternative Investment Approaches », D. Molden (dir. pub.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, IWMI (Institut international de gestion des ressources en eau), Earthscan Publications, Londres.

Freydank, K. et S. Siebert (2008), « Towards Mapping the Extent of Irrigation in the Last Century: Time Series of Irrigated Area Per Country », *Frankfurt Hydrology Paper*, n° 08, Institut de géographie physique, Université de Francfort.

Garrido, A. et C. Varela-Ortega (2008), *Economía del Agua en la Agricultura e Integración de Políticas Sectoriales*, Panel Científico técnico de seguimiento de la política de aguas, Université de Séville et ministère de l'Environnement, Séville, Espagne.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2011), « Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX) », *Rapport spécial des Groupes de travail I et II, GIEC, Genève (résumé à l'intention des décideurs)*, *http://ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-SPM_Approved-HiRes_opt.pdf*.

Hallegraeff, G.M. (1993), « A Review of Harmful Algal Blooms and their Apparent Global Increase », *Phycologia*, vol. 32, pp. 79-99.

Haselbauer, M. et C. Göhl (2010), *Evaluation of Feasible Additional Hydro Potential in Bavaria/Germany*, RMD-Consult GmbH, Berlin, *www.rmd-consult.de/fileadmin/rmd%1econsult/news/2010_Hydro_paper_HA.pdf*.

Human Rights Council (2010), *Report of the Independent Expert on the Issue of Human Rights Obligations Related to Access to Safe Drinking Water and Sanitation*, Catarina de Albukerque, Human Rights Council, UN, New York.

Hutton, G. et L. Haller (2004), *Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation Improvements at the Global Level*, Water, Sanitation and Health Protection of the Human Environment, OMS (Organisation mondiale de la Santé), Genève.

Jeppesen, E., B. Kronvang, M. Meerhoff, M. Søndergaard, K.M. Hansen, H.E. Andersen, T.L. Lauridsen, M. Beklioglu, A. Ozen et J.E. Olesen (2009), « Climate Change Effects on Runoff, Catchment Phosphorus Loading and Lake Ecological State, and Potential Adaptations », *Journal of Environmental Quality*, vol. 38, pp. 1930-1941.

Kim, I.J. et H. Kim (2009), « Four Major River Restoration Project of Republic of Korea », *Korea Environmental Policy Bulletin*, n° 3, vol. VII, ministère de l'Environnement de la Corée/Institut coréen de l'environnement.

Klijn, F., J. Kwadijk *et al.* (2010), *Overstromingsrisico's en droogterisico's in een veranderend klimaat: verkenning van wegen naar een klimaatveranderingsbestendig Nederland*, Deltares, Delft, Pays-Bas (en néerlandais).

Ladha, J.K. *et al.* (2005), « Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and Prospects », *Advances in Agronomy*, vol. 87, pp. 85-156.

Lehner, B. et P. Döll (2004), « Development and Validation of a Global Database of Lakes, Reservoirs and Wetlands », *Journal of Hydrology*, vol. 296, n° 1-4, pp. 1-22.

Lienden van, A.R., P.W. Gerbens-Leenes, A.Y. Hoekstra et T.H. van der Meer (2010), « Biofuel Scenarios in a Water Perspective: The Global Blue and Green Water Footprint of Road Transport in 2030 », *Value of Water Research Report Series*, n° 34, Institut UNESCO-IHE pour l'éducation relative à l'eau, Delft, Pays-Bas.

Mooij, W.M., S. Hülsmann, L.N. De Senerpont Domis, B.A. Nolet, P.L.E. Bodelier, P.C.M. Boers, L.M.D. Pires, H.J. Gons, B.W. Ibelings et R. Noordhuis (2005), « The Impact of Climate Change on Lakes in the Netherlands: A Review », *Aquatic Ecology*, vol. 39, pp. 381-400.

National Land and Water Resources Audit (2002), *Australian Catchment, River and Estuary Assessment 2002*, National Land and Water Resources Audit, Canberra, Australie.

National Water Commission (s.d.), *National Water Initiative*, National Water Council website, Government of Australia, *www.nwc.gov.au/www/html/117-national-water-initiative.asp*.

Nations Unies (2011), *Objectifs du Millénaire pour le développement : Rapport de 2011*, Nations Unies, New York.

Neumann, K. (2010), *Explaining Agricultural Intensity at the European and Global Scale*, thèse de doctorat, Université de Wageningen, Pays-Bas.

Neumayer, E. et F. Barthel (2011), « Normalizing Economic Loss from Natural Disasters: A Global Analysis », *Global Environmental Change*, vol. 21, pp. 13-24.

Nicholls, R.J. *et al.* (2008), « Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes: Exposure Estimates », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 1, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/011766488208*.

Nocker, L. de, S. Broekx, I. Liekens, B. Görlach, J. Jantzen et P. Campling (2007), *Costs and Benefits Associated with the Implementation of the Water Framework Directive, with a Special Focus on Agriculture: Final Report*, Étude pour la direction générale de l'environnement de la Commission européenne, 2007/IMS/N91B4/WFD, 2007/IMS/R/0261 (consultable à l'adresse *www.i-tme.nl/pdf/framework_directive_economic_ benefits_implementation_report_sept12.pdf*).

OCDE (2006), « Maintenir la salubrité de l'eau », *Synthèses de l'OCDE*, OCDE, Paris.

OCDE (2008a), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264040502-fr*.

OCDE (2008b), *La performance environnementale de l'agriculture dans les pays de l'OCDE depuis 1990*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264040946-fr*.

OCDE (2008c), *Données OCDE sur l'environnement : Compendium 2006-2008*, OCDE, Paris.

OCDE (2009), *Infrastructures en eau et secteur privé : Guide de l'OCDE pour l'action publique*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264060319-fr*.

OCDE (2010a), *Le prix de l'eau et des services d'eau potable et d'assainissement*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264083622-fr*.

OCDE (2010b), *Ressources en eau dans l'agriculture : perspectives et enjeux de l'action publique*, site Internet de l'OCDE : *www.oecd.org/document/20/0,3746,fr_21571361_43893445_44441711_1_1_1_1,00.html*.

OCDE (2010c), *Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264083592-fr*.

OCDE (2010d), *OECD Workshop: Improving the information base to better guide water resource management decision making*, atelier de l'OCDE, 4-7 mai, Saragosse, Espagne, *www.oecd.org/document/43/0,3746,en_2649_37425_43685739_1_1_1_37425,00.html*.

OCDE (2010e), *Des mécanismes de financement innovants pour le secteur de l'eau*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264083684-fr*.

OCDE (2011a), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264111332-fr*.

OCDE (2011b), *Benefits of Investing in Water and Sanitation: An OECD Perspective*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264100817-en*.

OCDE (2011c), *OECD Environmental Performance Reviews: Israel 2011*, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264117563-en* (à paraître en français en 2012 : *Examens environnementaux de l'OCDE : Israël 2011*), Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264168541-fr*).

OCDE (2011d), *Ten Years of Water Sector Reform in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264118430-en*.

OCDE (2011e), *Meeting the Challenge of Financing Water and Sanitation: Tools and Approaches*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264120525-en*.

OCDE (2011f), *Better Policies to Support Eco-innovation*, Études de l'OCDE sur l'innovation environnementale, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264096684-en*.

OCDE (2011g), *Water Governance in OECD Countries: A Multi-level Approach*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264119284-en*.

OCDE (à paraître), *Policy Coherence between Water Energy and Food*, OCDE, Paris.

OFEV/OFS (Office fédéral de l'environnement/Office fédéral de la statistique) (2011), *Environnement Suisse 2011*, OFEV/OFS, Berne/Neuchâtel.

OMS (Organisation mondiale de la Santé) (2010), *GLAAS 2010 – Évaluation annuelle mondiale de l'ONU-Eau sur l'assainissement et l'eau potable : Cibler les ressources pour de meilleurs résultats*, OMS, Genève.

OMS/UNICEF (Fonds des Nations Unies pour l'enfance) (2008), *Progress on Drinking Water and Sanitation: Special Focus on Sanitation*, programme commun OMS/UNICEF de surveillance de l'eau et de l'assainissement programme commun, Organisation mondiale de la Santé, Genève et UNICEF, New York.

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) (2008), *Vital Water Graphics – An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters*, 2e édition, PNUE, Nairobi, Kenya, *www.unep.org/dewa/vitalwater/index.html*.

PNUE (2011), *Decoupling, Water Efficiency and Water Productivity*, Groupe d'experts international pour la gestion durable des ressources, PNUE, Nairobi, Kenya.

Prins, A.G., E. Stehfest, K. Overmars et J. Ros (2010), *Are Models Suitable for Determining ILUC Factors?*, PBL publication, no 500143006, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven.

Rockström, J. *et al.* (2009), « Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity », *Ecology and Society*, vol. 14, no 2, article 32, *www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/*.

Rosegrant, M.W., X. Cai et S.A. Cline (2002), *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity*, International Food Policy Research Institute, Washington, DC.

Rost, S. *et al.* (2008), « Agricultural Green and Blue Water Consumption and its Influence on the Global Water System », *Water Resources Research*, vol. 44, no W09405, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2007WR006331*.

Rutherford, K. et T. Cox (2009), « Nutrient Trading to Improve and Preserve Water Quality », *Water and Atmosphere*, vol. 17, no 1.

Seekell, D.A., P. D'Odorico et M.L. Peace (2011), « Virtual Water Transfers Unlikely to Redress Inequality in Global Water Use », *Environmental Research Letters*, vol. 6, no 2.

Shah, T. *et al.* (2007), « Groundwater: A Global Assessment of Scale and Significance », D. Molden (dir. pub.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, IWMI (Institut international de gestion des ressources en eau), Earthscan Publications, Londres.

Shen, Y. *et al.* (2008), « Projection of Future World Water Resources Under SRES Scenarios: Water Withdrawal », *Hydrological Sciences*, vol. 53, no 1, février 2008.

Shiklomanov, I.A. et J.C. Rodda (2003), *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

Smith, S.V., D.P. Swaney, L. Talaue-McManus, D.D. Bartley, P.T. Sandhei, C.J. McLaughlin, V.C. Dupra, C.J. Crossland, R.W. Buddemeier, B.A. Maxwell et F. Wulff (2003), « Humans, Hydrology, and the Distribution of Inorganic Nutrient Loading to the Ocean », *BioScience*, vol. 53, pp. 235-245.

Statistique Canada (2010), « Étude : Offre et demande d'eau douce au Canada », *Statistics Canada* website, site Internet de *Statistique Canada*, 13 septembre, *www.statcan.gc.ca/daily-quotidien/100913/dq100913b-fra.htm*.

Veeren, R. van der (2010), « Different Cost-benefit Analyses in The Netherlands for the European Water Framework Directive », *Water Policy*, vol. 12, no 5, pp. 746-760.

Vicuña S., R.D. Garreaud et J. McPhee (2010), « Climate Change Impacts on the Hydrology of a Snowmelt Driven Basin in Semiarid Chile », *Climate Change*, doi : *http://dx.doi.org/10.1007/s10584-010-9888-4*.

Visser, H., A.A. Bouwman, P. Cleij, W. Ligtvoet et A.C. Petersen (à paraître), *Trends in Weather-related Disaster Burden: A global and Regional Study*, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven.

Vuuren, D.P. van, A.F. Bouwman et A.H.W. Beusen (2010), « Phosphorus Demand for the 1970-2100 Period: A Scenario Analysis of Resource Depletion », *Global Environmental Change*, vol. 20, n° 3, pp. 428-439, *www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378010000312#sec3.2*.

Wada, Y. *et al.* (2010), « A Worldwide View of Groundwater Depletion », *Geophysical Research Letters*, vol. 37, n° L20402, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2010GL044571*.

World Water Council (Conseil mondial de l'eau) (2000), *L'eau : l'affaire de tout le monde*, Londres.

Zektser, I.S. et L.G. Everett (dir. pub.) (2004), *Groundwater Resources of the World and Their Use*, UNESCO IHP-VI Series on Groundwater, n° 6, UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture), Paris, *http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001344/134433e.pdf*.

ANNEXE 5.A

Informations relatives à la modélisation sur l'eau

La présente annexe vise à préciser les informations retenues pour les aspects suivants de la modélisation :

- résumé des évolutions socio-économiques utilisées pour les projections correspondant au *scénario de référence* ;
- demande d'eau douce, destinée en particulier à l'irrigation ;
- scénario d'*efficacité des ressources* ;
- qualité de l'eau, notamment la question des effluents d'éléments nutritifs ;
- scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs* ;
- populations et richesses exposées aux catastrophes liées à l'eau ; et
- approvisionnement en eau et assainissement.

Des informations plus générales sur le contexte de modélisation dans lequel s'inscrivent les *Perspectives de l'environnement* sont données dans le chapitre 1, et d'autres précisions sur les modèles utilisés figurent dans l'annexe sur le cadre de modélisation à la fin du rapport.

Évolutions socio-économiques d'après le *scénario de référence*

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* donne lieu, pour un certain nombre d'évolutions socio-économiques, à des projections récapitulées ci-dessous (et examinées de plus près dans les chapitres 1 et 2), qui ont ensuite servi à établir les projections du *scénario de référence* relatives à l'eau évoquées dans le présent chapitre (exception faite des catastrophes liées à l'eau).

- Le PIB mondial devrait pratiquement quadrupler au cours des quatre prochaines décennies, dans le prolongement des 40 années écoulées et selon les projections détaillées concernant les principaux moteurs de la croissance économique. D'ici à 2050, les hypothèses indiquent que la part de la zone OCDE dans l'économie mondiale descendra à moins de 32 %, contre 54 % en 2010, alors que celle du Brésil, de la Russie, de l'Inde, de l'Indonésie et de l'Afrique du Sud (BRIICS) passera à plus de 40 %.
- D'ici à 2050, 2.2 milliards d'habitants devraient s'ajouter aux 7 milliards que compte actuellement la planète. Toutes les régions du monde devraient connaître un vieillissement de la population, mais elles se trouveront à des stades différents de cette transition démographique.

- À l'horizon 2050, on suppose que la population mondiale vivra pour près de 70 % dans des zones urbaines.
- En 2050, la demande mondiale d'énergie aura augmenté de 80 % si les politiques actuelles sont maintenues. Le bouquet énergétique mondial devrait être sensiblement le même qu'aujourd'hui, la part des énergies fossiles représentant toujours près de 85 % (de l'énergie commerciale), celle des énergies renouvelables, biocarburants compris (mais hors biomasse traditionnelle), un peu plus de 10 %, le reste étant d'origine nucléaire. Parmi les combustibles fossiles, on ne saurait dire si l'accroissement de l'offre énergétique sera plutôt imputable au charbon ou au gaz.
- Au niveau mondial, la superficie des terres agricoles devrait s'étendre durant la prochaine décennie, à un rythme toutefois plus lent. Elle devrait culminer avant 2030, la progression s'expliquant par l'augmentation des besoins alimentaires d'une population toujours plus nombreuse, pour diminuer par la suite, parallèlement au ralentissement de la croissance démographique et à l'amélioration continue des rendements. Les taux de déforestation s'orientent déjà en baisse, et cette tendance devrait se poursuivre, surtout après 2030, la demande d'expansion des terres agricoles se faisant moins pressante (section 3, chapitre 2).

Demande d'eau

La demande correspondant à l'irrigation est calculée à l'aide du modèle LPJmL (modèle LPJ pour la gestion des terres) sur la base des procédés mis en œuvre (encadré 5.A1). L'intitulé complet est « Lund-Potsdam-Jena managed Land Dynamic Global Vegetation and Water Balance Model » (Rost *et al.*, 2008). Les prélèvements destinés à des usages domestiques sont estimés au moyen d'une équation relativement simple, dans laquelle entrent le nombre d'habitants, leur niveau de revenu, les conditions climatiques, certains facteurs culturels et le raccordement ou le non-raccordement au réseau de distribution d'eau courante. La répartition géographique est modélisée d'après des projections démographiques à une échelle plus fine, compte tenu de la ventilation population urbaine/population rurale et du taux de raccordement au réseau d'eau courante selon le revenu. La demande d'eau industrielle destinée à diverses opérations et au refroidissement est basée sur la valeur ajoutée de la production, corrigée en fonction des améliorations apportées en termes d'efficience des procédés et des applications. Une part relativement petite, quoique vitale sur le lieu de consommation, va à l'élevage (voir ci-dessous). Enfin, on suppose qu'un volume important, et en augmentation, est utilisé dans la production d'électricité à des fins de refroidissement. Les centrales thermiques (à vapeur) arrivent en tête. Le modèle prend en compte l'évolution de l'efficience au fil des ans, le mode de refroidissement et la part des nouvelles technologies nécessitant moins d'eau de refroidissement, dont les installations à cycle combiné offrent un exemple.

Les demandes ne se traduisent pas systématiquement en termes de consommation. Une part variable s'échappe dans l'atmosphère ou se trouve incorporée dans des produits exportés ailleurs. Le reste retourne au bassin hydrographique, au bout d'un certain délai et après modification de la température et de la charge polluante. Pour mesurer le stress hydrique, on compare les demandes totales avec les apports renouvelables, en moyenne annuelle et sous forme agrégée par grand bassin (ou sous-bassin).

Encadré 5.A1. **Le modèle LPJmL : calcul de la demande d'eau appliqué à l'irrigation**

Le modèle LPJmL décrit la manière dont les flux hydrologiques sont influencés par les précipitations, l'évaporation à partir des sols et des étendues d'eau et la transpiration des plantes, que le processus soit naturel ou modifié par des interventions humaines. Un bilan hydrique peut être établi pour chaque maille de la grille (voir chapitre 1), étant donné les modes d'utilisation des terres, la végétation naturelle, la répartition et la gestion des cultures, sans oublier les paramètres climatiques (température, précipitations et concentration de CO_2) et pédologiques. Apparaissent alors pour les différentes mailles l'écoulement d'eau, autrement dit la quantité qui aboutit dans les cours d'eau, les lacs et les retenues des barrages, ainsi que les volumes disponibles pour des prélèvements en aval. La demande d'eau à des fins non agricoles est calculée au niveau des régions du monde et ramenée à l'échelle du maillage d'après la répartition spatiale de la population et le PIB en tant qu'indicateur de l'activité humaine. Compte tenu de la demande d'eau d'irrigation (voir ci-dessous), l'écoulement est ensuite corrigé en fonction du total des prélèvements dans la maille considérée. L'écoulement restant est transféré à la maille suivante en aval, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'ensemble du bassin hydrographique soit pris en compte.

On calcule les besoins en eau d'irrigation en comparant la quantité nécessaire à une croissance sans restriction avec la quantité apportée par les précipitations. L'écart est comblé par l'irrigation, grâce aux eaux de surface et souterraines disponibles dans la même maille ou dans les mailles voisines.

Selon le système d'irrigation en place et son mode de gestion, le ratio peut varier entre l'eau qui contribue effectivement à l'humidité des sols nécessaire à la croissance des végétaux et le volume prélevé dans le réseau hydrographique. Les canaux à ciel ouvert laissent s'évaporer une partie de l'eau, à laquelle s'ajoutent des déperditions dues aux parois, aux fissures, etc. Les canalisations fermées empêchent l'évaporation, mais sont sujettes à des fuites liées aux défauts des joints et des conduites. Les différences en termes d'efficience tiennent aussi à la méthode employée dans les champs : par exemple, les installations d'aspersion perdent de l'eau *via* l'évaporation, l'interception par les feuilles ou le phénomène de dérive ; dans le cas de l'irrigation superficielle, les déperditions ont pour causes l'évaporation, l'écoulement de surface, l'humidification inégale des sols, etc. L'irrigation au goutte-à-goutte à proximité des racines est la plus efficiente. Les estimations utilisant le modèle LPJmL se rapportent aux principaux systèmes en place, à l'échelle nationale et régionale, et à leurs performances habituelles (Fader *et al.*, 2010).

L'estimation de la demande d'eau passée, présente et à venir présente de nombreuses incertitudes. L'eau est souvent disponible gratuitement pour les utilisateurs, et peut être prélevée non seulement dans les eaux de surface (cours d'eau, lacs naturels, réservoirs), mais aussi dans les réservoirs souterrains au moyen de puits sans comptage ni suivi formels. Les données de surveillance publiées font défaut sur la superficie totale équipée pour l'irrigation, et sont encore moins nombreuses en ce qui concerne les surfaces effectivement irriguées, ainsi que les volumes d'eau apportés aux champs et prélevés dans les cours d'eau. Les chiffres varient grandement selon les sources d'information, même pour les pays de l'OCDE, qui font l'objet d'un suivi relativement meilleur que d'autres régions du monde.

Estimation de la demande d'eau en 2000

Selon le modèle LPJmL, la demande globale d'eau d'irrigation s'est établie à 2 400 m^3 pour l'année 2000, bien que le calcul soit entaché d'incertitude (voir la section ci-dessous). À l'échelle de la planète, la part de l'eau prélevée qui ne parvient pas jusqu'aux cultures, et qui ne contribue pas à l'humidité des sols nécessaire à la croissance des végétaux, est estimée à 50 %. Les autres estimations relatées dans les travaux publiés sont du même ordre : elles vont de 51 % (Fischer *et al.*, 2007) à 60 % (Fraiture *et al.*, 2007).

D'après une estimation réalisée pour la précédente édition des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* (OCDE, 2008a), corrigée en fonction du nombre d'habitants, les quantités totales d'eau utilisées en 2000 pour des usages domestiques et manufacturiers ont avoisiné respectivement 350 km^3 et 230 km^3. Les calculs de 2008 ont servi de point de départ pour le secteur manufacturier et la production d'électricité. Si l'utilisation de l'eau peut être très variable d'une branche d'activité à l'autre, une relation générale moyenne avec la valeur ajoutée industrielle totale a été postulée pour chaque région géographique, selon la structure régionale retenue pour l'activité et le niveau technologique. Cette relation a été adaptée au fil des ans en fonction des hypothèses concernant les évolutions structurelles et les progrès technologiques dans les différentes activités.

En 2000, la demande mondiale d'eau faisait la part belle, après l'agriculture irriguée, à la production d'électricité, pour le refroidissement des centrales thermiques (turbines à vapeur). Au total, les estimations indiquent que la production d'électricité a représenté approximativement 540 km^3 en 2000. La quantité d'eau utilisée par unité d'électricité produite peut varier sensiblement selon les centrales thermiques, suivant leur efficacité globale (de moins de 30 % à environ 60 %), le type de centrales (turbine à vapeur ou cycle combiné gaz/vapeur) et le système de refroidissement en place (à circuit ouvert ou fermé). On suppose que les centrales hydroélectriques restituent aux cours d'eau les volumes prélevés, déduction faite de déperditions assez peu importantes liées à l'évaporation à partir des réservoirs, si bien qu'elles ne contribuent pas à la demande d'eau.

En dernier lieu, l'élevage nécessite des quantités d'eau relativement faibles à l'échelle mondiale, estimées à quelque 25 km^3 pour 2000. Toutefois, dans certains endroits, il peut représenter une large part dans l'utilisation de la ressource. Les races animales, les modes d'alimentation du bétail et le climat sont autant de facteurs qui influent sur la demande d'eau de ce secteur.

Incertitudes entourant le calcul de la demande future d'eau d'irrigation

La demande future d'eau d'irrigation dépend des changements affectant les superficies irriguées et la quantité utilisée par unité de surface. Elle donne lieu à des projections très variables d'une publication à l'autre. Aux facteurs biophysiques et techniques s'ajoutent des facteurs socio-économiques et des formes de gouvernance (Neumann, 2010). Ainsi, l'instabilité politique et la fragilité économique risquent d'être peu propices à l'irrigation, alors que des traditions bien ancrées et le soutien des pouvoirs publics peuvent jouer en sa faveur. Ces facteurs sont difficiles à modéliser. Dans la documentation publiée, les projections concernant la demande à venir se situent entre le niveau actuel (entaché d'incertitude) et 10 à 20 % de plus d'ici au milieu du siècle (Alcamo *et al.*, 2007 ; Bruinsma, 2003 ; Bruinsma, 2009 ; Fischer *et al.*, 2007 ; Fraiture *et al.*, 2007 ; Shen *et al.*, 2008). Par exemple, Alcamo *et al.* (2007) citent plusieurs scénarios d'augmentation des superficies irriguées allant, selon le cas, de 0.4 % à 9.7 % pour la période 1995-2050. L'évolution des prélèvements d'eau d'irrigation va quant à elle de –15.3 % à +43.3 %.

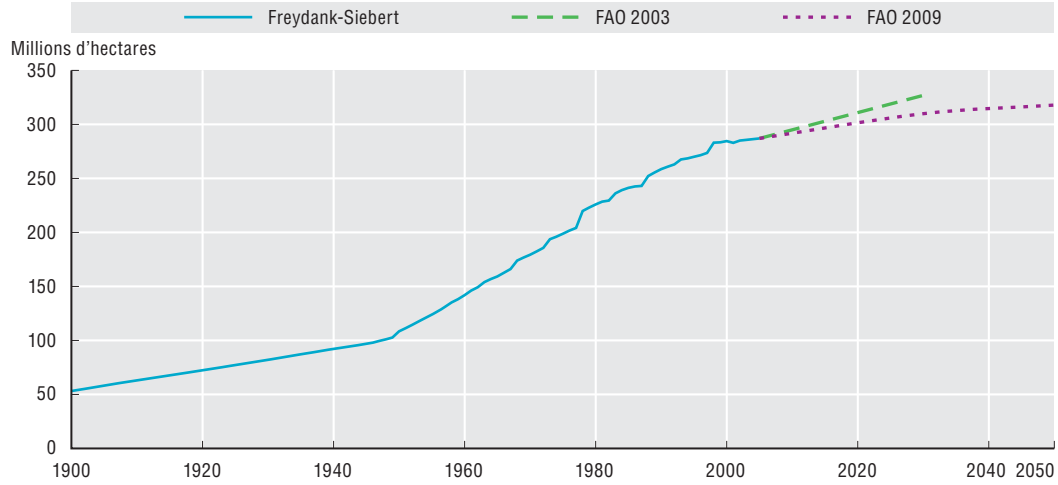
Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* table sur une superficie irriguée et une efficacité d'utilisation de l'eau inchangées en dehors de la zone OCDE jusqu'en 2050. La première de ces hypothèses conduit probablement à sous-estimer la demande d'eau d'irrigation en 2030 et 2050, alors que la seconde risque de surestimer la demande en dehors de l'OCDE.

Une considération pratique explique pourquoi le cadre de modélisation utilisé pour les *Perspectives de l'environnement* maintient les superficies irriguées à leur niveau actuel. Une variation de superficie supposerait que le modèle puisse ventiler la demande d'eau d'irrigation par culture et en fonction des sites ; or c'est pour l'instant impossible. À supposer que les projections du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* prennent en compte un léger essor de l'irrigation[1], l'augmentation correspondante de la demande d'eau ne modifierait pas fondamentalement le total des demandes. En effet, c'est la progression bien plus rapide de la demande correspondant aux usages domestiques et industriels et à la production d'électricité qui tend à jouer un rôle déterminant. D'autres projections concernant la demande totale d'eau donnent une représentation comparable (Shen, 2008).

D'après les données de Freydank (2008 ; également utilisées pour les projections de la FAO), les surfaces arables équipées pour l'irrigation se sont étendues, à des rythmes variables, entre 1900 et 2008 (graphique 5.A1). Toutefois, il arrive souvent qu'elles ne soient pas irriguées, pour diverses raisons telles que le manque d'eau, l'absence d'agriculteurs, la dégradation des terres, les dommages subis et les problèmes organisationnels. Les données sur une longue période concernant l'évolution des superficies effectivement irriguées font défaut pour étayer les projections futures.

Selon les projections réalisées par la FAO en 2003, la superficie équipée pour l'irrigation devait passer de 287 à 328 millions d'hectares à l'horizon 2030 (Bruinsma, 2003). Une projection plus récente de la FAO (Bruinsma, 2009) ramène à 310 millions d'hectares (+8 %) la superficie

Graphique 5.A1. **Total mondial des surfaces arables équipées pour l'irrigation, 1900-2050**



Sources : Bruinsma, J.E. (2003), *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030*, FAO et Earthscan, Londres ; Bruinsma, J.E. (2009), « The Resource Outlook to 2050: By How Much do Land, Water and Crop Yields Need to Increase by 2050? », *Document technique de la Réunion d'experts sur le thème « Comment nourrir le monde en 2050 »*, 24-26 juin, FAO, Rome ; Freydank, K. et S. Siebert (2008), « Towards Mapping the Extent of Irrigation in the Last Century: Time Series of Irrigated Area per Country », *Frankfurt Hydrology Paper*, n° 08, Institut de géographie physique, Université de Francfort, Francfort sur le Main, Allemagne.

attendue pour 2030, et ne prévoit quasiment aucune nouvelle augmentation jusqu'en 2050 (graphique 5.A1). L'expansion devrait intervenir entièrement dans les économies émergentes et dans les pays en développement.

Les méthodes employées pour prévoir la demande à venir vont d'une règle simple fondée sur une superficie par habitant inchangée, la superficie globale augmentant avec la population (Shen, 2008), à des approches plus complexes dans lesquelles interviennent à la fois la demande potentielle (ratio précipitations/évapotranspiration) et la disponibilité à l'échelle locale de ressources en eau utilisables pour l'irrigation (Fischer, 2007). D'autres tablent sur des stratégies d'investissement destinées à répondre aux demandes alimentaires futures, moyennant des améliorations de l'agriculture pluviale ou de l'agriculture irriguée axées soit sur l'extension des superficies, soit sur les progrès des rendements et de la productivité de l'eau (Fraiture *et al.*, 2007). Un scénario mixte répartit les investissements entre les diverses mesures, aboutissant à une augmentation relativement limitée des terres irriguées (+16 %) et des prélèvements d'eau (+13 %).

Toutes les stratégies envisagées par Fraiture *et al.* (2007), supposent des efforts considérables et des centaines de milliards de dollars d'investissement. Le développement de l'irrigation est relativement coûteux et moins rentable que les autres stratégies d'investissement étudiées visant à accroître la production agricole. La solution la plus abordable consiste à promouvoir les échanges de produits agricoles, de sorte que la production augmente dans les régions propices à une agriculture pluviale, de préférence à l'agriculture irriguée. L'évaluation réalisée par les auteurs montre en outre qu'elle ne changerait en rien la superficie irriguée et ne modifierait guère les prélèvements d'eau par rapport à aujourd'hui.

Indépendamment de la superficie, le volume actuel et prévu des prélèvements d'eau par hectare de terres irriguées revêt une grande importance pour le calcul de la demande totale d'eau d'irrigation. Entrent en jeu la consommation d'eau des cultures, l'écart entre les quantités nécessaires à la croissance des plantes cultivées et les précipitations, ainsi que le système d'irrigation et d'acheminement de l'eau.

Les projections des *Perspectives de l'environnement* misent sur des gains d'efficacité dans les pays de l'OCDE correspondant aux tendances observées dans le cadre des politiques en vigueur. Ailleurs, faute de savoir si, et jusqu'à quel point, des progrès comparables peuvent être attendus en l'absence de mesures spécifiques, l'efficacité d'utilisation est maintenue constante pour chaque région et estimée à partir d'une analyse des technologies et des pratiques de gestion actuelles (modèle LPJmL, Fader, 2010).

Les besoins des cultures peuvent être modifiés par le changement climatique : une température plus élevée induit une plus grande évapotranspiration, et les modifications des précipitations (saisonnières) peuvent orienter la demande d'irrigation à la baisse ou à la hausse. S'ajoute l'efficience d'utilisation de l'eau par les végétaux, qui s'améliore en principe à mesure que la concentration de CO_2 dans l'atmosphère s'élève. Le modèle LPJ fait l'hypothèse d'un effet relativement marqué, mais l'influence de ce mécanisme n'est pas définitivement établie par les experts.

Le transport de l'eau d'irrigation peut entraîner des déperditions sous diverses formes, telles que l'arrosage excessif, les fuites des canaux ou des réseaux de tuyaux, l'évaporation à partir des canaux à ciel ouvert et des sols, les pertes liées à l'aspersion, etc. Selon les estimations, le pourcentage ainsi perdu à l'échelle mondiale va en moyenne de 40 % à plus de 50 %.

Projections relatives aux autres secteurs

Dans le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement*, la demande d'eau à usage domestique est multipliée par 2.3 entre 2000 et 2050. Elle s'accroît plus vite que la population, parallèlement à l'élévation du revenu disponible par habitant et au raccordement d'une plus large part de la population aux réseaux de distribution d'eau courante. L'utilisation à des fins industrielles augmente d'un facteur cinq au cours de la même période, la valeur ajoutée étant multipliée par plus de sept. En dernier lieu, les projections indiquent une augmentation des quantités destinées à la production d'électricité de 2.5 fois d'ici à 2050.

*Hypothèses du scénario d'*efficacité des ressources *dans le cas de l'eau*

En faisant simplement varier certains paramètres (scénario hypothétique « Et si… ? »), on a étudié les possibilités d'atténuer le stress hydrique observé dans le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* en réduisant la demande (van den Berg *et al.*, 2011).

Les hypothèses sont les suivantes :

- Pour l'irrigation, tous les pays non membres de l'OCDE sont supposés parvenir à un gain d'efficacité supérieur de 15 % à celui du *scénario de référence*. En effet, Fischer *et al.* (2007) ont extrapolé une hypothèse de la FAO (Bruinsma, 2003), à savoir une amélioration de 10 % d'ici à 2030 atteignant 20 % en 2080. Étant entendu que le taux d'amélioration annuel diminue dans le temps, cela concorde avec notre hypothèse d'augmentation de l'efficacité de 15 % à l'horizon 2050. Pour les pays membres, des progrès allant au-delà du *scénario de référence* sont jugés moins probables, et les paramètres restent donc inchangés dans ce scénario hypothétique ; on suppose que l'irrigation concernant la zone OCDE a atteint un niveau maximal d'efficacité dans le *scénario de référence* car les risques de salinisation et les problèmes de pollution se conjuguent avec une évapotranspiration de l'eau d'irrigation dépassant 70 % (Fraiture *et al.*, 2007).
- Pour les usages domestiques et manufacturiers, on table sur des économies d'eau comparables aux économies d'énergie. En conséquence, par rapport au *scénario de référence*, la demande d'eau dans chaque région est réduite proportionnellement aux économies d'énergie dans le scénario d'*efficacité des ressources* (van den Berg *et al.*, 2011).
- Ce scénario retient les mêmes hypothèses que le scénario 450 *base* étudié dans le chapitre sur le changement climatique (pour d'autres précisions, voir chapitre 3, section 4). L'énergie solaire et l'énergie éolienne occupent des parts plus grandes que l'énergie thermique, mais jusqu'à 2050 le rééquilibrage supposé en faveur des centrales bio-énergétiques (thermiques) et nucléaires limite l'ampleur de la réduction globale dans ce secteur. La réduction de la demande d'énergie postulée dans le point précédent se traduit directement par une moindre demande d'eau destinée au refroidissement.
- Aucun ajustement n'a été apporté pour le secteur de l'élevage. Certes, la demande pourrait bien baisser grâce à l'amélioration de l'alimentation animale et des coefficients de conversion. Toutefois, aucun travail n'a été entrepris pour en chiffrer l'effet car la demande est déjà si faible dans le *scénario de référence* qu'une éventuelle modification serait négligeable par rapport à la marge d'incertitude entourant chacune des autres catégories de demande dont le poids est beaucoup plus lourd.
- Enfin, dans le scénario (mondial) d'*efficacité des ressources*, le changement climatique est loin d'être aussi marqué que dans le *scénario de référence*, d'où des températures moins élevées et des concentrations plus faibles de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Étant donné le bilan tiré du modèle LPJmL, une demande légèrement plus élevée d'eau d'irrigation pourrait s'ensuivre. Les différences jusqu'en 2050 paraissent cependant relativement faibles, et elles ne sont pas quantifiées ici.

C'est ainsi qu'en 2050, la demande totale d'eau pourrait être réduite de 25 % environ selon le scénario d'*efficacité des ressources* et ramenée à 4 140 km^3, contre5 465 km^3 dans le *scénario de référence*. La différence s'explique principalement par la réduction de la demande d'eau imputable à la production d'électricité (37 % de moins en 2050), puis par les demandes correspondant aux usages domestiques et manufacturiers (baisses respectives de près de 30 %).

Qualité de l'eau

Scénario de référence

Effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées

Les apports d'éléments nutritifs dans les eaux usées urbaines ont été calculés suivant l'approche décrite par Van Drecht *et al.* (2009). En ce qui concerne l'azote (N), les rejets anthropiques correspondent aux quantités évacuées dans les eaux usées par les ménages et les industries raccordés au même réseau d'égouts. L'équation générale retenue pour calculer les rejets anthropiques de N qui se retrouvent dans les eaux de surface est la suivante :

$$E_{sw}^{N} = E_{hum}^{N}\ D(1 - R^{N}) \tag{1}$$

où E_{sw}^{N} est le rejet de *N* dans les eaux de surface (en kg/personne/an), E_{hum}^{N} le rejet anthropique de *N* (en kg/personne/an), *D* la fraction de la population totale raccordée au réseau d'égouts (sans dimension) et R^{N} l'élimination globale de *N* par traitement des eaux usées (sans dimension). En ce qui concerne le phosphore (*P*), la quantité totale rejetée dans les eaux de surface est calculée comme suit :

$$E_{sw}^{P} = \left(E_{hum}^{P} + E_{Ldet}^{P} + \frac{E_{Ddet}^{P}}{D}\right) D(1 - R^{P}) \tag{2}$$

où E_{sw}^{P} est le rejet de P dans les eaux de surface (en kg/personne/an), E_{hum}^{P} le rejet anthropique de P (en kg/personne/an), E_{Ldet}^{P} le rejet de P provenant des détergents à lessive (en kg/personne/an), E_{Ddet}^{P} le rejet de *P* provenant des détergents pour lave-vaisselle (en kg/personne/an) et R^{P} l'élimination globale de *P* par traitement des eaux de surface (sans dimension). E_{Ddet}^{P} est calculé pour la population raccordée au réseau d'égouts. En divisant par *D*, on obtient une valeur qui s'applique à la population totale.

Les hypothèses retenues pour la population ayant accès à un assainissement amélioré, la population raccordée au réseau d'égouts, l'utilisation de détergents et l'élimination des éléments nutritifs dans les stations d'épuration sont récapitulées dans le tableau 5.A1.

Effluents d'éléments nutritifs liés à l'agriculture

Les données sur l'application d'engrais, l'épandage de fumier et l'efficience d'utilisation renvoient aux tendances décrites dans l'étude de la FAO intitulée *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030* (Bruinsma, 2003), croisées avec des données sur la production végétale et animale provenant du modèle IMAGE.

De façon générale, le *scénario de référence* suppose que les agriculteurs des pays caractérisés par un excédent d'éléments nutritifs vont s'attacher à appliquer les engrais de façon de plus en plus rationnelle. Dans le cas de la Chine, en particulier, l'hypothèse veut

Tableau 5.A1. **Hypothèses du *scénario de référence* et réduction des quantités provenant de sources ponctuelles dans le scénario de *recyclage et de réduction des éléments nutritifs***

Paramètre	*Scénario de référence*	Réduction des quantités provenant de sources ponctuelles dans le scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*
Population	Données du *scénario de référence*.	Identique au *scénario de référence*.
PIB par habitant	Données du *scénario de référence*.	Identique au *scénario de référence*.
Urbanisation	Données du *scénario de référence*.	Identique au *scénario de référence*.
Proportion de la population ayant accès à un assainissement amélioré.	2030 : l'écart entre le pourcentage de la population urbaine disposant d'un assainissement amélioré en 2000 et la situation où 100 % de la population en bénéficie est réduit de 50 %. 2050 : l'écart entre pourcentage de la population urbaine disposant d'un assainissement amélioré en 2030 et la situation où 100 % de la population en bénéficie est réduit de 50 %.	Identique au *scénario de référence*.
Proportion de la population raccordée au réseau d'égouts	L'écart entre la situation en 2000 et la situation où 100 % de la population est raccordée est réduit de 50 % sur la période 2000-30 et reste constant ensuite.	Identique au *scénario de référence* ; en 2030, 25 % des urines provenant des ménages raccordés sont collectées et recyclées dans l'agriculture ; en 2050, la proportion est de 50 %.
Utilisation de détergents	L'utilisation de détergents à lessive et la fraction de détergents à lessive sans P, ainsi que l'utilisation de lave-vaisselle automatique et la fraction de détergents pour lave-vaisselle sans P, sont entièrement fonction du PIB.	En 2030, 25 % des détergents à base de P seront remplacés par détergents sans P ; en 2050, la proportion est de 50 %.
Élimination de N et de P par les stations d'épuration	L'élimination de N et de P par les stations d'épuration augmente grâce au passage progressif à des catégories de traitement utilisant des technologies plus poussées. L'efficience de l'élimination par catégorie reste stable ; 50 % de chaque catégorie de traitement passe à la catégorie supérieure sur la période 2000-30, et l'évolution se poursuit, pour 50 % de chaque catégorie, sur la période 2030-50 (50 % de la catégorie « sans traitement »est remplacée par un traitement mécanique ; 50 % du traitement mécanique est replacé par un traitement biologique : 50 % du traitement biologique est remplacé par un traitement avancé).	Identique au *scénario de référence*.

que l'utilisation d'engrais à base de P (engrais phosphatés) soit rapidement ramenée à des niveaux comparables à ceux des pays d'Europe et d'Amérique du Nord, d'où une réduction des rejets dans les eaux de surface. Dans les pays affichant un déficit d'éléments nutritifs, les rejets dans les eaux de surface devraient augmenter parallèlement à l'utilisation croissante d'engrais.

Le total des excédents est calculé à partir de la somme des entrées. Les apports d'azote (*N*) incluent la fixation biologique (N_{fix}), le dépôt d'azote atmosphérique (N_{dep}), l'application d'engrais azotés de synthèse (N_{fert}) et le fumier de ferme (N_{man}). S'agissant des sorties, les quantités de *N* soustraites du sol dans les champs correspondent à la récolte des cultures, au fauchage de l'herbe et du foin et à l'herbe consommée par les animaux brouteurs (N_{withdr}). Le bilan azoté du sol (N_{budget}) a été calculé comme suit :

$$N_{budget} = N_{fix} + N_{dep} + N_{fert} + N_{man} - N_{withdr} \quad (1)$$

Selon que le bilan est positif ou négatif, on parle d'excédent ou de déficit. La même démarche a été employée pour le phosphore (P), apporté sous la forme de fumier de ferme et d'engrais. Un excédent de P représente une perte potentielle dans l'environnement ; dans le cas de l'azote, cette perte passe par la volatilisation de NH_3, la dénitrification, le ruissellement superficiel et le lessivage ; dans celui du phosphore, elle correspond au ruissellement et à l'accumulation d'éléments nutritifs dans le sol. Un bilan négatif indique

un appauvrissement des sols en azote ou en phosphore. Pour d'autres précisions sur les divers termes de l'équation (1) et les incertitudes, on peut se reporter à une lecture critique de la littérature récente (Bouwman *et al.*, 2009, 2011).

La production animale joue un rôle majeur dans les bilans d'éléments nutritifs des terres cultivées. Son augmentation se répercute sur le stockage de fumier et les volumes qui peuvent être épandus, et constitue donc un important facteur de hausse dans les bilans d'azote et de phosphore des sols arables. La production de fumier résulte de l'accroissement de la production animale, du processus d'intensification et d'une plus grande productivité. La part du fumier de ferme dans le bilan azoté total des terres cultivées ne dépasse pas 6 à 14 % dans les pays de l'OCDE, alors qu'elle va jusqu'à 50 % dans certains pays africains. Les animaux contribuent pour 38 % à l'apport total d'azote en Inde, et pour 18 % en Chine. Comme dans le cas des terres cultivées, l'utilisation des pâturages par les ruminants entraîne des excédents. Les pertes d'azote imputables à la volatilisation de NH_3, à la dénitrification et au lessivage sont en effet inévitables. S'agissant du phosphore, c'est l'accumulation de P résiduel *via* l'adsorption par les particules du sol qui explique les excédents.

Dans l'étude de la FAO (Bruinsma, 2003) les hypothèses concernant l'efficience d'utilisation des engrais faisaient intervenir des considérations économiques et agronomiques, ainsi que les caractéristiques pédologiques et climatiques du pays considéré. L'utilisation d'engrais pourrait être modifiée par l'essor de la production et les évolutions en termes d'efficience.

L'efficience d'utilisation des éléments nutritifs est analysée de diverses manières (Ladha *et al.*, 2005). La présente édition des *Perspectives de l'environnement* retient le concept d'efficience apparente de l'utilisation d'azote et de phosphore (soit, respectivement, EUN et EUP), à savoir la production exprimée en kg de matière sèche par kg d'engrais azoté ou phosphaté (Dobermann et Cassman, 2004, 2005 ; Bouwman *et al.*, 2009). C'est le moyen le plus complet de mesurer l'efficience d'utilisation de l'azote et du phosphore, ou « la productivité partielle des facteurs » (Dobermann et Cassman, 2004 et 2005). L'EUN et l'EUP prennent en compte le rôle des éléments nutritifs naturellement présents dans les sols, l'absorption des engrais et le coefficient de conversion en produits végétaux récoltés. L'UEN et l'UEP varient selon les pays en raison des différences concernant les variétés cultivées, les rendements potentiels, la qualité des sols, ainsi que les quantités apportées et les modalités d'application et de gestion. Par exemple, les valeurs très élevées observées dans de nombreux pays africains et latino-américains viennent du fait que les taux d'application d'engrais sont actuellement bas ; l'UEN et l'UEP sont bien plus faibles dans nombre de pays industrialisés caractérisés par des systèmes agricoles à forte intensité d'intrants. Les pays d'Europe orientale et de l'ex-Union soviétique ont quant à eux enregistré une rapide diminution de l'utilisation d'engrais après 1990, entraînant une forte augmentation apparente de l'efficience d'utilisation des engrais.

Dans le *scénario de référence*, les agriculteurs des pays affichant un excédent d'éléments nutritifs tendent à utiliser les engrais de façon de plus en plus rationnelle. On suppose, pour la Chine, que l'utilisation d'engrais phosphatés (P) sera rapidement ramenée à des niveaux d'UEP comparables à ceux de l'Europe et de l'Amérique du Nord et, pour la Chine et l'Inde, que la baisse se poursuivra jusqu'en 2050, d'où une réduction des rejets dans les eaux de surface. Dans les pays présentant un déficit en éléments nutritifs, les rejets dans les eaux de surface devraient progressivement augmenter en raison de l'utilisation croissante d'engrais.

Voir la section 3 du chapitre 2 sur les évolutions socio-économiques, ainsi que l'encadré 3.2 du chapitre 3 sur le changement climatique, pour les hypothèses concernant les tendances de l'agriculture.

Scénario de *recyclage et réduction des éléments nutritifs*

Effluents d'éléments nutritifs liés aux eaux usées

Ce scénario suppose que les urines de la population raccordée au réseau d'égouts seront collectées et recyclées dans l'agriculture à hauteur de 25 % en 2030 et de 50 % en 2050. Il table aussi sur un remplacement progressif des détergents à base de phosphore (P) par d'autres, sans P (sans phosphates), entre 2030 et 2050 (tableau 5.A1).

Les possibilités de recyclage du phosphore (P) sont bien plus importantes. L'hypothèse veut que le total des quantités extraites chaque année par le traitement des eaux usées, soit 0.7 million de tonnes en 2000, passe à 1.7 million de tonnes en 2030, puis à 3.3 millions de tonnes en 2050. En utilisant ces quantités extraites pour produire des engrais phosphatés, on pourrait répondre à 15 % des besoins de phosphore prévus en agriculture (22 millions de tonnes par an en 2050). Toutefois, des efforts considérables s'imposeraient pour éliminer les métaux lourds, les produits pharmaceutiques et autres produits chimiques des boues d'épuration.

Effluents d'éléments nutritifs liés à l'agriculture

Ce scénario consiste à associer différentes stratégies dans le système de production végétale et animale, comme suit, pour améliorer la productivité tout en augmentant l'efficience d'utilisation des éléments fertilisants :

- Dans les systèmes de production végétale, le gain de rendement postulé dépasse de 40 % celui du *scénario de référence*. D'où une production plus importante par unité de surface, et par conséquent une superficie récoltée moins grande que dans le *scénario de référence*. Il serait possible d'y parvenir si à la fois l'utilisation d'engrais et l'efficience d'utilisation étaient plus élevées que dans le *scénario de référence* ; on suppose que l'accroissement du rendement correspond, pour moitié, à l'augmentation de l'utilisation d'engrais et, pour l'autre moitié, à l'amélioration des variétés cultivées et des pratiques de gestion, qui se traduit par une plus grande efficience.
- On table également sur une transformation profonde dans la filière animale. Les modifications ci-dessous ont été apportées par rapport au *scénario de référence* :
  - la production dans les systèmes de production mixtes et intensifs est supérieure de 10 %, et par conséquent, la production pastorale est inférieure de 10 % ;
  - l'efficience alimentaire (quantité d'aliments pour animaux nécessaire, en kg, pour obtenir 1 kg de produit) dans les systèmes de production mixtes et industriels est inférieure de 10 % ;
  - la productivité dans les systèmes mixtes et industriels est supérieure de 10 % (quantité de lait produite par animal et par an, et poids de carcasse des ruminants) ;
  - le taux d'exploitation (proportion d'animaux abattus, par rapport au cheptel) est supérieur de 10 % ; et
  - la proportion d'aliments concentrés dans les rations alimentaires est supérieure de 18 % (3 à 10 % dans les pays industrialisés, et jusqu'à 65 % dans les pays en développement, où l'utilisation de concentrés est actuellement limitée).

Toutes ces modifications influent sur l'utilisation des différents aliments du bétail, y compris sur les cultures fourragères. Le modèle IMAGE en tient compte. Cet ensemble de stratégies aboutit à une meilleure efficience d'utilisation de l'azote (N) et du phosphore (P) ; en outre, on suppose que les taux d'excrétion de N et de P se situent à 90 % des chiffres du *scénario de référence*.

- Une dernière stratégie consiste à mieux intégrer le fumier de ferme dans la production végétale, d'où une réduction de l'utilisation d'engrais.

Populations et richesses exposées aux catastrophes liées à l'eau

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* suppose que le changement climatique ne jouera pas (encore) un rôle déterminant dans les catastrophes liées aux inondations en 2050. Cette hypothèse renvoie au *Rapport spécial du GIEC* sur la gestion des risques d'événements extrêmes et de catastrophes en vue d'une meilleure adaptation aux changements climatiques (*Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*) (GIEC, 2011). Laurens Bouwer montre aussi que dans les 40 années à venir, l'accroissement démographique et l'augmentation du PIB l'emporteront largement sur le changement climatique parmi les facteurs en cause dans les risques accrus de catastrophes imputables aux inondations (Bouwer, 2011).

Pour l'analyse évoquée dans la section 2 des *Perspectives* sur les catastrophes liées à l'eau, une carte statique des inondations a été recoupée avec des cartes dynamiques de la population et du PIB pour 2010 et 2050. Les données ci-dessous ont été exploitées pour cartographier les zones inondables :

- la base de données détaillée sur les inondations de l'Université de Dartmouth (images satellitaires), *http://floodobservatory.colorado.edu/* ;
- les plaines inondables répertoriées dans la Base de données mondiale sur les lacs et les zones humides (Global Lakes and Wetlands Database) (Lehner et Döll, 2004) ; et
- la carte établie selon le modèle numérique d'élévation de la mission topographique de la navette spatiale (SRTM) sur les zones côtières à basse altitude exposées à un risque d'inondation par la mer (ont été retenues les zones côtières situées à 5 mètres maximum au-dessus du niveau de la mer), *www2.jpl.nasa.gov/srtm/*.

Les trois cartes mises au point ont été fusionnées en une seule. La principale incertitude est liée au fait que celle-ci ne précise ni la périodicité ni la hauteur des inondations. La période de retour théorique correspond à l'inverse de la probabilité que l'événement soit *dépassé* une année quelconque. Ainsi, pour une crue décennale (période de retour de 10 ans), la probabilité de dépassement une année quelconque est de 1 sur 10 (= 0.1 ou 10 %) et, pour une crue cinquantennale (période de retour de 50 ans), elle est de 1 sur 50 (= 0.02 ou 2 %)[2].

Les données sur la population et le PIB proviennent du modèle GISMO (Global Integrated Sustainability MOdel) de l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL) (voir l'annexe 6.A du chapitre 6 sur la santé et l'environnement). Les données du projet GRUMP (Global Rural-Urban Mapping Project) sur la population urbaine et rurale sont disponibles pour 2010 et 2050. Le PIB est calculé en parités de pouvoir d'achat (PPA) par habitant au niveau national. Les PPA donnent la valeur approchée des biens à un endroit donné pour l'estimation des pertes liées aux risques d'inondations.

Pour croiser les données démographiques avec les données plus détaillées sur les inondations, on a affiné les résultats du modèle GISMO en ramenant le maillage de 0.5 degré à 30 secondes d'arc. S'agissant de la population, la répartition urbaine/rurale correspondant

à cette résolution a été opérée d'après l'ensemble de données GRUMP[3], complété par les données LandScan 2007. Le PIB a été ramené à la nouvelle échelle et régionalisé à l'aide des données démographiques affinées et des parités de pouvoir d'achat (PPA) par habitant. Dans le passage de 0.5 degré à 30 secondes d'arc, le principal facteur d'incertitude vient du fait que le maillage de la population est fondé sur les chiffres du projet GRUMP et les parts indiquées par les données LandScan 2007. L'augmentation de la population est donc envisagée en fonction du périmètre actuel des zones urbaines, sans tenir compte de leur extension, ni de l'apparition de nouvelles villes. L'utilisation du PIB exprimé en PPA au niveau national permet simplement de se rapprocher de la valeur réelle des bâtiments, infrastructures et biens dans certains endroits à l'intérieur d'un pays.

Les villes les plus vulnérables ont été déterminées à partir des chiffres obtenus concernant les populations et les richesses exposées et d'une carte des villes dans le monde. Toutes les mailles ont été classées selon une fourchette allant de 0 à 1, d'après le nombre de personnes exposées (1 correspondant au nombre le plus élevé) et la valeur du PIB exposé, en tant qu'indicateur approximatif de la capacité d'adaptation (1 correspondant à la valeur du PIB la plus faible). Les résultats des deux classements ont été additionnés. Ainsi a été établie une liste des villes les plus vulnérables aux inondations, arrivant en tête de l'exposition à la fois en termes de population et de valeur des biens.

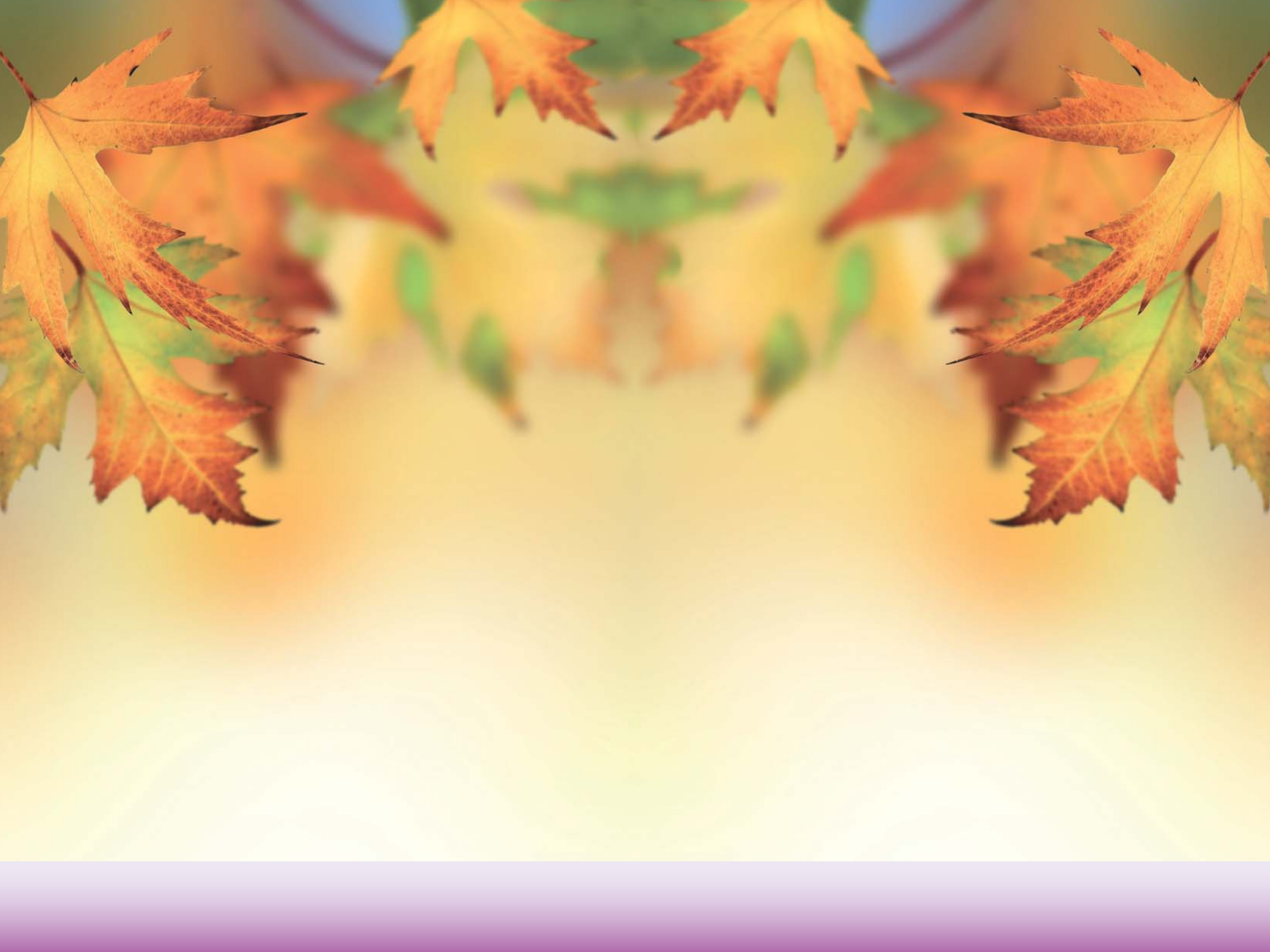
Approvisionnement en eau et assainissement

Les niveaux de distribution d'eau et d'assainissement ont été modélisés séparément pour les populations urbaines et rurales au moyen de régressions fondées sur les données disponibles pour 1990 et 2000 (OMS/UNICEF, 2008). Parmi les variables explicatives figurent le PIB par habitant, le taux d'urbanisation et la densité démographique. Le calage du modèle fait intervenir des paramètres spécifiques des régions.

Les coûts allant de pair avec les taux de raccordement indiqués par les projections renvoient aux calculs de Hutton et Haller (2004), qui ont estimé les coûts annuels pour divers taux de raccordement. Leurs hypothèses concernant les coûts annualisés se réfèrent aux coûts d'investissement et récurrents, les montants étant tirés des ouvrages publiés. Par exemple, les coûts annuels vont de 10 et 15 USD par personne pour l'eau courante à domicile, et de 1 à 4 USD par personne pour les autres types de raccordement à des réseaux d'approvisionnement améliorés. Il convient de noter que les coûts obtenus dans cette simulation sont approximatifs, car les catégories et régions ne coïncident pas exactement avec celles de Hutton et Haller. S'ajoute le risque de sous-estimation qu'entraîne à la longue la transposition des coûts d'investissement initiaux en coûts annuels.

Notes

1. L'application d'une règle simple, faisant varier l'irrigation avec l'augmentation de la population selon un facteur pondéré en fonction de la région (Shen, 2008), aux projections du *scénario de référence* des *Perspectives* ferait apparaître une augmentation de 25 % par rapport au niveau actuel.
2. *http://en.wikipedia.org/wiki/Return_period*.
3. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University ; Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IFPRI) ; Banque mondiale ; et Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2004. Global Rural-Urban Mapping Project, version 1 (GRUMPv1), Palisades, NY : Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University, consultable à l'adresse : *http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw*.



© OCDE 2012

Chapitre 6

Santé et environnement

par
Richard Sigman, Henk Hilderink (PBL), Nathalie Delrue,
Nils-Axel Braathen, Xavier Leflaive

Ce chapitre examine les répercussions actuelles et prévues sur la santé de quatre facteurs environnementaux essentiels, à savoir la pollution de l'air (l'accent est mis sur les décès prématurés résultant de l'exposition à des particules en suspension dans l'air extérieur et à l'ozone troposphérique, ainsi qu'à la pollution de l'air intérieur), l'insalubrité de l'eau et le défaut d'assainissement (y compris dans le contexte des Objectifs du Millénaire pour le développement pertinents), les produits chimiques (risques chimiques, exposition) et le changement climatique (en mettant l'accent sur l'incidence du paludisme). Pour chacun de ces thèmes, le chapitre commence par décrire les tendances actuelles, puis brosse le tableau possible à l'horizon 2050 en l'absence de politique nouvelle (c'est le scénario de référence *des* Perspectives de l'environnement*), et se clôt sur les interventions publiques nécessaires. La pollution de l'air, l'insalubrité de l'eau, le défaut d'assainissement et les produits chimiques dangereux exercent des contraintes non négligeables sur la santé humaine, et notamment sur celle des personnes âgées et des jeunes. Si certaines évolutions mondiales (l'accès à des sources d'eau améliorées, par exemple) sont positives, d'autres – comme la pollution de l'air en milieu urbain et le défaut d'accès à l'assainissement de base – restent synonymes de risque grave pour la santé humaine. En outre, les effets cumulés du changement climatique aggravent la charge de morbidité mondiale. Ces risques nécessitent des mesures d'atténuation ambitieuses et flexibles (normes, taxation des carburants, essais et évaluations de produits chimiques, achats publics verts, échange et plafonnement de droits et de permis d'émissions, politique des transports, etc.), ainsi que de nouveaux investissements dans les services concernant l'eau et l'assainissement. Il faut évaluer et traiter les risques identifiés, mais aussi faire preuve de vigilance et de réactivité face aux nouveaux risques émergents qui menacent la santé humaine et sont mal appréhendés (comme par exemple les perturbateurs endocriniens et les nanomatériaux manufacturés).*

MESSAGES CLÉS

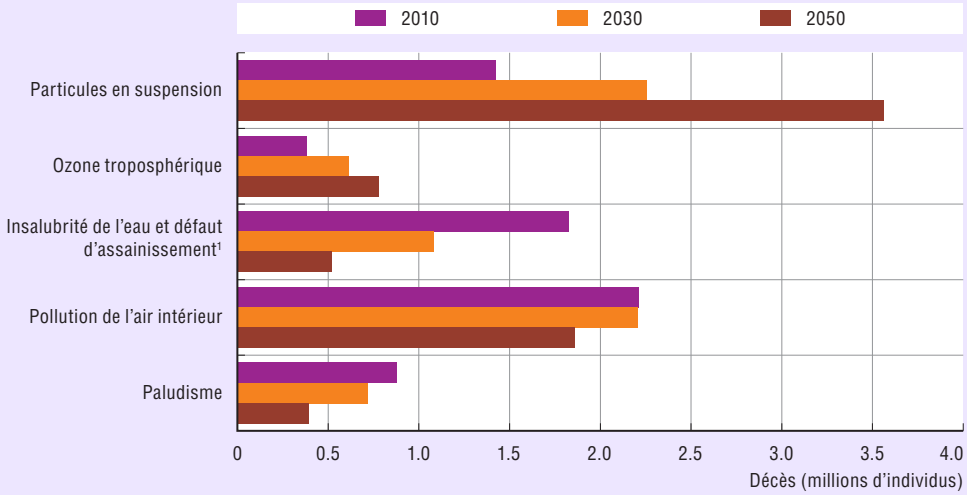
La pollution de l'air, l'insalubrité de l'eau, le défaut d'assainissement et les produits chimiques dangereux exercent des pressions importantes sur la santé humaine, et notamment sur celle des personnes âgées et des jeunes. Si certaines évolutions mondiales sont positives (l'accès à des sources d'eau améliorées, par exemple), d'autres – comme la pollution atmosphérique urbaine et l'absence d'accès à l'assainissement de base – restent synonymes de risques graves pour la santé humaine. En outre, les effets additionnels du changement climatique aggravent la charge de morbidité mondiale. Face à ces risques, des mesures d'atténuation ambitieuses et flexibles s'imposent. Il faut évaluer et traiter les risques identifiés, mais aussi faire preuve de vigilance et de réactivité face aux nouveaux risques émergents qui menacent la santé humaine et sont mal compris (champs électromagnétiques, perturbateurs endocriniens ou nanomatériaux manufacturés, par exemple).

Tendances et projections

Pollution de l'air

En l'absence de politiques nouvelles, le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* prévoit que la **qualité de l'air en milieu urbain** continuera de se dégrader à l'échelle mondiale. D'ici 2050, la pollution de l'air extérieur devrait devenir dans le monde la première cause de décès liés à l'environnement (voir le graphique ci-après).

Décès prématurés dans le monde liés à certains risques environnementaux : *scénario de référence*, 2010-2050



1. Mortalité infantile seulement.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594807

Les **niveaux de pollution atmosphérique** dans certaines villes, notamment asiatiques, dépassent déjà de loin les normes sanitaires acceptables. Cette situation devrait perdurer et d'importants efforts seront nécessaires pour réduire leurs effets sur la santé.



Selon le *scénario de référence*, le **nombre de décès prématurés dus à l'exposition aux particules** devrait plus que doubler au niveau mondial – la Chine et l'Inde étant les plus touchées – pour atteindre 3.6 millions en 2050, l'urbanisation croissante et le vieillissement de la population (qui engendreront un surcroît d'individus prédisposés) étant probablement appelés à plus que contrebalancer les bénéfices des réductions d'émissions. C'est probablement aussi en Chine et en Inde que le nombre absolu de **décès prématurés liés à l'ozone troposphérique** sera le plus élevé en 2050. Toutefois, le vieillissement beaucoup plus prononcé de la population des pays de l'OCDE devrait y susciter les plus forts taux de mortalité liée à l'ozone, après l'Inde, en termes de nombre de décès par million d'habitants.



Les décennies à venir devraient voir les **principales économies émergentes** se distinguer par de fortes hausses des **émissions de dioxyde de soufre (SO_2) et d'oxydes d'azote (NO_x)**. On prévoit pour 2050 des niveaux d'émission de SO_2 et de NO_x respectivement 90 % et 50 % plus élevés qu'en l'an 2000.



Avec l'augmentation des revenus et du niveau de vie, le nombre de personnes utilisant des combustibles solides traditionnels (et plus polluants) pour cuisiner et se chauffer devrait diminuer après 2020, entraînant une baisse du nombre de **décès prématurés imputables à la pollution de l'air intérieur**. Peut-être toutefois les ménages pauvres éprouveront-ils de plus grandes difficultés à renoncer à ces sources d'énergie traditionnelles polluantes (comme le bois de chauffage) si les politiques en matière de changement climatique augmentent le prix de l'énergie. Il faudra donc adopter pour ces ménages des mesures ciblées favorisant les énergies propres de substitution (foyers de cuisson améliorés, par exemple).



Dans les prochaines décennies, la baisse des **émissions atmosphériques de SO_2, de NO_x et de carbone noir** (précurseurs de la pollution liée aux particules et à l'ozone) des pays de l'OCDE devrait se poursuivre.

Approvisionnement en eau non potable et défaut d'assainissement



La **mortalité infantile imputable aux infections diarrhéiques – provoquées par un approvisionnement en eau non potable et un assainissement déficient** – devrait décroître à l'horizon 2050. La région Afrique subsaharienne devrait toutefois continuer d'accuser un certain retard sur la plupart des autres régions, notamment faute d'accès à un assainissement correct.

Produits chimiques dangereux



La **charge de morbidité mondiale imputable à l'exposition aux produits chimiques dangereux** est déjà significative et est probablement plus forte que ne l'indiquent les données disponibles. Cette charge pèse davantage dans les pays non membres de l'OCDE, dont la population court un plus grand risque d'exposition aux produits chimiques et déchets dangereux, et où le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* prévoit d'ici 2050 une multiplication par six de la production de substances chimiques.



Si les gouvernements des pays de l'OCDE progressent sans discontinuer dans la collecte et l'évaluation d'**informations sur l'exposition humaine à tel ou tel produit chimique** tout au long de son cycle de vie, les connaissances restent lacunaires quant aux effets sanitaires de milliers de substances chimiques présentes dans l'environnement. De plus amples informations sur les expositions potentielles aux substances chimiques contenues dans les produits et l'environnement, ainsi que sur les effets préjudiciables des expositions combinées à de multiples produits chimiques, sont nécessaires.



De nombreux pays de l'OCDE ont modifié ou sont en train de modifier leur législation afin d'étendre le **champ de la réglementation applicable aux produits chimiques**, mais la mise en œuvre reste incomplète.

Incidence du paludisme imputable au changement climatique



Sous l'effet du changement climatique, un nombre accru de personnes vivront en 2050 dans une zone impaludée. Malgré cela, selon le *scénario de référence*, **la mortalité prématurée mondiale due au paludisme** devrait décroître à l'horizon 2050 en raison de la progression de l'urbanisation et du revenu par habitant. Même dans ces conditions, le paludisme, prévoit-on, provoquera quelque 400 000 décès prématurés en Afrique en 2050.

Options et impératifs d'action

- **Réduire les incidences sanitaires croissantes de la pollution atmosphérique** grâce à des normes réglementaires et des instruments économiques plus ambitieux et mieux ciblés, comme la taxation des activités polluantes. Parmi les priorités urgentes figure la diminution, dans les pays non membres de l'OCDE, des sources de polluants atmosphériques particulaires provenant, notamment, des transports.
- **Réduire les émissions des véhicules à moteur** grâce à des actions conjuguant fiscalité et réglementation, en faveur de transports publics plus propres. Encourager l'évolution des comportements dans les modèles économiques et les modes de vie (covoiturage, téléconférences, télétravail, etc.).
- **Optimiser les synergies pouvant exister entre les mesures de réduction de la pollution atmosphérique locale et les mesures d'atténuation du changement climatique.** Les travaux de modélisation des *Perspectives environnementales* laissent présager que les mesures susceptibles de réduire de 25 % les émissions de polluants atmosphériques classiques (NO_x, SO_2 et carbone noir) pourraient aussi induire en 2030 une baisse de 5 % des émissions de CO_2 par rapport au *scénario de référence*. Les mesures structurelles de lutte contre la pollution de l'air (par exemple la modification des sources d'énergie et de la demande) produiront des avantages connexes plus importants que les mesures en bout de chaîne pour les émissions ayant un impact climatique.
- **Accroître l'investissement en faveur de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement.** Le rapport avantages-coûts peut en effet atteindre 7 pour 1 dans les pays en développement.
- **Améliorer les connaissances disponibles.** Notamment, redoubler d'efforts pour harmoniser les données ; améliorer les méthodologies utilisées pour déterminer la charge de morbidité imputable à l'environnement et les coûts et avantages des mesures prises pour faire face aux risques pour la santé humaine ; améliorer notre compréhension des dangers liés aux produits chimiques ; collecter davantage de données sur les expositions aux substances chimiques, depuis leur production jusqu'à leur utilisation et leur élimination ; et informer le public en publiant largement, sur Internet et d'autres supports, les informations relatives aux produits chimiques.
- **Intensifier la coopération internationale en matière de gestion des substances chimiques.** Notamment, partager le travail d'évaluation des substances chimiques et la mise au point de méthodologies pour évaluer les problèmes existants, émergents ou mal compris (par exemple les risques liés aux perturbateurs endocriniens, aux nanomatériaux ou aux mélanges chimiques) ; développer l'utilisation écologique des produits chimiques et la chimie verte ; et mettre en œuvre des mesures visant à protéger les stades les plus vulnérables de la vie humaine (par exemple, les premiers stades de la vie).

1. Introduction

Le présent chapitre examine les impacts actuels et projetés sur la santé humaine de quatre facteurs environnementaux essentiels – pollution de l'air, approvisionnement en eau non potable et défaut d'assainissement, produits chimiques, changement climatique. Il s'ouvre sur une vue d'ensemble des impacts combinés de ces menaces, puis aborde tour à tour ces quatre questions sanitaires liées à l'environnement, pour décrire d'abord les tendances actuelles, puis les perspectives à l'horizon 2050 en l'absence de politiques nouvelles (c'est le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* – voir chapitre 1). Il se conclut par les mesures publiques qu'il convient de prendre.

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) estime que la pollution de l'air extérieur et intérieur, l'approvisionnement en eau non potable et le défaut d'assainissement, ainsi que les effets du changement climatique, sont aujourd'hui responsables de 8 à 9 % des décès prématurés et de la « charge de morbidité » (voir encadré 6.1) de la planète, et de près de 25 % de ces événements chez les enfants de moins de 5 ans (OMS, 2009a). On enregistre la plupart des décès dans des pays à revenu faible ou intermédiaire, tandis que dans les pays à revenu élevé, c'est la pollution atmosphérique locale qui constitue le principal risque environnemental (tableau 6.1).

Tableau 6.1. **Pourcentage de décès imputables aux quatre risques environnementaux, par région, 2004**

Risque	% de décès		
	Monde	Pays à revenu faible ou intermédiaire	Pays à revenu élevé
Présence de fumée à l'intérieur des habitations dues à des combustibles solides	3.3	3.9	0.0
Approvisionnement en eau non potable, défaut d'assainissement, défaut d'hygiène	3.2	3.8	0.1
Pollution de l'air extérieur en milieu urbain	2.0	1.9	2.5
Changement climatique mondial	0.2	0.3	0.0
Ensemble des quatre risques	**8.7**	**9.9**	**2.6**

Source : Organisation mondiale de la Santé (OMS) (2009a), *Global Health Risks: Mortality and Burden of Disease Attributable to Selected Major Risks*, OMS, Genève.

D'autres risques d'origine environnementale pèsent sur la santé. Le radon, un gaz naturel qui émane des sols, est à l'origine de 6 à 15 % des cancers du poumon (OMS, 2005). En outre, la perte de biodiversité (évoquée au chapitre 4) a des répercussions négatives sur le développement de nouveaux médicaments qui, pour beaucoup, sont dérivés – directement ou non – des composés naturels présents dans les plantes ou chez les animaux. Les micropolluants – composés industriels détectés en faible concentration dans les milieux aquatiques (antibiotiques, par exemple) – suscitent une inquiétude grandissante (voir l'encadré 5.4 du chapitre 5). Le bruit pèse aussi sur la santé humaine, et le grand public s'inquiète des conséquences éventuelles d'une exposition aux champs électromagnétiques.

Parce qu'elle peut entraîner une contamination des cultures ou exposer les espèces sauvages, notamment les poissons, à des substances dangereuses qui s'accumulent ensuite dans la chaîne alimentaire, la pollution environnementale affecte la santé humaine à plusieurs égards.

Outre les risques environnementaux, la santé publique est également influencée, en particulier dans les pays en voie de développement, par divers facteurs économiques et sociaux : forte densité de population, faible niveau d'éducation, lacunes dans les systèmes de santé, faible revenu par habitant, urbanisation croissante, insuffisances du niveau de vie, des normes de travail et de l'accès aux services de santé, populations déplacées ou défavorisées. Faute de ressources économiques et politiques pour lutter contre les menaces environnementales pour la santé, certains pays (et certaines de leurs communautés) pourraient en pâtir davantage.

Les coûts moyens des soins de santé des pays de l'OCDE sont passés, en pourcentage du PIB, de 7.7 % en 1999 à 9.6 % en 2009 (OCDE, 2011a). Au total, les dépenses publiques et privées de lutte contre la pollution et de contrôle du phénomène dans les pays de l'OCDE représentent environ 1 à 2.5 % du PIB (OCDE, 2007). Bien qu'il soit difficile d'évaluer la part des dépenses de santé liée à l'exposition à des substances polluantes présentes dans l'environnement, il est raisonnable de penser que les dépenses de santé liées au traitement des impacts qui résultent de cette exposition ont, elles aussi, augmenté. Il faut noter qu'il est souvent rentable d'améliorer les conditions environnementales pour prévenir les impacts négatifs de l'environnement sur la santé.

Populations les plus sensibles aux effets de la pollution

Les personnes âgées et les enfants – du stade utérin jusqu'à l'adolescence – sont particulièrement sensibles à la pollution environnementale. Le nombre d'années de vies en bonne santé perdues dans le monde par habitant en raison de facteurs environnementaux est environ cinq fois plus élevé chez les enfants âgés de moins de cinq ans que dans la population en général (Prüss-Üstün et Corvalàn, 2006). Par ailleurs, de plus en plus d'études épidémiologiques mettent en évidence un possible lien entre d'une part l'exposition prénatale aux contaminants apportés par l'alimentation, à la pollution atmosphérique et aux produits chimiques contenus dans les produits de consommation, et d'autre part des troubles de santé non génétiquement transmissibles se manifestant après la naissance (Schoeters *et al.*, 2011).

La physiologie, le métabolisme et le niveau d'activité des enfants rendent ceux-ci plus sensibles que les adultes à la pollution atmosphérique. Les enfants inhalent une quantité d'air plus importante par unité de poids corporel que les adultes, leurs voies respiratoires et leurs poumons sont plus petits et leurs systèmes de défense immunitaire contre les corps étrangers ne sont pas encore complètement développés. Ils présentent également des taux différents d'intoxication et de détoxication, et sont davantage exposés aux polluants atmosphériques car ils passent plus de temps à l'extérieur et ventilent davantage du fait de leurs activités ludiques et physiques. Les personnes âgées courent aussi des risques élevés en raison de la détérioration de processus biochimiques et physiologiques qui les rend plus susceptibles, notamment, de contracter des infections pulmonaires.

Évolutions démographiques

À l'échelle mondiale, compte tenu de la baisse des taux de natalité et des progrès sanitaires, la part des personnes âgées dans la population devrait progresser (pour en savoir plus, voir le chapitre 2). La part des personnes âgées de 65 ans et plus devrait passer de 7.6 % en 2010 à 16.3 % en 2050, et celle des personnes âgées de 75 ans et plus de 3 % en 2020 à 7.5 % en 2050. En chiffres absolus, il en résultera une augmentation de près d'un milliard d'individus de plus de 65 ans. L'augmentation du nombre de seniors se produira pour l'essentiel en Inde et en Chine. Pendant la même période, la part des enfants (0-14 ans) au niveau mondial devrait baisser de 26.9 % à 19.6 %, ce qui équivaut à environ 1.8 milliard d'individus ; cependant, même en 2050, les enfants représenteront toujours 28.4 % de la population en Afrique subsaharienne.

Identifier et prédire les impacts environnementaux sur la santé publique

Ces dernières années, le processus de collecte systématique, d'intégration, d'analyse et d'évaluation des informations récoltées auprès des instances de surveillance de la santé publique et des menaces écologiques n'a cessé de se moderniser. De nombreux pays ont entrepris de vastes et exhaustives études épidémiologiques portant en particulier sur l'exposition durant les premiers stades de la vie, pour mieux décrire les conséquences sanitaires de cette exposition. En outre, les essais et évaluations de produits chimiques évoluent vers des démarches intégrées, comme par exemple les modèles prédictifs de type (Q)SAR (Relations quantitatives structure-activité). De nouvelles technologies et des alternatives prometteuses se substituant aux essais chimiques traditionnels, comme les tests *in vitro* à haut débit et la toxicogénomique (étude de l'activité des gènes à l'aide de techniques bioinformatiques), sont aussi en cours de développement. Ces nouvelles techniques pourraient permettre d'identifier de façon plus efficace, moins onéreuse et plus rapide les menaces potentielles des substances chimiques pour l'environnement.

Les démarches consistant à déterminer la charge de morbidité imputable à l'environnement et évaluer les mesures de lutte contre les menaces identifiées (analyse coûts-avantages par exemple) constituent des outils importants, d'ailleurs utilisés par nombre de gouvernements et d'organisations internationales. Ces démarches pâtissent toutefois d'incertitudes fortes quant à l'impact de l'environnement sur la santé – un surcroît de recherche s'impose dans le développement de méthodologies pour quantifier et comparer ces impacts (encadré 6.1).

Encadré 6.1. **Difficultés de mesure**

La charge de morbidité désigne l'impact d'un problème de santé dans un domaine particulier. Elle se mesure habituellement à l'aide d'indicateurs tels que la mortalité (décès) et la morbidité (maladie, incapacité, mauvaise santé). Elle est souvent quantifiée en termes d'années de vie corrigées de la qualité (AVCQ) ou d'années de vie corrigées de l'incapacité (AVCI). Les AVCI sont une mesure de la charge globale de morbidité, exprimée en nombre d'années perdues pour mauvaise santé, incapacité ou décès prématuré. Elles rassemblent en un seul indice la charge imputable tant à la mortalité qu'à la morbidité, et permet ainsi de comparer la charge de morbidité due à différents facteurs de risques ou différentes affections. Elles permettent aussi de prédire l'impact possible des interventions sanitaires.

Encadré 6.1. **Difficultés de mesure** *(suite)*

Les estimations de la charge de morbidité sont toutefois entachées d'incertitude. Concernant les cas de cancer, elles peuvent notamment être fondées sur de simples hypothèses et ne pas tenir compte des effets des substances chimiques sur le système endocrinien. En outre, certaines méthodes d'estimation de la charge de morbidité (pondération par l'incapacité et prise en compte du facteur « âge ») font débat, à l'instar des comparaisons entre certaines données récoltées dans différents pays. Enfin, les chiffres AVCI n'ont été calculés que pour les substances pour lesquelles existent des fonctions connues de dose-effet et des critères d'effet mesurables. Il convient donc de garder ces incertitudes à l'esprit lorsqu'on se penche sur les estimations de la charge de morbidité.

Si les études économiques de valorisation des impacts des pollutions sur la santé se focalisent en général sur le nombre de décès (mortalité), la fréquence des affections liées aux pollutions (morbidité) est, de manière caractéristique, bien plus grande, et doit représenter un pan important du travail d'évaluation.

2. Pollution de l'air

Impacts sur la santé humaine

Nous examinons dans cette partie la pollution de l'air tant extérieur qu'intérieur, deux formes de pollution qui peuvent avoir de sérieuses conséquences sur la santé humaine. Les formes de pollution de l'air extérieur les plus néfastes à cet égard sont les particules (ou matières particulaires – PM) en suspension dans l'air[1] et l'ozone troposphérique.

Particules

Les particules sont de deux types : *i)* primaires : matières émises directement dans l'atmosphère, comme le carbone noir (voir l'encadré 6.3) ; et *ii)* secondaires : particules formées dans l'atmosphère à partir d'une réaction impliquant des gaz précurseurs, à savoir principalement l'ammoniac, les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO_2) et, dans une certaine mesure, les composés organiques volatils (COV).

Les effets des particules sont divers : irritations oculaires et respiratoires, maladies cardiovasculaires, cancer du poumon, décès prématuré consécutif à ces pathologies. Les particules les plus préoccupantes sont celles qui font partie des catégories les plus fines, notamment les PM_{10} et surtout les $PM_{2.5}$, car ces particules sont de dimension suffisamment réduite pour pénétrer profondément dans les poumons. À l'échelle mondiale, 8 % des décès par cancer du poumon, 5 % des décès par maladies cardio-pulmonaires et environ 3 % des décès par infection respiratoire peuvent être attribués à la seule exposition aux particules fines (OMS, 2009a). On estime à 299 400 en Chine et 119 900 en Inde le nombre de décès prématurés survenant chaque année du fait de l'exposition aux PM_{10} (OMS, 2009c ; 2009d).

L'OMS a fixé des lignes directrices et trois objectifs intermédiaires qui visent à aider les pays présentant des concentrations élevées en particules à améliorer progressivement la qualité de leur air (tableau 6.2). Néanmoins, aux niveaux correspondant à l'« objectif intermédiaire 1 », la mortalité estimée serait supérieure de 15 % à ce qui est estimé quand la concentration en particules ne dépasse pas le niveau envisagé dans les lignes directrices de l'OMS pour la qualité de l'air.

Tableau 6.2. **Lignes directrices de l'OMS pour la qualité de l'air et objectifs intermédiaires de concentration annuelle de particules**

Objectif	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)
Objectif intermédiaire 1	70	35
Objectif intermédiaire 2	50	25
Objectif intermédiaire 3	30	15
Lignes directrices de l'OMS pour la qualité de l'air	**20**	**10**

Note : $\mu g/m^3$ = microgramme par mètre cube.
Source : Organisation mondiale de la Santé (OMS) (2006), *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre. Mise à jour mondiale 2005*, OMS, Genève.

Ozone troposphérique

L'ozone de la basse atmosphère, ou troposphérique, naît dans l'atmosphère d'une réaction chimique entre la lumière du soleil et des gaz précurseurs tels que les NO_x, les COV ou le méthane. L'ozone apparaît en quantités importantes à la fois comme polluant et comme élément naturel de l'atmosphère. À des altitudes plus élevées, l'ozone filtre les rayonnements ultraviolets nocifs. Mais près du sol, il est néfaste pour la santé humaine, la végétation et certains matériaux. La relation entre ozone et oxydes d'azote est complexe : dans certaines conditions, les émissions de NO_x aboutissent à la formation d'ozone ; dans d'autres, elles conduisent à une réduction des niveaux locaux d'ozone.

Une exposition à de fortes concentrations d'ozone peut induire une altération de la fonction pulmonaire, des inflammations des voies respiratoires et des troubles cardiovasculaires. En Europe, l'exposition à l'ozone est liée à plus de 20 000 décès prématurés chaque année (AEE, 2010). Alors que l'Union européenne, les États-Unis et d'autres pays de l'OCDE ont entrepris de réglementer les émissions de précurseurs de l'ozone, il est probable qu'en Asie et en Afrique, l'intensification de la formation d'ozone troposphérique due aux émissions de précurseurs se traduira par une hausse de la mortalité et de la morbidité dans ces régions si rien n'est fait pour atténuer ces émissions (The Royal Society, 2008).

Les précurseurs de l'ozone tels que les COV peuvent également avoir un effet négatif direct sur la santé, en cas d'exposition aux solvants et au benzène par exemple. L'exposition humaine aux précurseurs de particules et d'ozone dépend des conditions locales et n'est donc pas modélisable à l'échelle mondiale, ni quantifiée dans le présent ouvrage.

Les principales sources d'ozone troposphérique, de polluants particulaires et de leurs précurseurs sont :

- Le secteur de l'énergie : carbone noir, NO_x et SO_x.
- Les transports : carbone noir, NO_x, COV et $PM_{2.5}$.
- La combustion de charbon et de bois à des fins domestiques : carbone noir et $PM_{2.5}$.
- L'élevage, le traitement des déchets et des eaux usées, et les émissions produites par les rizières : méthane.

Les concentrations d'ozone et de particules subissent les effets à la fois du transport des polluants atmosphériques et de leurs précurseurs sur de longues distances et des émissions locales desdits polluants. Les polluants atmosphériques émis en un lieu donné peuvent avoir un impact ailleurs sur la planète, en fonction des distances qu'ils parcourent et de leur temps de séjour dans l'atmosphère. Les particules peuvent parcourir jusqu'à 1 000 km, et les précurseurs de l'ozone peuvent voyager plus loin encore. Les oxydes d'azote peuvent

parcourir 10 km, le monoxyde de carbone plus de 10 000 km et le méthane 1 million de km ; ces deux derniers polluants peuvent persister dans l'atmosphère 3 mois et 8 à 10 ans respectivement. De telles caractéristiques les transforment en menace planétaire.

La CEE-ONU (Commission économique pour l'Europe des Nations Unies) a observé une tendance haussière des concentrations d'ozone mesurées dans des sites reculés de l'hémisphère Nord ; les concentrations d'ozone de référence y auraient doublé pendant la seconde moitié du XXe siècle, en raison – le plus probablement – de hausses des émissions anthropiques de précurseurs d'ozone (CEE-ONU, 2010). Les calculs des modèles démontrent qu'une diminution de 20 % de ces émissions en Amérique du Nord, en Asie orientale et en Asie du Sud abaisserait les concentrations de fond de l'ozone en Europe de 0.6 partie par milliard (ppb), soit à peu près autant que la baisse de 0.8 ppb que permettrait d'obtenir une diminution de 20 % des émissions européennes. Un recul de 50 % des émissions anthropiques mondiales de méthane diminuerait de près de la moitié l'incidence des pics d'ozone notés aux États-Unis (Fiore *et al.*, 2002).

Pollution de l'air intérieur

La santé humaine est aussi affectée par l'exposition à la pollution de l'air intérieur (encadré 6.4). La source la plus importante est liée à l'usage pour la cuisine et le chauffage intérieurs, de charbon et de biocarburants solides (par exemple, la bouse de vache et le bois) par les ménages qui n'ont pas les moyens d'utiliser des combustibles modernes plus propres. On estime que deux millions de personnes meurent chaque année prématurément du fait de la pollution de l'air intérieur ; près de la moitié sont des enfants touchés par une infection des voies respiratoires inférieures, ou pneumonie ; l'autre million concerne principalement des personnes âgées atteintes de broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO). Ces décès se produisent le plus dans des pays à revenu faible ou intermédiaire (environ 64 %) situés tout particulièrement en Asie du Sud-Est et en Afrique. Pour 28 % environ, ils se produisent en Chine (OMS, 2009a). Mais la pollution de l'air intérieur est aussi un problème dans les pays développés, où elle résulte principalement des émanations de substances chimiques des tapis, meubles et produits de nettoyage ménager, ainsi que du radon (voir plus haut) et des pesticides.

Tendances clés et prévisions en matière de pollution de l'air

Cette partie présente les résultats du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, qui modélise la tendance probable des taux de mortalité résultant de l'exposition aux particules (PM_{10} et $PM_{2.5}$) et à l'ozone troposphérique jusqu'en 2050, en supposant qu'aucune politique nouvelle ne soit menée d'ici là. Ces estimations reposent sur :

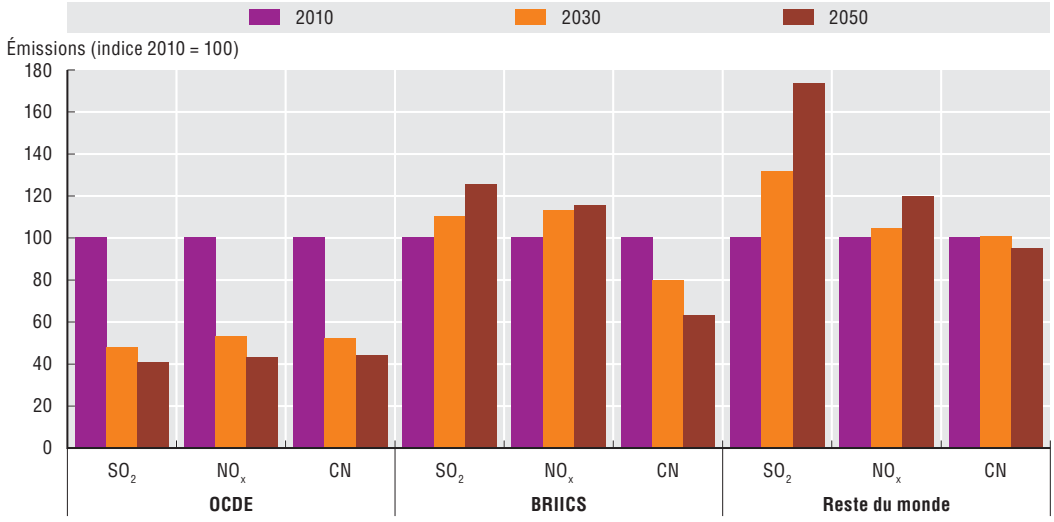
- Les émissions régionales et les concentrations urbaines de particules pour 3 245 « grandes villes », c'est-à-dire les villes qui comptent plus de 100 000 habitants ou sont des capitales nationales (Banque mondiale, 2001)[2].
- Les concentrations d'ozone troposphérique dérivées au niveau mondial, puis ramenées au niveau des régions en utilisant les projections géographiques pour l'ozone du Centre commun de recherche d'Ispra de la Commission européenne (van Aardenne *et al.*, 2010).

La modélisation de la pollution de l'air en milieu urbain (particules) se fonde sur plusieurs hypothèses qui peuvent être source d'incertitude dans les résultats (pour de plus amples informations, voir l'encadré 6.A1 de l'annexe à ce chapitre).

Émissions de SO_2, de NO_x et de carbone noir

Aux termes du *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, les émissions de SO_2, de NO_x et de carbone noir de l'OCDE devraient continuer de baisser à l'horizon 2050 (graphique 6.1), les émissions de carbone noir augmentant cependant d'abord légèrement jusqu'en 2015. Les projections font apparaître des augmentations substantielles des émissions de SO_2 et NO_x dans les principales économies émergentes (Brésil, Russie, Inde, Indonésie, Chine, et Afrique du Sud – pays dits « BRIICS »), imputables à la croissance de l'activité économique, dans le secteur de l'énergie en particulier, au cours des deux prochaines décennies. Ensuite, d'ici 2050, les émissions s'y stabiliseront au double environ (pour le SO_2) et à 150 % (pour les NO_x) du niveau de l'an 2000 en raison de l'adoption croissante – permise par la hausse des revenus – de combustibles et de techniques de combustion plus propres. Dans les pays du « reste du monde », on s'attend à ce que les émissions de SO_2 et de NO_x progressent nettement d'ici 2050 sans, probablement, marquer de palier. Quant aux émissions de carbone noir, au cours des 40 années à venir, elles devraient diminuer de manière significative dans les BRIICS et se stabiliser dans le « reste du monde ».

Graphique 6.1. **Émissions de SO_2, de NO_x et de carbone noir (CN) par région : *scénario de référence*, 2010-2050**



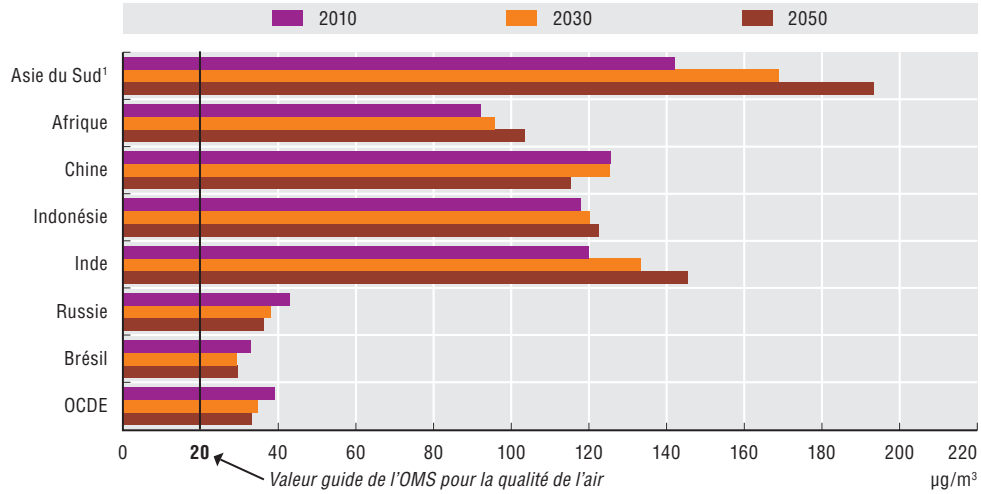
Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594826

Concentrations de particules et d'ozone

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* contient, pour la période 2010-50, des projections des concentrations atmosphériques moyennes annuelles de PM_{10} dans les villes comptant plus de 100 000 habitants (graphique 6.2). Globalement, les concentrations moyennes sont dans toutes les régions déjà plus élevées que celle de la ligne directrice de l'OMS pour la qualité de l'air, fixée à 20 µg/m^3 (tableau 6.2), et cette situation prévaudra toujours en 2050. Si les concentrations relevées dans les pays de l'OCDE devraient lentement décroître, on prévoit que celles des BRIICS, au total, augmenteront jusqu'en 2030, avant de diminuer légèrement à l'horizon 2050. Au sein des BRIICS, le Brésil, la Russie et la Chine devraient enregistrer une légère baisse d'ici 2030. Dans les grandes villes du « reste du monde », les concentrations devraient continuer à augmenter pendant cette période. Notons

Graphique 6.2. **Concentrations de PM_{10} dans les grandes villes : *scénario de référence*, 2010-2050**



1. La région Asie du Sud ne comprend pas l'Inde.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594845

que les concentrations présentées ici sont des moyennes pondérées et que pour plusieurs pays d'une même région (tels le Canada et la Nouvelle-Zélande par exemple, regroupés dans la région OCDE), les concentrations sont inférieures aux niveaux fixés par les lignes directrices de l'OMS pour la qualité de l'air.

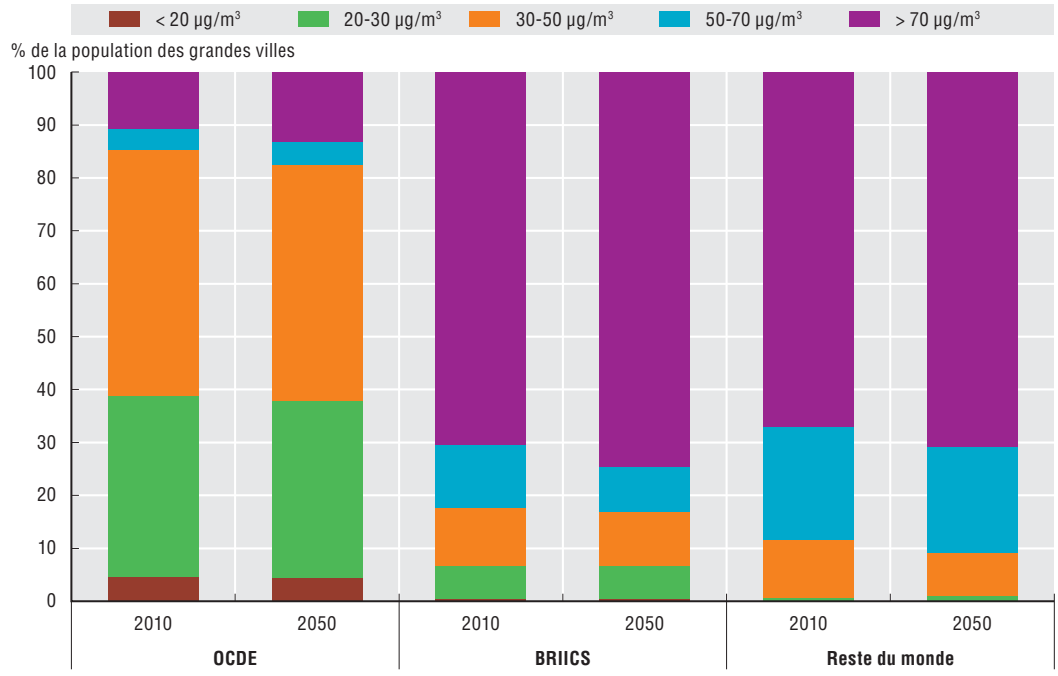
Aujourd'hui, seuls 2 % de la population urbaine de la planète vivent dans un environnement où la concentration de PM_{10} est acceptable (c'est-à-dire *inférieure* à la ligne directrice de l'OMS pour la qualité de l'air de 20 µg/m^3; voir graphique 6.3). Quelque 70 % de la population urbaine des BRIICS et des pays du « reste du monde » sont exposés à des concentrations *supérieures* à la norme intermédiaire la plus élevée (c'est-à-dire au-dessus de 70 µg/m^3). En 2050, le *scénario de référence* prévoit que le pourcentage d'individus vivant dans des villes à la concentration supérieure à l'objectif de l'OMS le plus élevé – 70 µg/m^3 – sera encore plus important dans toutes les régions. Et ce en dépit de l'amélioration de la qualité de l'air prévue en 2050 dans les pays de l'OCDE et les BRIICS, car les progrès obtenus dans ce domaine seraient éclipsés par la croissance démographique des zones urbaines.

De la même manière, le *scénario de référence* prévoit qu'à l'horizon 2050, les concentrations d'ozone troposphérique dans les villes de plus de 100 000 habitants progresseront de manière marquée au niveau mondial – 35 % dans la zone OCDE, environ 90 % en Russie, 39 % en Chine (graphique 6.4) – par rapport aux niveaux de 2010.

Projections relatives aux impacts sanitaires de la pollution particulaire et de la pollution par l'ozone

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* prévoit que le nombre de décès prématurés associés à l'exposition aux PM_{10} et aux $PM_{2.5}$ passera d'un peu plus d'un million à l'échelle du globe en 2000 à plus de 3.5 millions en 2050 (graphique 6.5, partie A). La majorité de cette hausse devrait se produire dans les BRIICS. Il s'agit là d'une part non négligeable de la population urbaine de la planète exposée à la pollution de l'air ; il convient d'agir sans délai pour inverser cette tendance. Même en prenant en compte la taille

Graphique 6.3. **Population urbaine et concentrations moyennes annuelles de PM_{10} : *scénario de référence*, 2010-2050**



Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594864

Graphique 6.4. **Concentrations d'ozone troposphérique dans les grandes villes : *scénario de référence*, 2010-2050**

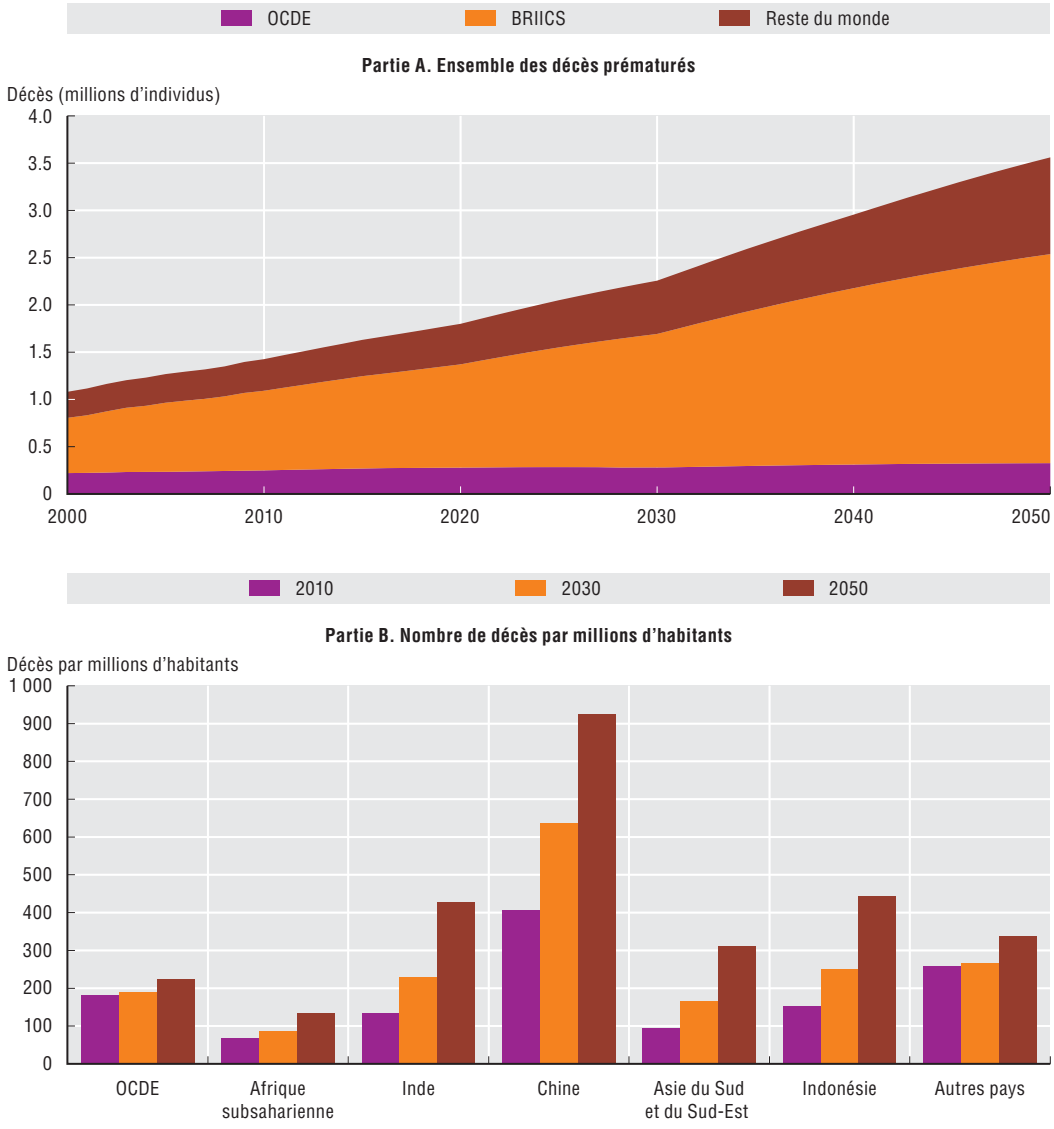


1. La région Asie du Sud ne comprend pas l'Inde.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594883

Graphique 6.5. **Décès prématurés dans le monde imputables à l'exposition aux particules : *scénario de référence***



Note : La région Asie du Sud et du Sud-Est ne comprend pas l'Inde et l'Indonésie.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594902

de sa population, la Chine affiche déjà le taux le plus élevé de décès prématurés liés à la pollution particulaire par million d'habitants ; avec le vieillissement futur de la population, ce taux devrait plus que doubler d'ici 2050 si aucune politique nouvelle n'est mise en œuvre (graphique 6.5, partie B). En Inde et en Indonésie, les taux de décès prématurés sont plus bas, mais on prévoit qu'ils tripleront d'ici 2050 en raison de la hausse des concentrations de particules et, aussi, du plus grand nombre d'individus exposés du fait de l'urbanisation croissante et du vieillissement de la population (voir l'encadré 6.2).

Encadré 6.2. **Facteurs expliquant l'augmentation du nombre de décès prématurés dus à l'exposition à la pollution de l'air par les particules en milieu urbain**

L'estimation des impacts de la pollution de l'air sur la santé est une tâche complexe. Différents facteurs – croissance démographique, vieillissement de la population, urbanisation, baisse de la qualité de l'air ou progrès sanitaires globaux – influent sur la charge de morbidité (et de mortalité, voir l'encadré 6.1) associée à la pollution de l'air. Les modélisations réalisées dans le cadre du *scénario de référence* ont donné lieu à des analyses visant à déterminer le poids de chaque facteur sur la composante « mortalité » de la charge de morbidité au cours des 40 prochaines années.

Ces analyses ont permis d'estimer que les progrès attendus des services de santé découlant de la hausse des revenus sur cette période diminueraient de moitié le nombre de décès provoqués par la pollution de l'air – toutes choses égales par ailleurs – mais que la croissance démographique et l'urbanisation grandissante contrebalanceraient ce gain. Le facteur le plus influent dans la hausse du nombre de décès prématurés dus à la pollution de l'air est le vieillissement de la population des pays de l'OCDE, des BRIICS et des pays du « reste du monde ».

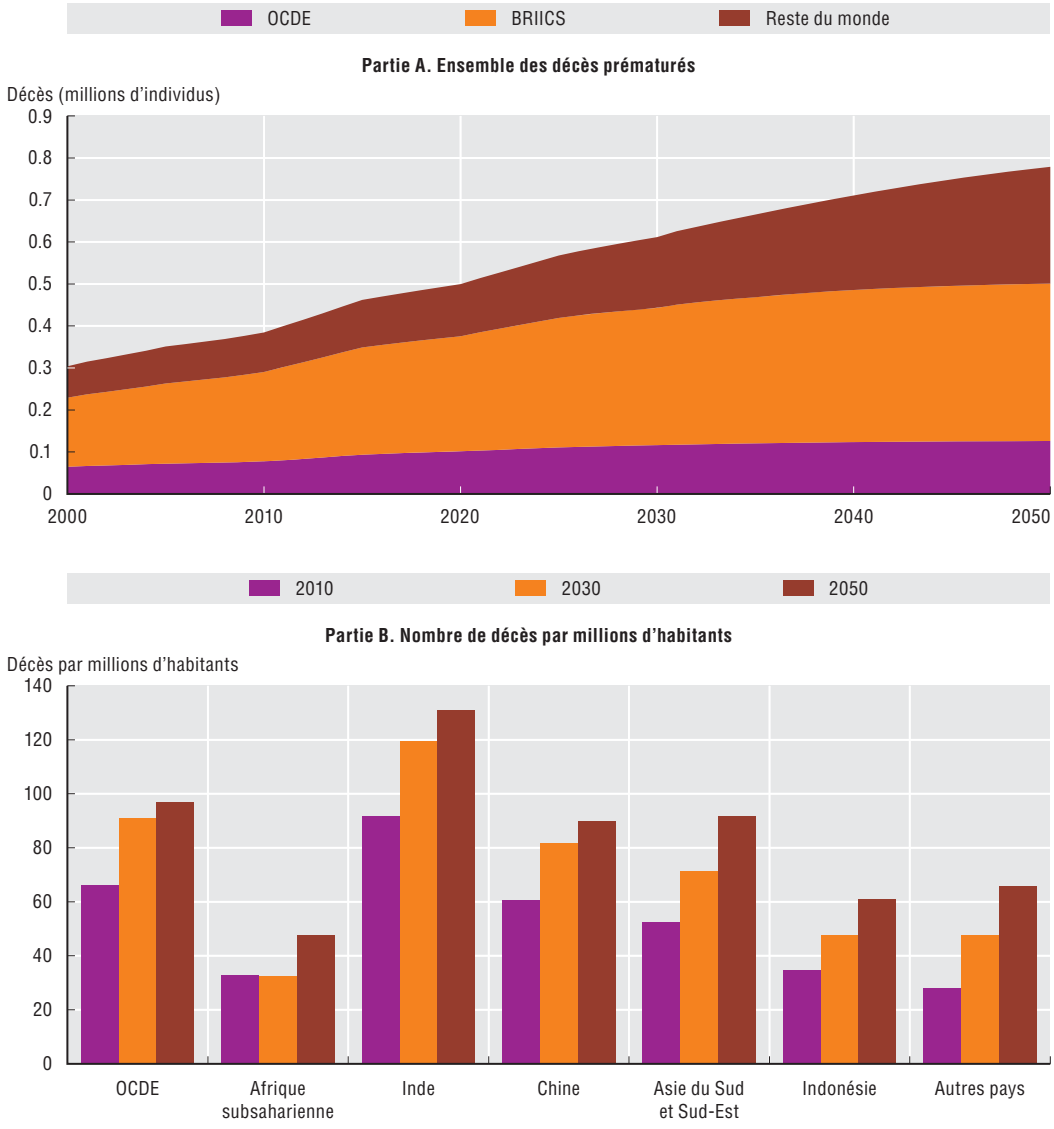
Le *scénario de référence* prévoit que le nombre absolu de décès prématurés imputables à l'exposition à l'ozone troposphérique fera plus que doubler à l'échelle mondiale (passant de 385 000 à près de 800 000) entre 2010 et 2050 (graphique 6.6, partie A). La plupart de ces décès devraient se produire en Asie, où les concentrations d'ozone troposphérique, ainsi que la taille de la population exposée, seront probablement les plus grandes. On estime que plus de 40 % des décès prématurés dus à l'ozone dans le monde en 2050 se produiront en Chine et en Inde. Toutefois, une fois la taille de la population prise en compte, c'est dans les pays de l'OCDE – précédés seulement de l'Inde – que le nombre de décès liés à l'ozone entre 2010 et 2050 devrait être parmi les plus élevés (graphique 6.6, partie B).

Pollution de l'air : tableau des interventions publiques aujourd'hui

Il existe toute une gamme d'actions gouvernementales visant à réduire la pollution de l'air extérieur[3]. Le tableau 6.3 ci-après présente succinctement quelques exemples d'interventions publiques visant à lutter contre la pollution de l'air. Dans beaucoup de pays, les démarches réglementaires contraignantes s'appuyant sur des normes sont complétées par divers instruments économiques tels que les taxes et les systèmes de permis négociables. Depuis quelques années, plusieurs pays ont également introduit des programmes volontaires de remplacement de fours et appareils de chauffage polluants et de mise à la casse des véhicules vétustes. Ces différents types d'interventions sont détaillés ci-après.

Dans la plupart des pays de l'OCDE, les interventions publiques visant à lutter contre la pollution de l'air ont connu ces 10 ou 15 dernières années une intégration croissante qui a renforcé l'efficience des efforts déployés. On peut citer les exemples du *Clean Air Act* (États-Unis), de l'Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air (États-Unis, Canada), du programme « Air pur pour l'Europe » (CAFE) et des mesures adoptées en Australie (*National Environment Protection Measure for Ambient Air Quality*), qui définissent tous des normes de qualité de l'air, en privilégiant la fixation d'objectifs pour divers polluants atmosphériques émanant de sources fixes. Ces cadres d'intervention généraux comprennent des initiatives

Graphique 6.6. **Décès prématurés liés à l'ozone troposphérique, monde entier : *scénario de référence***



Note : La région Asie du Sud et du Sud-Est ne comprend pas l'Inde et l'Indonésie.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594921

législatives visant des secteurs spécifiques comme la production d'électricité, les transports, l'industrie et les ménages. Les exemples de programmes systématiques de lutte contre la pollution de l'air sont moins nombreux dans les pays non membres de l'OCDE. L'accent se porte actuellement surtout sur les politiques spécifiques visant à contrôler les émissions liées aux transports, au moyen à la fois de normes et d'instruments économiques.

Démarches réglementaires

La plupart des pays ont mis en place des normes réglementaires de *qualité de l'air ambiant* afin de limiter les impacts sanitaires sur les populations. Ces normes s'appuient souvent sur les lignes directrices de l'OMS (tableau 6.2). Les normes relatives aux particules

Tableau 6.3. **Quelques démarches publiques adoptées pour gérer la pollution de l'air**

Démarches réglementaires (contraignantes)	Instruments économiques	Autres
■ Normes de qualité de l'air ambiant. ■ Normes applicables aux émissions industrielles, normes technologiques. ■ Obligations de déclaration s'appliquant aux sources fixes (par exemple inventaires des émissions et des transferts de matières polluantes). ■ Normes applicables aux émissions des véhicules (graphique 6.7). ■ Normes de qualité des carburants. ■ Programmes de contrôle technique et d'entretien des véhicules.	■ Systèmes de permis négociables pour les émissions atmosphériques des sources fixes (quotas d'émission de SO_2 dans le cadre du *Clean Air Act* par exemple). ■ Taxes sur les carburants (voir graphique 6.9). ■ Redevances de congestion. ■ Taxes sur les émissions (voir graphique 6.8). ■ Incitations financières en faveur du développement de carburants alternatifs et renouvelables et de technologies avancées dans le secteur des transports (programme DRIVE en Californie par exemple).	■ Collecte d'informations : – Surveillance des émissions et de la qualité de l'air. – Analyses coûts-avantages à l'appui de l'évaluation des politiques (avec valorisation des impacts sur la santé). – Sensibilisation de la population (la cote air santé au Canada par exemple). ■ Programmes volontaires de mise à la casse de certains véhicules. ■ Conventions internationales (Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, par exemple). ■ Initiatives de télétravail (*Telework Enhancement Act* de 2010 aux États-Unis).

reposent généralement sur des moyennes journalières et annuelles et, dans certains cas, horaires. Les normes applicables aux $PM_{2.5}$ sont plus basses (c'est-à-dire plus strictes) que celles qui concernent les PM_{10}, moins préoccupantes, et les normes annuelles sont plus basses que les normes journalières.

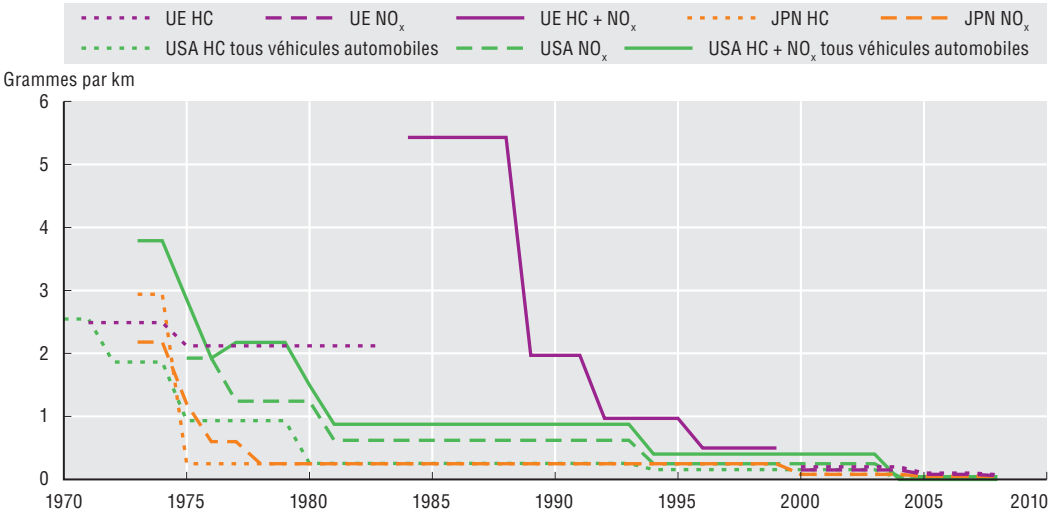
Par ailleurs, les pays réglementent certaines *émissions ponctuelles* à l'aide de normes et d'instruments de surveillance et de déclaration. Le *Clean Air Act* des États-Unis en est un exemple. L'Agence européenne pour l'environnement fait remarquer que la combustion industrielle (comprenant les émissions des centrales électriques, des raffineries et des industries manufacturières) émet beaucoup de particules et de polluants acidifiants en Europe (AEE, 2010). Les instruments les plus importants mis en place au sein de l'Union européenne incluent la Directive relative à la limitation des émissions de certains polluants dans l'atmosphère en provenance des grandes installations de combustion (CE, 2001) et la Directive relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (CE, 1996) qui requièrent, entre autres, l'utilisation des « meilleures technologies disponibles » pour lutter contre la pollution.

Les *émissions des véhicules à moteur* sont aussi soumises à des normes dans la plupart des pays. Le graphique 6.7 montre l'évolution des normes applicables aux émissions d'hydrocarbures (HC)[4] et d'oxydes d'azote (NO_x) des voitures particulières à essence, respectivement aux États-Unis, au Japon et dans l'Union européenne, entre 1970 et 2010. Il apparaît de manière évidente que des normes d'émissions beaucoup plus strictes ont été instaurées au fil du temps dans ces régions, et qu'après de nombreuses années de clémence relative dans l'Union européenne, les normes applicables à ces polluants y sont aujourd'hui du même niveau de sévérité qu'au Japon et aux États-Unis. L'évolution est la même s'agissant des normes d'émissions applicables aux véhicules diesel.

Instruments économiques

Les programmes de plafonnement et d'échange des émissions (voir le chapitre 3) peuvent donner aux établissements industriels une souplesse décisionnelle accrue quant à la manière de réduire leurs émissions. Par exemple, les modifications de 1990 apportées aux États-Unis au *Clean Air Act* (les CAAA) n'ont pas seulement renforcé la réglementation applicable à différentes sources d'émissions : elles ont aussi mis en place un programme

Graphique 6.7. **Normes applicables aux émissions HC et NO_x des véhicules à essence aux États-Unis, au Japon et dans l'UE, 1970-2010**



Note : HC = hydrocarbures ; NO_x = oxydes d'azote.

Source : OCDE (2010c), *Fuel Taxes, Motor Vehicle Emission Standards and Patents related to the Fuel-Efficiency and Emissions of Motor Vehicles*, OCDE, Paris.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594940

de plafonnement et d'échange concernant les émissions de SO_2 des centrales à charbon, lequel programme a permis aux industriels, auparavant tenus d'installer des extracteurs, de réduire davantage les émissions par des moyens moins onéreux (consistant par exemple à opter pour un charbon à basse teneur en soufre) (Burtraw *et al.*, 2005).

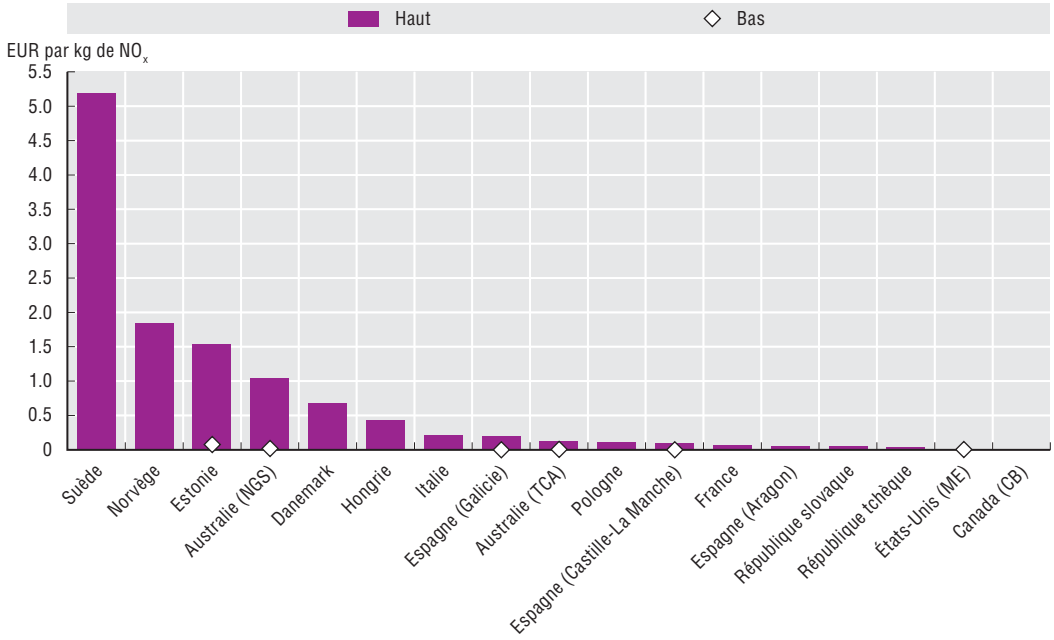
Depuis 1999, un système de plafonnement et d'échange est aussi appliqué pour réduire les émissions de NO_x dans le nord-est des États-Unis, depuis le Maryland jusqu'au Maine, ainsi que dans le District de Columbia et certains comtés de Virginie. Le but poursuivi est de traiter la question du transport régional d'ozone et d'aider à respecter pour l'ozone troposphérique les normes nationales de qualité de l'air ambiant fixées par le *Clean Air Act*. Un programme régional d'échange des NO_x dénommé RECLAIM est également en place en Californie du Sud (voir Burtraw *et al.*, 2005).

En Corée, un programme d'échange a été instauré pour réduire les émissions de SO_x et de NO_x des grandes sources de la métropole de Séoul (OCDE, 2010a). Au Canada, la province de l'Ontario applique depuis 2001 un programme d'échange des NO_x et des SO_2 qui vise à réduire les émissions de ce type imputables au secteur de l'électricité (Ontario, 2001).

Différents pays de l'OCDE taxent les émissions mesurées ou estimées de NO_x de sources majeures (graphique 6.8). Le taux de taxation varie fortement selon le pays, les taux les plus élevés étant appliqués dans les pays nordiques[5], en Estonie et dans l'État australien de Nouvelle-Galles du Sud. Les taux appliqués dans certains des autres pays ou régions sont si bas qu'ils n'ont probablement aucun effet sur le niveau des émissions.

Lorsqu'elles sont suffisamment élevées, les taxes peuvent influer sur la taille, le nombre et l'efficience énergétique des véhicules qui sont achetés, et sur les émissions par kilomètre parcouru. En général, un niveau modéré de taxation des carburants utilisés par les véhicules à moteur n'a qu'un impact modeste sur le nombre de véhicules et leur utilisation. La zone OCDE se caractérise par une grande disparité de taxation de ces carburants (graphique 6.9).

Graphique 6.8. **Taxation des émissions de NO_x dans quelques pays de l'OCDE, 2010**



Note : « Haut » représente le taux maximum applicable pour un pays (c'est-à-dire en fait le taux standard), et « Bas » le taux minimum applicable dans une juridiction (il est généralement fonction du moment, de l'endroit et de la façon dont les émissions se produisent). Pour l'Australie, NGS désigne l'État de Nouvelle-Galles du Sud et TCA le Territoire de la capitale australienne ; pour l'Espagne, Castille-La Manche renvoie à la communauté autonome de Castille-La Manche ; pour les États-Unis, ME fait référence à l'État du Maine ; enfin, pour le Canada, CB désigne la province de Colombie-Britannique.

Source : Base de données OCDE-AEE sur les taxes liées à l'environnement, disponible à l'adresse *www.oecd.org/env/policies/database*.

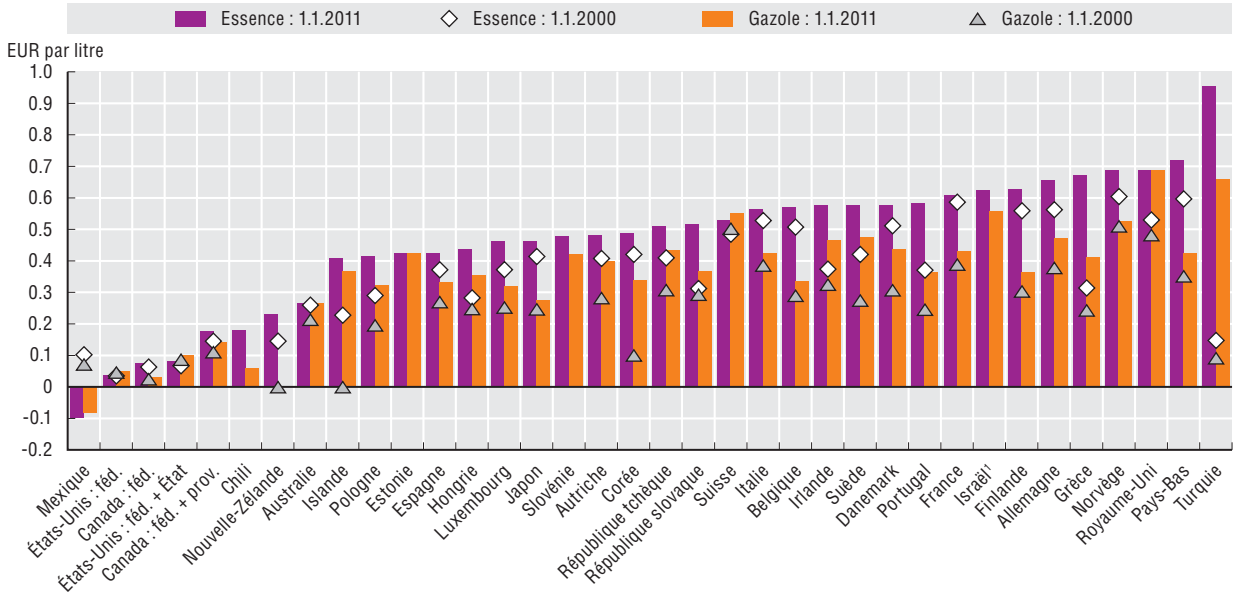
StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594959

Comme les émissions de NO_x des véhicules diesel sont très supérieures à celles des véhicules à essence[6], la part relative de ces deux catégories de motorisation dans le parc de véhicules revêt une grande importance pour la qualité atmosphérique locale. Le taux de taxation préférentiel dont le gazole bénéficie dans la plupart des pays par rapport à l'essence est l'un des facteurs expliquant l'augmentation de la part des véhicules diesel.

L'une des grandes raisons qui expliquent cette préférence donnée aux véhicules diesel est l'accent mis, de plus en plus, sur la taxation différenciée des émissions de dioxyde de carbone (CO_2) des véhicules. Les moteurs diesel étant plus sobres en énergie, les véhicules qui en sont équipés émettent en général moins de CO_2 par kilomètre que les véhicules à essence. Mais cet avantage est entièrement « internalisé », c'est-à-dire que le conducteur d'un véhicule diesel tire directement parti de l'économie réalisée. Un taux préférentiel de taxation paraît donc injustifié à cet égard. D'autre part, chaque litre de gazole génère des émissions de CO_2 plus élevées qu'un litre d'essence. Par ailleurs, les inconvénients des véhicules diesel en termes d'émissions de NO_x ne sont pas internalisés, puisque leur impact négatif sur la santé n'est pas supporté par le conducteur, mais par la société. Il n'existe pour les conducteurs aucune incitation économique à prendre en compte cet impact lorsqu'ils achètent un véhicule.

L'évolution vers les véhicules diesel, que favorise l'attention particulière accordée aux émissions de CO_2 dans la taxation des véhicules à moteur, pourrait être « rectifiée ». C'est ce qu'Israël a récemment fait en intégrant à la taxation des achats de véhicules un système

Graphique 6.9. **Taxation de l'essence et du gazole dans les pays de l'OCDE, 2000 et 2011**



1. Les données statistiques concernant Israël sont fournies par les autorités compétentes israéliennes et sous leur responsabilité. L'utilisation de ces données par l'OCDE est sans préjudice du statut des hauteurs du Golan, de Jérusalem-Est et des colonies de peuplement israéliennes en Cisjordanie aux termes du droit international.

Source : Base de données OCDE/AEE sur les taxes liées à l'environnement, disponible à l'adresse *www.oecd.org/env/policies/database*.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594978

progressif de remises qui prend *aussi* en compte les émissions de monoxyde de carbone (CO), de HC, de NO_x et de PM_{10}[7]. Cette mesure pourrait avoir un impact significatif sur la composition du parc de véhicules en Israël, en particulier parce que la taxe sur les véhicules est déjà assez élevée dans ce pays.

Lorsque l'on examine les options qui s'offrent aux pouvoirs publics pour réduire les émissions des véhicules à moteur, il convient de noter que les normes des émissions (et les taxes ponctuelles lors de l'immatriculation des véhicules) portent uniquement sur les émissions des nouveaux véhicules, alors qu'une part très importante des émissions de polluants aériens provient des véhicules âgés. D'un autre côté, la taxation des carburants peut influer sur les émissions des véhicules âgés en orientant leur niveau d'utilisation. En outre, l'utilisation des véhicules à moteur sur de plus longues distances a neutralisé les effets positifs liés à leur plus grande efficacité en termes de consommation de carburant. Les mesures combinées qui sont prises pour traiter le problème des émissions des véhicules à moteur doivent donc aussi ouvrir la possibilité de diminuer les distances parcourues grâce à un transfert vers d'autres modes de transport (par exemple en favorisant les transports publics afin de diminuer l'usage des véhicules particuliers). Il convient aussi d'encourager l'évolution des comportements dans les modèles économiques et les modes de vie (covoiturage, téléconférences, télétravail, etc.).

Comparaison des coûts et des avantages de la législation sur la pollution de l'air

Dans les différentes études qui ont été effectuées pour quantifier la valeur économique des avantages sanitaires que comporte la législation sur la pollution de l'air, c'est souvent la notion de décès prématurés évités qui prédomine. À titre d'exemple, l'Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis a étudié les avantages et les

coûts de toutes les politiques d'atténuation menées au titre des CAAA de 1990. Elle a estimé qu'on dénombrerait 1.9 million d'années de vie gagnées d'ici 2020 et que les avantages des CAAA dépassaient leur coût d'un facteur 28 (EPA, 2010).

Une étude britannique de l'*Inter-departmental Group on Costs and Benefits* a constaté les avantages induits par différentes mesures publiques de lutte contre les émissions des transports (DEFRA, 2007). Selon cette analyse, les mesures consistant à organiser la mise à la casse des véhicules âgées étaient les moins préférables. D'un autre côté, les avantages nets des mesures de réduction des émissions particulaires étaient avérés quelle que soit l'action menée. Cependant, les avantages nets des mesures de réduction des émissions d'ozone se révèlent négatifs pour nombre – sinon la plupart – des mesures examinées.

L'Agence européenne pour l'environnement (AEE, 2010) a constaté des diminutions significatives des émissions à la suite de l'introduction dans le secteur du transport routier, au début des années 90, des normes européennes d'émission des véhicules (les « normes Euro »), en particulier pour le CO et les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM). En 2005, les émissions de CO étaient inférieures de 80 %, et celles de COVNM de 68 %, aux projections obtenues en l'absence de politique nouvelle. Les émissions de NO_x étaient quant à elles inférieures de 40 %, et les émissions de $PM_{2.5}$ de 60 %, la baisse ayant débuté au milieu des années 90. Carslaw *et al*. (2011) soupçonnent toutefois un certain optimisme dans les estimations que fait l'AEE des émissions de NO_x imputables aux véhicules à moteur.

L'AEE a également noté, à la suite des directives communautaires relatives à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution et aux grandes installations de combustion, une baisse des émissions industrielles de NO_x entre 1990 et 2005. Elles se sont toutefois plus ou moins stabilisées depuis lors. La baisse des émissions de SO_2 a été plus forte. On estime que la réduction des émissions particulaires dues à la combustion industrielle a été plus importante que celle du secteur des transports routiers, et particulièrement marquée dans les grandes régions industrialisées telles que l'Allemagne, la vallée du Pô en Italie, les Pays-Bas et la Pologne. Par rapport à un scénario sans politique nouvelle, les avantages sanitaires de cette baisse des émissions de $PM_{2.5}$ équivalent à une diminution des années de vie perdues (AVP) d'environ 60 %.

Autres mesures à prendre

Exploiter au mieux les synergies des mesures publiques

Les politiques qui poursuivent plusieurs objectifs (environnementaux, sociaux ou économiques) peuvent contribuer à optimiser les avantages dégagés. Des possibilités de ce genre existent dans le domaine de l'atténuation du changement climatique et de l'amélioration de la santé humaine, car certains polluants atmosphériques néfastes sont aussi des gaz à effet de serre (GES) (encadré 6.3). Les réductions des émissions de GES ont un effet de long terme sur le changement climatique, tandis que les avantages d'une réduction de la pollution atmosphérique locale sont susceptibles d'être ressentis plus rapidement. Le constat est aussi valable dans l'autre sens, dans la mesure où les objectifs de réduction de la pollution atmosphérique locale sont susceptibles d'avoir des effets positifs à long terme sur le changement climatique.

Par exemple, une réglementation des émissions de méthane – un GES très puissant qui est aussi un précurseur de la formation d'ozone – pourrait être bénéfique à la fois pour la santé humaine et pour la lutte contre le changement climatique. Comme les concentrations

Encadré 6.3. **Polluants atmosphériques et gaz à effet de serre**

La pollution de l'air et le changement climatique sont des problèmes environnementaux étroitement liés. La consommation d'énergie et les transports constituent dans l'un et l'autre cas des causes importantes et il est probable que les mesures prises pour lutter contre le changement climatique ont des avantages connexes très importants en matière de réduction de la pollution de l'air et de ses effets indésirables sur la santé et les écosystèmes.

Les polluants courants jouent un rôle dans le changement climatique et la pollution atmosphérique. L'ozone troposphérique est un important GES. La réduction des émissions des précurseurs de l'ozone que sont le méthane (CH_4) et le monoxyde de carbone (CO) – qui sont tous deux des GES directs et indirects (*via* la formation de CO_2) – contribuerait à diminuer les concentrations d'ozone et à atténuer le changement climatique. Comme le carbone noir, le méthane est considéré comme un « agent de forçage climatique éphémère », car il ne persiste dans l'atmosphère que pendant une douzaine d'années, soit bien moins longtemps que le dioxyde de carbone. Le méthane vient aussi en deuxième place, derrière le dioxyde de carbone, des contributeurs les plus importants au réchauffement climatique d'origine anthropique (Forster *et al*., 2007).

Les particules de carbone noir absorbent le rayonnement solaire et peuvent, en réfléchissant la lumière infrarouge, contribuer au réchauffement climatique. Cet effet se poursuit après le dépôt de particules de carbone noir sur des surfaces enneigées ou glacées, dont l'assombrissement favorise une plus grande absorption de lumière solaire, entraînant ainsi la poursuite de la fonte (voir le chapitre 3).

Les particules formées à partir de SO_2 et NO_x peuvent aussi agir sur le climat, directement par réflexion ou absorption de la lumière solaire, et indirectement en agissant comme des noyaux de condensation nuageuse. Ce type d'aérosol a en général un effet net de refroidissement sur l'atmosphère.

d'ozone troposphérique varient selon la région, les politiques d'atténuation présenteraient des avantages tant au niveau du climat mondial qu'au niveau régional, en termes non seulement de réduction des taux d'asthme et de mortalité, mais aussi d'accroissement du rendement des récoltes (voir le chapitre 3 sur le changement climatique).

Il existe de nombreux exemples d'interventions publiques axées sur la réduction du méthane. Parmi elles figurent la modification des pratiques agricoles, le colmatage des fuites des canalisations et des équipements de stockage du gaz naturel, et la capture du méthane des décharges. Elles permettent souvent d'économiser des coûts et sont, dans certains cas, source de profits car le méthane a une valeur marchande en tant que composante principale du gaz naturel (EPA, 2006). Le méthane figure sur la liste des gaz visés par le protocole de Kyoto et est donc couvert par le Mécanisme pour un développement propre (CDM) de ce protocole (voir le chapitre 3). De nombreux projets du CDM ont prouvé que la réduction du méthane pouvait être rentable, et constituer une source de recettes pour les pays en développement et les personnes en charge des projets de construction (Clapp *et al*., 2010).

Cependant, si différentes possibilités existent de créer des mesures « gagnant-gagnant » – permettant de s'attaquer simultanément aux impacts de la pollution atmosphérique sur le changement climatique et sur la santé – des compromis peuvent aussi, dans certains domaines, être nécessaires (encadré 6.4).

Encadré 6.4. **Assurer la cohérence des politiques de lutte contre le changement climatique et la pollution de l'air : le cas de la pollution de l'air intérieur**

En 2000, quelque 2.9 milliards d'individus, habitant pour la plupart en Asie et en Afrique subsaharienne, utilisaient des combustibles traditionnels (bois de chauffage et bouses de vache, par exemple) pour cuisiner (AIE, 2010). Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* indique que l'emploi de combustibles solides continuera d'augmenter en Afrique subsaharienne jusqu'en 2030 (graphique 6.10,

Graphique 6.10. **Utilisation de combustibles solides et nombre de décès prématurés correspondants : *scénario de référence*, 2010-2050**



Note : La méthodologie employée pour modéliser l'impact de l'exposition à la pollution de l'air intérieur présente certaines incertitudes, notamment lorsqu'il s'agit d'inférer à partir des données concernant l'usage domestique d'énergie les différents niveaux d'exposition à l'utilisation de combustibles solides. En effet, les sources de données sous-jacentes (OMS, AIE) s'appuient sur des définitions différentes. Les données de l'OMS portent sur la source d'énergie principale, tandis que celles de l'AIE englobent l'usage total de combustibles solides. En outre, le degré d'exposition peut être fortement modifié par l'utilisation d'une cuisinière moins polluante ou certaines pratiques d'aération élémentaires comme le fait d'ouvrir une fenêtre pendant la préparation des repas, mais ces facteurs ne sont pas pris en compte par manque de données à cet égard.

1. La région Afrique subsaharienne ne comprend pas l'Afrique du Sud.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932594997

Encadré 6.4. **Assurer la cohérence des politiques de lutte contre le changement climatique et la pollution de l'air : le cas de la pollution de l'air intérieur** *(suite)*

partie A). Toutefois, les économies émergentes que sont le Brésil, l'Inde, l'Indonésie, la Chine et l'Afrique du Sud ont commencé dans les années 90 à moins dépendre des combustibles solides traditionnels pour la cuisine et le chauffage, une évolution baissière qui devrait perdurer tout au long des 40 prochaines années. Le *scénario de référence* prévoit dans les décennies à venir la baisse progressive, à l'échelle planétaire, des décès provoqués par l'utilisation de ces combustibles (graphique 6.10, partie B). Cette évolution découlera de l'amélioration des revenus (c'est-à-dire de la possibilité accrue d'acheter des combustibles plus propres) et des services de santé. Si l'on attend une baisse des décès dus à des infections respiratoires en Asie du Sud et en Afrique subsaharienne, le nombre de décès liés aux BPCO devrait progresser en Asie du Sud-Est et du Sud à cause, pour l'essentiel, du vieillissement de la population.

Il est possible que les politiques d'atténuation du changement climatique entraînent une hausse des prix mondiaux des sources d'énergie à base de combustibles fossiles telles que le kérosène et le gaz de pétrole liquéfié. Si cela devait se produire, les ménages pauvres pourraient trouver ces combustibles plus propres trop chers, ce qui compliquerait leur abandon des sources d'énergie traditionnelles. Le nombre projeté de décès prématurés pourrait alors augmenter. À titre d'illustration, les impacts sur les décès prématurés liés à la pollution de l'air intérieur ont été évalués pour simuler les résultats d'une action des pouvoirs publics visant à stabiliser le climat au moyen d'une taxe carbone mondiale s'appliquant à tous les usagers d'énergie, ménages compris (voir le chapitre 3 consacré au changement climatique). Selon cette simulation stylisée, une hausse du coût de l'énergie gonflerait de 300 millions le nombre de personnes n'ayant pas accès aux sources d'énergie modernes en 2050. Il en résulterait à la même échéance un surcroît de 300 000 décès prématurés par rapport aux projections du *scénario de référence*. Il faudrait, pour empêcher un tel résultat incompatible, orienter des mesures vers la fourniture d'énergies alternatives propres aux ménages pauvres. Il peut s'agir de partenariats public-privé tel que la *Global Alliance for Clean Cookstoves*, pour faciliter l'utilisation de cuisinières nouvelle génération qui chauffent davantage et plus efficacement, ou de mesures de sensibilisation à l'importance d'un intérieur bien aéré.

Les pays de l'OCDE sont également concernés par d'autres sources de pollution de l'air intérieur comme l'humidité, la moisissure, les résidus de combustion produits par les appareils de chauffage et de cuisine, et les substances chimiques émanant des produits. Par ailleurs, le changement climatique contraint quelquefois à des aménagements pour protéger les bâtiments contre les conditions extérieures (c'est le cas notamment des bâtiments à forte étanchéité), ce qui peut affecter l'air intérieur et augmenter l'exposition des résidents aux polluants présents dans cet air.

Bien doser les politiques

Les avantages sanitaires directs de la réduction de la pollution de l'air s'accompagnent d'avantages économiques tels qu'une hausse de la productivité des individus touchés et de leurs aidants, une diminution des dépenses pharmaceutiques et médicales, et une réduction des dépenses liés aux comportements visant à éviter l'exposition aux polluants (en évitant les zones polluées, en achetant des dispositifs de filtration, etc.). Tarifer ces polluants entraîne des conséquences positives non seulement sanitaires, mais aussi économiques. Les instruments de marché tels que la taxation et les permis négociables sont les moyens les plus directs pour tarifer la pollution. Par rapport à d'autres mesures, leur grand avantage tient à ce qu'ils agissent à tous les niveaux, et stimulent l'invention, la diffusion et l'adoption de technologies environnementales (voir OCDE, 2010a).

Face à la pollution de l'air, l'une des difficultés tient au fait que de nombreux secteurs qui en sont à l'origine (fourniture d'électricité, transports) présentent des caractéristiques imposant des réformes plus larges (OCDE, 2011b). Longue durée de vie des infrastructures

physiques, interdépendance de divers éléments dans la prestation des services et complexité du contexte réglementaire sont autant de freins sur la voie d'une croissance verte, qui reste onéreuse si l'action se limite à tarifer la pollution et omet les mesures incitatives. Le soutien ciblé de la R-D concernant les technologies d'atténuation peut par exemple être un complément efficace. Très probablement inefficient sur le plan économique s'il est employé isolément, il peut diminuer les coûts d'atténuation en accompagnement de politiques de tarification directe de la pollution (Popp, 2006 ; OCDE, 2009b). La coordination des différentes sphères d'action et une vision claire de l'avenir s'abstenant de favoriser les opérateurs historiques au détriment des nouveaux entrants sont indispensables.

Il est essentiel, pour susciter cette transition, d'encourager l'innovation dans le domaine des technologies d'atténuation de la pollution. Les modalités de l'intervention publique doivent être suffisamment souples pour inciter les innovateurs à consacrer des ressources au recensement des solutions les moins coûteuses, en donnant aux entreprises et aux ménages la possibilité d'adopter les technologies les mieux adaptées à leur situation. En outre, le cadre de l'action publique doit présenter un caractère prévisible, afin de réduire l'incertitude associée aux investissements risqués qui sont nécessaires pour concevoir des solutions novatrices (OCDE, 2011b ; Johnstone *et al.*, 2010). Les innovations en matière d'organisation et de comportement ont aussi un rôle important à jouer à cet égard.

Et si… la réduction des émissions polluant l'air atteignait 25 % ?

Une intervention publique consistant par hypothèse à atténuer la pollution de l'air en réduisant jusqu'à 25 % les émissions de NO_x, de SO_2 et de carbone noir a fait l'objet d'une simulation. Ce scénario de *réduction de 25 % de la pollution atmosphérique* estime le nombre de décès prématurés évités par rapport au *scénario de référence* dans lequel aucune politique nouvelle n'est appliquée d'ici 2050 (pour de plus amples détails, voir l'annexe 6.A)[8].

Ce scénario laisse entendre que la moitié environ de l'ensemble des réductions d'émissions proviendrait des mesures prises en bout de chaîne : extracteurs sur les cheminées et convertisseurs catalytiques sur les pots d'échappement automobiles (tableau 6.4). La proportion est un peu plus élevée dans les BRIICS et dans le « reste du monde » car de nombreux pays de l'OCDE, ayant déjà mis en œuvre des mesures en bout

Tableau 6.4. **Impacts du scénario de *réduction de 25 % de la pollution atmosphérique*, 2030 et 2050**[1]

			OCDE	BRIICS	Reste du monde	Monde
2030	Dosage des politiques	En bout de chaîne[3] (%)	47	51	56	51
		Structurelles[3] (%)	53	49	44	49
	Réduction du CO_2[2] (%)		–5.4	–6.4	–1.4	–5.1
	Nombre de décès évités[2]		11 246	64 566	14 446	90 258
		Ratio avantages/coûts	~1	1.8	0.7	1.5
2050	Dosage des politiques	En bout de chaîne[3] (%)	48	60	54	56
		Structurelles[3] (%)	52	40	46	44
	Réduction du CO_2[2] (%)		–7.9	–7.4	–1.8	–5.1
	Nombre de décès évités[2]		17 754	119 238	40 302	177 294
		Ratio avantages/coûts	1.5	10	0.75	4.1

1. Polluants = NO_x, SO_2 et carbone noir.
2. Par rapport au *scénario de référence*.
3. Répartition des mesures.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

de chaîne, s'intéressent aujourd'hui à d'autres approches (le rendement énergétique par exemple). Cette distinction est importante car les avantages connexes des mesures structurelles sont en général plus marqués dans le cas des émissions ayant un impact sur le changement climatique, ces mesures se traduisant par une baisse de 5 % des émissions mondiales de CO_2 par rapport au *scénario de référence* en 2030 et 2050.

Les projections concernant les avantages sanitaires, sous la forme de décès évités, sont plus élevées dans les BRIICS, aussi bien en 2030 qu'en 2050, que dans le *scénario de référence*. Ces gains sanitaires pourraient être encore plus importants si des politiques supplémentaires introduites dans d'autres secteurs étaient prises en compte dans l'analyse (par exemple des mesures concernant le brûlage forestier et les transports). Toutefois, malgré les réductions assez importantes d'émissions prévues dans cette simulation, le nombre de décès évités serait relativement modeste par rapport au *scénario de référence*. Cela tient peut-être au fait que dans certaines villes, en particulier asiatiques, les niveaux de concentration prévus dans le *scénario de référence* sont bien supérieurs au seuil maximum et que, par conséquent, d'énormes efforts de réduction seraient nécessaires pour obtenir des résultats sanitaires positifs. En outre, le développement de l'urbanisation prévu pendant les 40 prochaines années, ainsi que la forte augmentation du nombre de personnes âgées (groupe le plus vulnérable), entraîneront probablement une augmentation du nombre de décès prématurés, toutes choses égales par ailleurs. Globalement, on peut estimer que des réductions encore plus grandes seraient nécessaires pour exercer un impact significatif sur le nombre croissant de décès prématurés.

Si l'on procède à une estimation grossière pour chaque région (voir l'annexe 6.A), le rapport coûts-avantages serait plus favorable dans les BRIICS, puis dans les pays de l'OCDE et le reste du monde, et les avantages seraient plus élevés en 2050 qu'en 2030. Il importe toutefois de noter que les valeurs des avantages sont *fortement dépendantes* de la valeur de la vie statistique (VVS) utilisée dans l'estimation[9], et qu'elles ne prennent pas en compte la réduction de la morbidité (pour de plus amples détails, voir l'annexe 6.A).

3. Approvisionnement en eau non potable et défaut d'assainissement

Impacts sur la santé humaine

En 2004, l'approvisionnement en eau non potable et le défaut d'assainissement, ainsi que l'exposition associée à des micro-organismes pathogènes, ont été responsables – du fait principalement de diarrhées – de quelque 1.6 million de décès et de 6.3 % des années de vie corrigées de l'incapacité (AVCI) à l'échelle mondiale (OMS, 2009a). Les enfants sont les plus touchés, avec 20 % d'AVCI parmi les moins de 14 ans et 30 % de décès chez les moins de 5 ans (Prüss-Üstün *et al.*, 2008). Environ 88 % des décès diarrhéiques sont dus dans le monde à l'insalubrité de l'eau, au défaut d'assainissement et au manque d'hygiène, et 99 % d'entre eux concernent les pays en développement (OMS, 2009a). Outre les tragédies personnelles qu'elles représentent, ces pertes ont un coût financier important pour ces pays. Si l'on considère le seul cas de l'Afrique, les pertes économiques dues au manque d'accès à l'eau potable (c'est-à-dire propre à la consommation humaine) et à l'assainissement représentent chaque année environ 5 % du PIB (ONU-WWAP, 2009). Cette partie abordera l'*impact sanitaire* de l'insalubrité de l'eau et du défaut d'assainissement. Les données utilisées apparaissent aussi au chapitre 5 de ces *Perspectives*, lequel met davantage l'accent sur l'*accès* à des sources d'eau améliorées et à l'assainissement de base.

Principales tendances et projections en matière d'eau et d'assainissement

Données actuelles et tendances passées

L'approvisionnement en eau et l'assainissement peuvent être classés en trois niveaux de service : absence de couverture ; services « améliorés » (bornes-fontaines et puits forés publics) ; et raccordement des ménages. Chaque catégorie présente un potentiel spécifique de risque diarrhéique (Cairncross et Valdmanis, 2006). Ces degrés de risque dépendent des niveaux d'urbanisation, de revenu et de population. Il ne faut pas négliger de souligner la qualité sanitaire de l'eau fournie (encadré 6.5), car une amélioration des services d'approvisionnement en eau par le raccordement des ménages ne s'accompagnent pas nécessairement de l'amélioration de la qualité sanitaire de l'eau. Aujourd'hui, près de 900 millions d'individus n'ont pas accès à des sources d'eau améliorées, et 2.6 milliards de personnes à un assainissement de base (voir le chapitre 5). Dans les pays en développement, plus de 80 % des eaux usées sont rejetés non traitées dans des plans d'eau (ONU-WWAP, 2009). Environ 70 % de la population mondiale privée d'assainissement vit en Asie (OMS/UNICEF, 2010). Parmi les différentes régions de la planète, l'Afrique subsaharienne est celle qui a progressé le plus lentement vers l'assainissement : 31 % seulement de ses habitants avaient accès à un assainissement amélioré en 2006.

Encadré 6.5. **Un mot sur l'analyse de l'eau dans les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE***

Les projections de taux de raccordement à l'approvisionnement en eau et à l'assainissement établies par le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* reposent sur un modèle de régression qui utilise des données nationales issues du programme commun de surveillance de l'OMS/UNICEF (JMP ; voir l'annexe du chapitre 5). Les impacts sanitaires reposent sur les risques relatifs recensés dans les travaux spécialisés, en prenant en compte à la fois l'augmentation des risques liée à l'élévation des températures et au nombre d'enfants présentant une insuffisance pondérale et la réduction possible des risques sous l'effet de certaines interventions comme, par exemple, les thérapeutiques de réhydratation orale.

La catégorie d'accès « amélioré » ou « de qualité » à un système d'alimentation en eau et d'assainissement englobe un large éventail de types de raccordement possibles, dont on présuppose que chacun présente le même niveau de risque sanitaire potentiel. L'analyse se limite à deux catégories d'urbanisation – urbaine et rurale. Cette taxinomie peut ne pas rendre compte de toutes les situations urbaines (bidonvilles, zones plus prospères, etc.). Si la multiplication des raccordements à l'eau et à l'assainissement peut s'avérer plus facile en zone urbaine, l'urbanisation croissante n'engendre pas toujours davantage de raccordements, et peut au contraire augmenter les risques sanitaires, lorsque par exemple les conditions urbaines sont moins favorables. D'une manière générale, on manque de données empiriques combinées sur les différentes catégories de raccordement aux services d'eau et d'assainissement, bien que les risques sanitaires soient spécifiquement liés aux différentes combinaisons des deux types de services. Nous faisons donc l'hypothèse d'une absence d'interdépendance entre eux, laquelle peut entacher l'estimation des risques sanitaires.

Il importe aussi de noter le fait que les données relatives à l'accès aux services d'eau et d'assainissement, telles que les recense le JMP, ne mesurent pas l'accès à l'eau potable. Le JMP mesure l'accès à des technologies précises d'approvisionnement en eau et d'assainissement, et non la qualité effective de service dont dispose la population. Les projections qui ont été faites dans les présentes *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* reposent sur les données du JMP et, par conséquent, surestiment aussi ces taux de couverture. Le nombre d'individus dépourvus d'accès à l'eau potable est incertain, mais au moins dix fois supérieur à celui des personnes privées d'accès à une source d'eau améliorée.

La part de la population des pays de l'OCDE reliée à une station publique d'épuration des eaux usées est passée de 50 % au début des années 80 à près de 70 % en 2010 (voir le chapitre 5). La situation varie toutefois selon le pays, notamment en termes de sophistication du traitement des eaux usées : certains pays ont mis en place une épuration secondaire et tertiaire[10], tandis que d'autres n'ont pas encore parachevé leur réseau d'assainissement ou l'installation de stations d'épuration de première génération. Plusieurs pays ont trouvé des moyens écologiques et économiques pour traiter les eaux usées de petits établissements isolés.

Projections

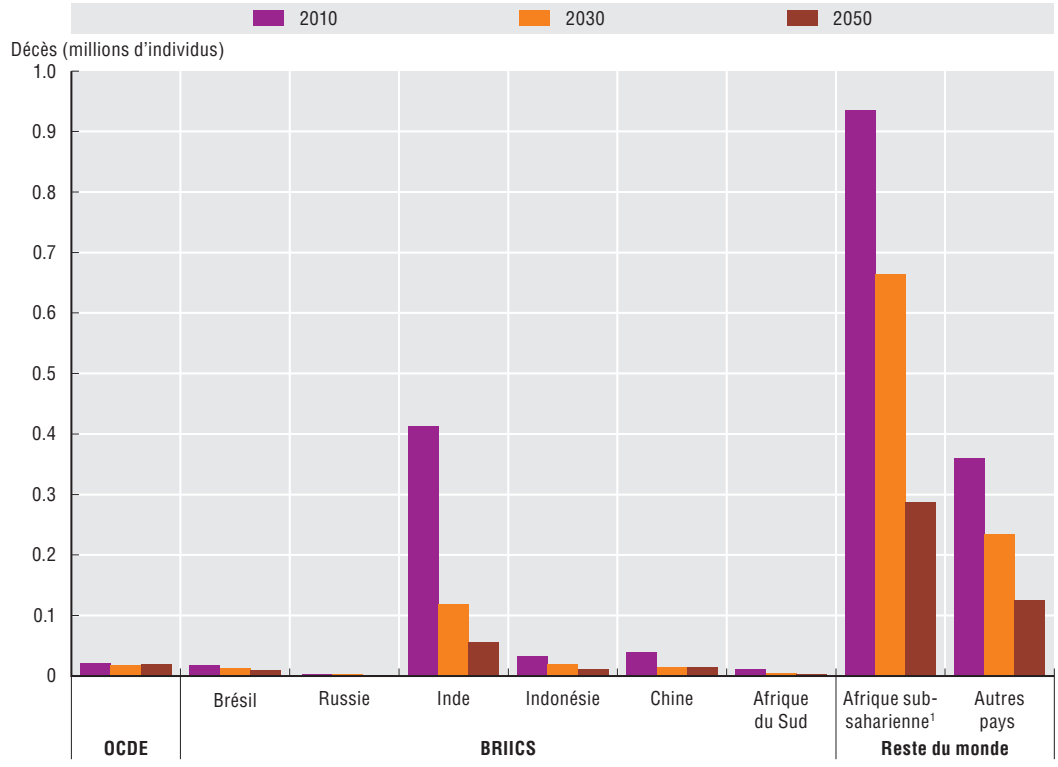
Les Objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) fixent des cibles de développement humain. L'une de ces cibles (7.C) est de « réduire de moitié d'ici 2015 le pourcentage de la population qui n'a pas accès de façon durable à un approvisionnement en eau potable ni à des services d'assainissement de base ».

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* prévoit que si les tendances actuelles perdurent, la planète prise dans son ensemble pourrait atteindre l'objectif de salubrité de l'eau de boisson d'ici 2015, même si ce résultat sera principalement imputable aux progrès rapides de grandes économies émergentes telles que la Chine et l'Inde. Il est probable que d'autres régions – comme l'Afrique subsaharienne – ne rempliront pas cet objectif. Le nombre d'habitants des villes privés d'accès à une source d'eau améliorée a en fait augmenté entre 1990 et 2008, car l'urbanisation a été plus vite que les progrès de cet accès. Selon le *scénario de référence*, l'accès à une eau de meilleure qualité devrait être universel dans les pays de l'OCDE et dans les BRIICS d'ici 2050.

Les progrès de l'assainissement sont plus lents : le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* prévoit que si les tendances actuelles perdurent, l'objectif d'assainissement des OMD ne sera pas rempli. En effet, d'ici 2030, plus de deux milliards d'individus seront dépourvus d'installations d'assainissement de base, et ils seront encore 1.4 milliard à l'horizon 2050. En 2030, la majorité des personnes concernées vivront dans un pays qui ne fait partie ni de la zone OCDE, ni des BRIICS (c'est-à-dire pour l'essentiel dans un pays en développement), et cette proportion poursuivra sa progression au cours des deux décennies suivantes. Comme le montrent les graphiques 5.12 et 5.13 du chapitre 5, la grande majorité des personnes n'ayant pas accès à l'eau et à l'assainissement à l'heure actuelle vivent en milieu rural. Selon les projections, cette tendance devrait se poursuivre jusqu'en 2050, date à laquelle le nombre de ruraux sans accès à l'assainissement devrait être comparable à celui des citadins se trouvant dans cette situation.

Avec un meilleur accès à un approvisionnement en eau amélioré et à des installations d'assainissement de base, le *scénario de référence* prévoit au cours des décennies à venir une diminution de la mortalité infantile d'origine diarrhéique (graphique 6.11). L'hypothèse est faite ici que l'urbanisation croissante facilitera et rendra moins onéreux, *d'une manière générale*, le raccordement des habitants à l'approvisionnement en eau et aux installations d'assainissement ; qu'une plus forte croissance économique relèvera le niveau de vie de base (y compris l'accès à des traitements médicaux) ; et que le nombre d'individus les plus vulnérables face à l'insalubrité de l'eau et au défaut d'assainissement (enfants de moins de cinq ans) baissera du fait du vieillissement continu de la population de la plupart des pays, y compris en développement. Malgré ces hypothèses, il importe de noter que l'urbanisation croissante peut dans certains cas amplifier les défis liés à l'eau (comme par exemple la gestion des eaux usées et de l'eau dans les bidonvilles), avec de graves conséquences pour la santé humaine.

Graphique 6.11. **Décès prématurés d'enfants dus à l'insalubrité de l'eau ou à un défaut d'assainissement : *scénario de référence*, 2010-2050**



1. La région Afrique subsaharienne ne comprend pas l'Afrique du Sud.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932595016

On suppose qu'à l'avenir, les améliorations de l'approvisionnement en eau de boisson interviendront avant celles de l'assainissement, puisqu'à l'heure actuelle le niveau des services d'approvisionnement en eau est supérieur à celui des services d'assainissement dans la quasi-totalité des pays. La couverture moyenne de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement devrait progresser sans discontinuer au cours des deux décennies à venir, entraînant aussi un recul des décès d'enfants dus à des diarrhées.

Autres mesures à prendre

Investir dans l'approvisionnement en eau et l'assainissement

L'accès à l'eau potable et à l'assainissement est porteur d'avantages économiques, environnementaux et sociaux. Le rapport avantages-coûts peut s'élever à 7, a-t-on estimé, dans les pays en développement (chiffre de l'OMS cité dans OCDE, 2011c). Les trois quarts de ces avantages résultent de gains de temps obtenus dans la collecte de l'eau, qui permettent d'éviter de longues marches et de longues queues à la source. Les autres avantages proviennent en grande partie de la diminution des maladies d'origine hydrique et, en particulier, de la réduction de l'incidence de la diarrhée, du paludisme et de la dengue. Une étude de Whittington *et al.* (2009) fondée sur des données d'enquête estime que le coût éludé en termes de maladies représenterait 1 USD par mois et par ménage, ce qui est bien inférieur au coût de l'amélioration des services d'eau et d'assainissement, évalué à près de 4 USD par mois par Pattanayak *et al.* (2005). Il convient donc de prendre

aussi en compte les avantages non sanitaires lorsqu'on cherche à estimer l'ensemble des avantages résultant d'un meilleur accès à l'eau et à l'assainissement. Ces avantages sont synonymes de temps gagné pour l'éducation et de productivité accrue de la main-d'œuvre.

Les spécialistes de la santé sont divisés sur la question de savoir si la quantité ou la qualité de l'eau est le facteur déterminant de l'accroissement des avantages sanitaires. Pour Cairncross et Valdmanis (2006), la plupart des avantages liés à l'approvisionnement en eau peuvent être attribués à l'amélioration de la facilité d'accès à l'eau d'un point de vue quantitatif. D'autres spécialistes considèrent que la qualité de l'eau est le facteur décisif pour l'amélioration des avantages sanitaires. Waddington *et al.* (2009) soulignent le fait que si les actions sur l'approvisionnement en eau semblent sans effet puisque leur impact moyen sur la morbidité diarrhéique est négligeable ou insignifiant, les interventions visant la qualité de l'eau peuvent diminuer de 40 % l'incidence diarrhéique chez l'enfant. Prüss *et al.* (2002) indiquent que des solutions de traitement sur le lieu de consommation (comme par exemple le fait de faire bouillir l'eau) peuvent renforcer de manière significative l'impact des actions visant l'approvisionnement en eau, en réduisant de 45 %, estime-t-on, les taux de diarrhée. Ces analystes sont d'avis que la mise en place de mesures de traitement sur le lieu de consommation est plus efficace que le traitement à la source.

La plupart des pays de l'OCDE ont beaucoup progressé en la matière à la fin du XIXe siècle ou au début du XXe siècle, lorsque les infrastructures de base d'approvisionnement en eau et d'assainissement ont été étendues à de bien plus larges pans de la population. Par exemple, la mise en place de la chloration et de la filtration dans 13 très grandes villes des États-Unis au début du XXe siècle a entraîné de nettes diminutions de la mortalité, avec un ratio avantages-coûts de 23 pour la société et une économie de quelque 500 USD par personne en 2003 (OCDE, 2011c). Néanmoins, l'expérience des pays de l'OCDE montre que le taux de rendement des interventions en faveur de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement diminue à mesure que se sophistiquent les mesures.

Les avantages de l'épuration des eaux usées n'apparaissent pas de manière évidente au public, et sont plus difficiles à évaluer en termes monétaires. On peut toutefois trouver quelques éléments révélateurs dans des études de cas. Par exemple, les avantages sanitaires de l'amélioration de la qualité des eaux à usage récréatif dans le sud-ouest de l'Écosse ont été estimés à 1.3 million GBP par an (Hanley *et al.*, 2003).

L'incertitude liée à la valorisation économique des impacts sanitaires de l'insalubrité de l'eau et du défaut d'assainissement reste problématique. Les données sont rares, et lorsqu'elles existent, par exemple en matière d'avantages sanitaires, leur fiabilité est mise en cause par les experts. De plus, les préoccupations sanitaires varient selon le type de l'infrastructure aménagée et le mode d'utilisation de l'eau (encadré 6.6). Il faut des informations plus fiables pour constituer un dossier politique solide justifiant les interventions. Enfin, comme les avantages des investissements complémentaires dans les services concernant l'eau diffèrent selon le pays, des évaluations locales sont nécessaires.

Et si… l'accès à des sources d'eau améliorées et à l'assainissement de base devenait universel en 2050 ?

Nous avons déjà présenté au chapitre 5 le scénario d'*accès accéléré*, simulation à base d'hypothèses visant à estimer le coût annuel supplémentaire escompté et les avantages sanitaires d'un accès universel, réalisé d'ici 2050, à des sources d'eau améliorées et à un assainissement de base. Par comparaison avec le *scénario de référence* qui postule l'absence de toute politique nouvelle, cette simulation comprend : *i)* la diminution de moitié, d'ici 2030, de

Encadré 6.6. **Surmonter les problèmes sanitaires entourant la réutilisation et le recyclage de l'eau**

De plus en plus, la réutilisation de l'eau (qu'il s'agisse d'eaux usées traitées ou d'eaux grises*) est considérée comme une solution viable pour certains usages de l'eau, à savoir essentiellement l'irrigation, la recharge des nappes souterraines et, potentiellement, les usages domestiques ne nécessitant pas d'eau potable. Elle offre la possibilité de traiter l'écart croissant qui existe entre l'augmentation de la demande et les ressources en eau disponibles, aussi bien dans les pays de l'OCDE que dans les pays en développement. Elle peut provenir de systèmes centralisés ou décentralisés.

Le marché de la réutilisation de l'eau est en plein développement. De plus, les économies émergentes et les zones rurales accumulent de l'expérience en matière d'infrastructures décentralisées pour les services d'approvisionnement en eau et d'assainissement ; la chose est moins vraie dans les zones urbaines des pays de l'OCDE. L'Australie, l'Espagne, Israël et certains États des États-Unis sont des pionniers de ces nouvelles technologies, car leurs ressources en eau sont très limitées.

Néanmoins, les questions sanitaires sont une forte contrainte du développement de ces systèmes. Tout d'abord, ces systèmes peuvent engendrer des risques de santé publique (comme par exemple la possible contamination de l'eau pendant son usage domestique, ou la salinisation des sols irrigués). En second lieu, le délai de rentabilisation des investissements additionnels rendus nécessaires (équipements complémentaires ou double circuit de plomberie au domicile, par exemple) dépend des normes établies par les agences de réglementation (environnementale ou sanitaire) en matière de réutilisation de l'eau. Ces normes régissent les sources d'eau possibles, la qualité de l'eau réutilisée pour telle ou telle application, la construction, l'usage agricole, etc. En Australie par exemple, la Stratégie nationale de gestion de la qualité de l'eau cible ces risques en formulant des lignes directrices relatives à la qualité des eaux recyclées utilisées et en la contrôlant. Elle intègre un outil d'aide à la prise de décision facile à utiliser qui guide les utilisateurs dans l'élaboration d'un plan de gestion du recyclage de l'eau.

* Eaux usées issues d'usages domestiques tels que la lessive, la vaisselle et la toilette.

Source : Pour des informations plus détaillées, voir OCDE (2009a), *Alternative Ways of Providing Water: Emerging Options and their Policy Implications*, OCDE, Paris.

la population privée d'accès à une source d'eau améliorée et à l'assainissement de base par rapport à 2005 ; puis *ii)* la réalisation de l'accès universel en 2050. Ce scénario ne présuppose pas que l'eau rendue accessible sera de l'eau potable. Le présent chapitre détaille les impacts sanitaires de ce complément de raccordement à des sources d'eau améliorées et à des installations d'assainissement de base.

D'après cette simulation, d'ici 2030 et par rapport au *scénario de référence*, les individus ayant accès à une source d'eau améliorée et à des installations d'assainissement de base seraient plus nombreux de respectivement presque 100 millions et quelque 472 millions. La quasi-totalité des premiers vivraient en dehors des pays de l'OCDE et des BRIICS (tableau 6.5). À l'horizon 2050, l'accès universel offrirait l'accès à une source d'eau améliorée à 242 millions de personnes supplémentaires, le « reste du monde » représentant la majeure partie de ce gain. Quant à l'accès aux installations d'assainissement, 1.36 milliard d'individus supplémentaires en disposeraient (795 millions dans le « reste du monde », 562 millions dans les BRIICS). En termes d'impacts sanitaires, au cours des 40 prochaines années, le nombre le plus élevé de décès évités grâce à cette politique concernerait les pays du « reste du monde ».

Tableau 6.5. **Impacts d'un accès plus rapide à l'approvisionnement en eau et à l'assainissement, 2030 et 2050**

Par rapport au *scénario de référence*

		OCDE	BRIICS	Reste du monde	Monde
2030	Personnes supplémentaires desservies (approvisionnement en eau)	–	–	97 000 000	97 000 000
	Personnes supplémentaires desservies (assainissement)	3 000 000	152 000 000	317 000 000	472 000 000
	Décès évités par an	< 100	3 000	73 000	76 000
	Coûts supplémentaires par an	Environ 1.9 milliard USD par an (2010 à 2030)			
2050	Personnes supplémentaires desservies (approvisionnement en eau)	–	2 000 000	240 000 000	242 000 000
	Personnes supplémentaires desservies (assainissement)	4 000 000	562 000 000	795 000 000	1 361 000 000
	Décès évités par an	< 100	6 000	75 000	81 000
	Coûts supplémentaires par an	Environ 7.6 milliards USD par an (2031 à 2050)			

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

Les niveaux de morbidité devraient aussi s'améliorer, même si cette simulation-ci ne fournit que des chiffres de mortalité. Élément notable, la nette amélioration de l'accès à des sources d'eau améliorées ne s'accompagnera pas d'une diminution proportionnelle de la mortalité, car l'accès à de telles sources n'est pas forcément synonyme d'eau potable.

Selon la simulation relative aux actions publiques, l'investissement annuel mondial supplémentaire à consentir entre 2010 et 2030 s'élèverait à 1.9 milliard USD (en sus des investissements du *scénario de référence*) pour atteindre l'objectif 2030 ; et à 7.6 milliards USD entre 2031 et 2050 pour atteindre l'objectif 2050[11].

4. Produits chimiques

Le secteur de la chimie est l'un des plus gros secteurs industriels de la planète : il contribue de manière significative à l'économie mondiale, mais aussi au niveau de vie et à la santé des hommes. Mais la production et l'utilisation des produits chimiques peuvent aussi avoir un impact négatif sur la santé humaine et l'environnement.

Nous examinons dans cette partie les impacts négatifs actuels et projetés des produits chimiques sur la santé humaine, ainsi que les actions qu'ils suscitent de la part des pouvoirs publics et des industriels. Si l'accent est mis sur les impacts sanitaires, les préoccupations environnementales que font naître les produits chimiques existent bien, mais restent en dehors du champ des présentes *Perspectives*. Les substances présentant un risque écotoxicologique particulier telles que les substances persistantes, bioaccumulables et toxiques (PBT), voire très persistantes et très bioaccumulables (vPvB), ou encore les polluants organiques persistants (POP), sont évoquées dans cette section, mais uniquement en raison de leur impact sur la santé humaine (lié à leur persistance, à leur capacité d'accumulation et au fort potentiel d'exposition).

Impacts sur la santé humaine

L'industrie chimique couvre une grande diversité de produits : produits chimiques de base (inorganiques, pétrochimiques, dérivés de l'industrie pétrochimique, etc.) ; spécialités chimiques dérivées de ces produits de base (adhésifs et enduits, catalyseurs, revêtements, produits chimiques pour l'électronique, additifs pour plastiques, etc.) ; produits chimiques dérivés des sciences biologiques (produits pharmaceutiques, pesticides et produits issus de la biotechnologie moderne) ; et produits de soins personnels (savons, détergents, décolorants, traitements des cheveux et de la peau, fragrances).

Les produits élaborés par l'industrie chimique peuvent améliorer la santé et le bien-être des individus. Les produits pharmaceutiques ont joué un rôle essentiel dans l'allongement de l'espérance de vie ; les produits agrochimiques peuvent améliorer les rendements des cultures ; les nouvelles cultures modifiées peuvent résister à la sécheresse et à la salinité, permettant ainsi aux agriculteurs de mieux s'adapter aux changements des conditions climatiques. Certains produits contribuent par ailleurs à lutter contre les maladies à vecteur et d'origine hydrique, et d'autres, comme les produits d'isolation et les détergents à basse température, permettent une meilleure efficacité énergétique.

Toutes les substances chimiques ne sont pas dangereuses, mais certaines d'entre elles peuvent avoir des effets graves sur la santé ou l'environnement. L'exposition *via* l'environnement aux substances persistantes et bioaccumulables, aux substances chimiques perturbant le système endocrinien (encadré 6.8) et aux métaux lourds est particulièrement préoccupante pour la santé humaine (AEE, 2011).

Les effets de l'exposition aux substances chimiques sur la santé dépendent des propriétés toxiques de ces substances, du degré, de la fréquence et de la durée de l'exposition, ainsi que de la sensibilité de chaque individu. Le tableau 6.6 résume les effets sur la santé de certaines substances chimiques. Il répertorie également les groupes de population sensibles et particulièrement vulnérables pour des raisons physiologiques (AEE, 1999). Les premiers stades de la vie humaine, et notamment les stades embryonnaire, fœtal et infantile, sont connus pour être particulièrement sensibles aux substances chimiques : une exposition à ces stades peut engendrer des maladies et des incapacités à vie, y compris sur le plan de la reproduction (Gee, 2008 ; Grandjean *et al*., 2007).

Tableau 6.6. **Exemples d'effets sur la santé associés à l'exposition à certaines substances chimiques**

Effet sur la santé	Groupes vulnérables	Liste non exhaustive de substances chimiques liées à l'affection ou au trouble
Cancer	Tous	Amiante – Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) – Benzène – Certains métaux – Certains pesticides – Certains solvants – Toxines naturelles
Maladies cardiovasculaires	Personnes âgées particulièrement	Monoxyde de carbone – Arsenic – Plomb – Cadmium – Cobalt – Calcium – Magnésium
Maladies respiratoires	Enfants, notamment asthmatiques	Particules inhalables – Dioxyde de soufre –Dioxyde d'azote – Ozone – Hydrocarbures – Certains solvants
Allergies et hypersensibilités	Tous et particulièrement les enfants	Particules – Ozone – Nickel – Chrome
Troubles de la reproduction	Adultes en âge de procréer, fœtus	Polychlorobiphényles (PCB) – Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) – Phtalates
Troubles du développement	Fœtus, enfants	PCB – Plomb – Mercure – Autres perturbateurs endocriniens
Troubles du système nerveux	Fœtus, enfants	PCB – Méthylmercure – Plomb – Manganèse – Aluminium – Arsenic – Solvants organiques

Source : Adapté de AEE (1999), *Chemicals in the European Environment: Low Doses, High Stakes?*, The EEA and UNEP Annual Message 2 on the State of Europe's Environment, AEE, Copenhague.

Bien que les impacts spécifiques des substances chimiques soient complexes et parfois discutables, certains effets nocifs sont bien documentés (le lien entre amiante et cancer est par exemple admis, tout comme celui entre exposition au benzène et leucémie). D'autres, tels que les effets sur la reproduction liés à l'exposition aux perturbateurs endocriniens font l'objet de recherches poussées (encadré 6.8).

Sur la base de données collectées en 2004, l'OMS a estimé la charge de morbidité mondiale imputable : *i)* aux substances chimiques lors d'épisodes d'empoisonnement aigu (y compris les médicaments mais hors traumatismes auto-infligés) ; *ii)* à certaines substances chimiques au cours d'une exposition professionnelle ; et *iii)* au plomb. Elle a estimé au total que ces trois catégories avaient provoqué environ un million de décès en 2004, et 21 millions d'années de vie corrigées de l'incapacité (AVCI), soit 1.7 % de l'ensemble des décès et 1.4 % de l'ensemble des AVCI dans le monde (Prüss-Üstün *et al.*, 2011). Si nous mettons l'accent dans cette partie essentiellement sur l'exposition humaine aux substances chimiques dans l'environnement, il importe de noter que la part de la charge de morbidité d'origine *professionnelle* n'est pas négligeable : 581 000 décès et 6 763 000 AVCI en 2004.

La charge réelle de morbidité associée aux substances chimiques est cependant assez probablement supérieure aux chiffres susmentionnés. En effet, l'estimation de l'OMS ne comprend pas en général l'exposition chronique des consommateurs aux substances chimiques, ni les expositions chroniques aux pesticides et aux métaux lourds tels que le cadmium et le mercure, pour lesquelles on dispose de données incomplètes.

Pour les trois catégories de substances chimiques étudiées par l'OMS, la charge de morbidité mondiale repose plus lourdement sur les pays non membres de l'OCDE. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) a lui aussi constaté l'existence d'un lien entre pauvreté et risque accru d'exposition à des substances chimiques et des déchets dangereux. Dans les pays en développement, la contamination par les produits chimiques dangereux est majoritairement liée à l'activité professionnelle, au mode de vie et au manque d'informations sur les effets nocifs de l'exposition à ces produits et déchets (PNUE, 2009).

Exposition

En raison du caractère ubiquitaire des produits chimiques, l'exposition humaine à ces derniers peut se faire par le biais de nombreuses activités quotidiennes et emprunter de multiples voies. L'exposition peut provenir de la consommation d'eau ou d'aliments contaminés par des produits chimiques d'origine agricole ou industrielle (pesticides, métaux lourds, dioxines, etc.) ; de l'ingestion ou de l'inhalation de substances chimiques émises par des matériaux de construction ou par des produits utilisés en intérieur, ou de substances chimiques présentes dans les jouets, bijoux, textiles, récipients alimentaires ou produits de consommation (par exemple métaux lourds, phtalates, formaldéhyde, teintures, fongicides et pesticides), ou d'un contact cutané avec de telles substances ; et de l'exposition du fœtus au cours de la grossesse. L'ingestion de peintures (en particulier pour les enfants) et l'ingestion ou l'inhalation de particules de sol contaminé par les processus industriels ou agricoles et les déchets ménagers (par exemple, métaux lourds, pesticides et polluants organiques persistants) sont aussi des voies d'exposition possibles (Prüss-Üstün *et al.*, 2011).

Des études de biosurveillance de l'exposition humaine aux produits chimiques dans l'environnement ont révélé la présence à divers degrés de nombreuses substances dans l'organisme (CDC, 2009). Ces études ont contribué à mieux faire admettre la nécessité pour les évaluations des risques de prendre en compte : *i)* l'exposition potentielle tout au long du cycle de vie du produit chimique (encadré 6.7) ; et *ii)* les effets cumulés et synergiques potentiels de l'exposition humaine à de multiples substances chimiques (encadré 6.8) (AEE, 2011).

Encadré 6.7. **Évaluer les émissions de substances chimiques : l'exemple des phtalates**

Quantifier les émissions de substances chimiques à partir de produits et évaluer leur impact sur la santé est difficile, et il est rare que de telles données soient prises en compte dans les analyses de risques portant sur une substance chimique particulière. Les phtalates utilisés dans les plastiques constituent une exception à cet égard, car ils ont fait l'objet d'études récentes motivées par des inquiétudes sur leurs effets possibles en tant que perturbateurs endocriniens (encadré 6.8). Les phtalates sont utilisés essentiellement comme produit plastifiant (substance ajoutée au plastique pour accroître sa souplesse, sa transparence, sa résistance et sa longévité). Ils servent aussi dans des produits aussi divers que les adhésifs et colles, les produits électroniques, les emballages, les jouets pour enfants, l'argile de modelage, les cires, les peintures, les encres et vernis d'impression, les produits pharmaceutiques, le matériel médical et les produits alimentaires et textiles.

Les inventaires des émissions et des transferts de matières polluantes (IETMP) permettent de recueillir des données sur les émissions des sites de production, des sites d'utilisation majeurs et des décharges, mais il est peu probable que l'élimination des matériaux contenant des phtalates s'effectue dans tous les cas selon les modalités soumises à surveillance. Évaluer la différence (ou le bilan matière) entre le volume des substances présentes dans un plastique et le volume qui subsiste au moment de leur élimination est par conséquent difficile, mais certaines méthodes permettent d'estimer leur émission à partir du plastique (ou d'autres matériaux). Ces méthodes sont précisées dans les ESD de l'OCDE. Des substances peuvent être émises dans l'atmosphère par volatilisation depuis la surface du matériau, dans l'eau ou indirectement dans le sol par lixiviation. Le mode d'émission dépend des propriétés de la substance et des circonstances entourant l'usage du matériau. Par exemple, les plastiques utilisés dans les matériaux extérieurs sont exposés à l'air et à l'eau d'écoulement, et des substances peuvent donc être émises dans l'un et l'autre milieu. Les objets en plastique utilisés à l'intérieur de locaux ou d'habitations sont aussi exposés à l'air, mais sont probablement moins fréquemment en contact avec l'eau, à l'exception des sols en vinyle au moment de leur nettoyage. Une déperdition du matériau lui-même dans l'air et dans l'eau peut aussi se produire par abrasion ou par usure. Ainsi, les modalités d'utilisation des plastiques contenant des phtalates ont une forte incidence sur le potentiel d'émission dans l'environnement.

Les valeurs présentées ci-dessous, tirées de l'évaluation des risques liés au phtalate de diéthylhexyle (DEHP) réalisée dans le cadre du Règlement sur les substances existantes de l'UE (CE, 2008), montrent l'importance potentielle de ces émissions. Le total des émissions atteint environ un quart de la quantité de substance produite par an ; on suppose que le reste est détruit lors de l'élimination des déchets (par incinération ou dégradation dans une décharge) ou grâce aux mesures de contrôle des émissions appliquées lors de la formulation et de l'utilisation. La distribution des émissions liées à d'autres phtalates ou additifs pour plastiques pourrait varier en fonction de leurs propriétés et de leurs modalités d'utilisation. Alors que l'on dispose maintenant de données réalistes estimées sur l'exposition aux phtalates contenus dans certains produits, on en sait beaucoup moins sur les nombreuses autres substances chimiques présentes sur le marché.

Tableau 6.7. **Émissions aux différentes étapes du cycle de vie du phtalate de diéthylhexyle**

Étape du cycle de vie	Part des émissions (%)
Production, formulation et utilisation	5.1
Vie utile – usage intérieur	6.2
Vie utile – usage extérieur	26.1
Déchet environnemental[1]	62.3
Élimination	0.3

1. Les émissions de déchets dans l'environnement estimées ici ne sont pas des émissions de la substance en tant que telle, mais de particules de matière la contenant. La possibilité existe par conséquent qu'avec le temps, la substance soit libérée dans l'environnement au fur et à mesure de la décomposition du matériau plastique.

Source : CE (2008), « European Union Risk Assessment Report: Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) », *Existing Substances Second Priority List*, vol. 80, EUR 23384 EN, Centre commun de recherche, Centre commun de recherche de la Commission européenne, Bruxelles.

Pour mieux cerner les caractéristiques de l'exposition aux produits chimiques et fournir au public des informations concrètes sur les émissions de substances chimiques, la plupart des pays de l'OCDE et certaines économies non membres de l'OCDE ont établi des inventaires des émissions et des transferts de matières polluantes (IETMP)[12] dans lesquels sont consignées les quantités de substances chimiques potentiellement dangereuses déclarées par les entreprises, qui sont émises de manière habituelle dans l'air, l'eau ou le sol, ou transférées hors site. Les IETMP sont un outil important tant pour informer le public sur la situation environnementale que pour promouvoir les progrès réalisés dans la gestion des substances chimiques. Au Japon par exemple, la quantité totale de substances chimiques libérées ou transférées hors site a diminué d'un tiers entre 2001 et 2009 à la suite d'actions volontaires des exploitants, de réglementations édictées par les autorités locales ou d'accords chiffrés entre autorités locales et industriels utilisant des données d'IETMP. Ces dernières sont très riches en matière d'émissions environnementales, mais des lacunes persistent : les IETMP ne sont pas toujours exhaustifs (ils ne couvrent par exemple qu'un nombre réduit de substances chimiques) et comportent quelques limites (par exemple, les petits sites peuvent être dispensés de l'obligation déclarative, et très peu d'IETMP fournissent des éléments sur les sources diffuses d'émissions) (AEE, 2011).

Outre les IETMP, les gouvernements et les industriels appliquent les méthodes de calcul et les méthodologies décrites dans les scénarios d'émission (ESD) pour estimer les émissions de substances chimiques après leur production et leur utilisation, ainsi que la concentration de substances chimiques dans l'environnement. Les gouvernements, *via* l'OCDE, ont élaboré un certain nombre d'ESD qui sont applicables aux secteurs industriels et aux utilisations en chimie[13].

Les installations industrielles ne sont pas la seule source d'émissions de substances chimiques dans l'environnement : ces émissions peuvent aussi avoir une origine agricole (pulvérisation de pesticides, par exemple), découler de l'utilisation de produits (encadré 6.7) ou provenir de déchets, quoique les données sur ces dernières émissions soient limitées. Le recueil de données précises souffre d'une complication supplémentaire, liée à l'échelle planétaire de la circulation des substances chimiques contenues dans les produits et les déchets, ce qui les rend difficilement traçables. Les déchets chimiques sont particulièrement préoccupants dans les pays non membres de l'OCDE, où la capacité de surveillance insuffisante et les carences des mécanismes institutionnels de gestion peuvent engendrer de lourdes pollutions de l'air, de l'eau et des sols (PNUE, 2007).

Évaluer les risques chimiques

En recourant à des approches à la fois réglementaires et non réglementaires, les gouvernements des pays de l'OCDE ont mis en place des programmes de collecte de données, d'évaluation des risques posés par les produits chimiques, puis de gestion de ces risques. Les tests portant sur les substances chimiques peuvent nécessiter bien des ressources humaines, temporelles et financières. Face à la nécessité d'alléger en partie ce fardeau et d'accélérer le processus, le Conseil de l'OCDE a adopté, en 1981, une Décision sur l'acceptation mutuelle de données (AMD) en vertu de laquelle les résultats d'un test mené dans un pays membre en conformité avec les Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques et avec les Principes de l'OCDE relatifs aux bonnes pratiques de laboratoire doivent être acceptés par les autres pays de l'organisation à des fins d'évaluation. La Décision sur l'AMD accroît l'efficience et l'efficacité des procédures de notification et d'enregistrement de substances chimiques tant pour les autorités que pour les industriels, et

leur permet de partager des données et d'économiser quelque 150 millions EUR chaque année en évitant la duplication des tests (OCDE, 2010b). Depuis 1997, une Décision du Conseil de l'OCDE autorise les économies non membres à prendre part à ce dispositif. L'Afrique du Sud, l'Argentine, le Brésil, l'Inde et Singapour l'ont mis en place par des procédures législatives et administratives idoines, et sont adhérents à part entière de la Décision sur l'acceptation mutuelle de données ; la Malaisie et la Thaïlande en sont adhérents provisoires.

Jusqu'ici, la majeure partie des informations nécessaires pour déterminer le danger présenté par un produit chimique provenait de tests de laboratoire *in vivo* (expérimentation animale) et *in vitro*. Alors que les décisions réglementaires de ces dernières décennies étaient fondées sur cette approche, aujourd'hui, de nouvelles avancées scientifiques (par exemple en biologie, en biotechnologie et en bioinformatique) permettent une meilleure compréhension du fonctionnement des cellules et des systèmes cellulaires. Il pourrait en découler de nouvelles démarches de test de la toxicité reposant principalement sur la compréhension des mécanismes de réponse cellulaire, ou « voies de toxicité » au niveau cellulaire (National Research Council, 2007). De plus, d'autres approches telles que les simulations informatiques appelées relations (quantitatives) structure-activité, ou (Q)SAR, sont de plus en plus utilisées pour fournir des informations sur les risques des produits chimiques.

Les gouvernements des pays de l'OCDE travaillent aussi ensemble pour collecter et analyser les données sur l'exposition et la toxicité des substances au moyen de modèles harmonisés, partager des stratégies de collecte de données, mettre au point des méthodologies d'évaluation et coordonner des actions internationales concernant les produits chimiques. Dans le cadre de l'OCDE, les pouvoirs publics œuvrent également au développement de méthodes alternatives et de modèles informatiques nouveaux et innovants pour tester et évaluer les substances et pour faciliter l'accès à ces outils ainsi que leur utilisation *via* Internet.

Néanmoins, l'évaluation des effets des substances chimiques sur la santé humaine (encadré 6.8) et le recueil de données suffisantes pour effectuer les évaluations des risques des milliers de substances chimiques présentes sur le marché restent des tâches ardues. Il demeure donc hautement prioritaire pour l'OCDE et les pays membres de continuer à travailler envue : *i)* de mettre au point de nouvelles méthodes de tests harmonisées – ou une mise à jour des méthodes existantes - , utilisables pour prendre des décisions en matière de réglementation et permettre aux pouvoirs publics et aux industriels de tirer parti de la Décision sur l'acceptation mutuelle de données ; et *ii)* d'harmoniser les démarches intégrées de test et d'évaluation utilisées par les pays membres dans leur cadre réglementaire. Celles-ci peuvent inclure l'emploi de (Q)SAR, de la toxicogénomique (étude de la réponse d'un génome à des substances chimiques dangereuses) et de tests *in vitro* de criblage à haut débit (applicables rapidement à des milliers de substances).

Afin de compléter les données recueillies par le biais des méthodes de test et des modèles prévisionnels classiques, les gouvernements se sont engagés dans des études épidémiologiques à grande échelle sur l'incidence des maladies qui, au sein de la population, pourraient être dues à l'exposition à des substances chimiques. Les travaux récents se sont focalisés en particulier sur les premières étapes de la vie, notamment dans le cadre de deux études de cohortes de naissance de grande envergure réalisées au Japon et aux États-Unis.

Encadré 6.8. **Relever certains défis de l'évaluation des risques chimiques**

Perturbateurs endocriniens

La recherche de substances chimiques ou de mélanges de substances chimiques susceptibles d'avoir des propriétés de perturbation endocrinienne est l'un des domaines d'action prioritaires récents des pouvoirs publics. Ces substances « altèrent les fonctions du système endocrinien et de ce fait, induisent des effets nocifs sur la santé d'un organisme intact, de ses descendants ou au sein de (sous-)populations » (Damstra *et al.*, 2002). On a recensé un certain nombre de troubles de santé dans lesquels les perturbateurs endocriniens (PE) pourraient jouer un rôle, notamment : la diminution de la production spermatique, les malformations congénitales chez l'enfant, le cancer, le retard du développement sexuel, le retard du développement neurocomportemental, la déficience des fonctions immunitaires et certains troubles du métabolisme. Toutefois, certains éléments du mode de vie sont aussi connus pour jouer un rôle important à cet égard, et la part imputable aux PE doit être mieux évaluée. De nouvelles méthodes OCDE validées et standardisées concernant le dépistage et le test des substances susceptibles d'avoir des effets perturbateurs sur le système endocrinien ont été développées. De nombreux pays membres de l'OCDE participent activement au travail de collecte de données sur les perturbateurs endocriniens afin de soutenir les initiatives réglementaires en ce domaine[1].

Nanomatériaux manufacturés

Les nanomatériaux peuvent être des métaux, des céramiques, des polymères ou des composites. Ils se caractérisent par une très petite taille, de l'ordre de 1 à 100 nm dans au moins une de leurs dimensions. Ils ont suscité, au cours de la décennie écoulée, un intérêt colossal. Ils pourraient se prêter à de très nombreuses applications industrielles, biomédicales et électroniques, et être porteurs de nombreux avantages économiques. Toutefois, débloquer ce potentiel supposera une approche responsable et coordonnée permettant de garantir que les questions éventuelles de sûreté sont traitées en même temps que les technologies évoluent.

En tant que catégorie de substances, les nanomatériaux manufacturés (NM) présentent des défis tout à fait spécifiques. À part leur taille, ils ont peu en commun. Certains sont des contreparties de substances chimiques à l'échelle nanométrique, d'autres ont des structures chimiques inédites. Cherchant à définir et à distinguer les NM dans leur dispositif juridique et réglementaire respectif, les gouvernements ont joint leurs efforts dans le cadre de l'OCDE afin de lutter contre les effets des nanomatériaux sur la santé humaine et sur l'environnement. Le programme de l'OCDE sur la sûreté des nanomatériaux manufacturés comprend le test de catégories représentatives de nanomatériaux à vocation commerciale pour 59 paramètres pertinents en termes de santé humaine et d'environnement (comprenant leurs propriétés chimiques, leur devenir et leurs effets). Cette initiative, qui exige des scientifiques qu'ils modifient des dizaines de tests et qui implique une vingtaine de pays membres et non membres de l'OCDE, ainsi que l'industrie, alimentera le travail en cours pour élaborer des méthodes de test plus spécifiques applicables à un ensemble plus étendu de matériaux. Comme le nombre même de matériaux différents croît très vite, l'OCDE favorise la coopération visant à évaluer rapidement ces substances par des méthodes de substitution telles que les essais *in vitro* : à mettre au point des techniques d'évaluation de l'exposition des travailleurs, des consommateurs, de la population en général et de l'environnement ; et à mesurer les grands impacts environnementaux, positifs et négatifs, qui pourraient résulter de ces nouvelles technologies. S'il est encore difficile de prédire les besoins futurs au regard de l'environnement, de la santé et de la sécurité dans ce domaine qui évolue rapidement, ces activités initiales de coopération fourniront un modèle utile aux initiatives ultérieures visant à répondre aux problèmes soulevés par les technologies émergentes.

Encadré 6.8. **Relever certains défis de l'évaluation des risques chimiques** *(suite)*

Évaluation de l'exposition combinée à de multiples substances ou « mélanges » de susbtances chimiques

En général, les évaluations des risques chimiques étudient isolément les effets de substances uniques. Or l'homme est exposé à des mélanges de substances chimiques qui, prises ensemble, peuvent avoir des effets cumulés ou synergiques dans le corps humain. La démarche actuelle d'évaluation des risques (qui n'apprécie qu'isolément les effets des substances) peut donc sous-estimer le risque sanitaire et environnemental. Par exemple, les doses journalières admissibles sont des estimations de la quantité acceptable de certaines substances dans les aliments ou l'eau de boisson. Comme elles découlent actuellement des évaluations des risques de substances chimiques prises isolément, elles peuvent ne pas protéger suffisamment contre les expositions combinées à de multiples substances ou à des mélanges de substances chimiques. On observe une tendance croissante, au niveau tant national qu'international, à envisager l'évaluation de l'exposition combinée à de multiples substances chimiques[2].

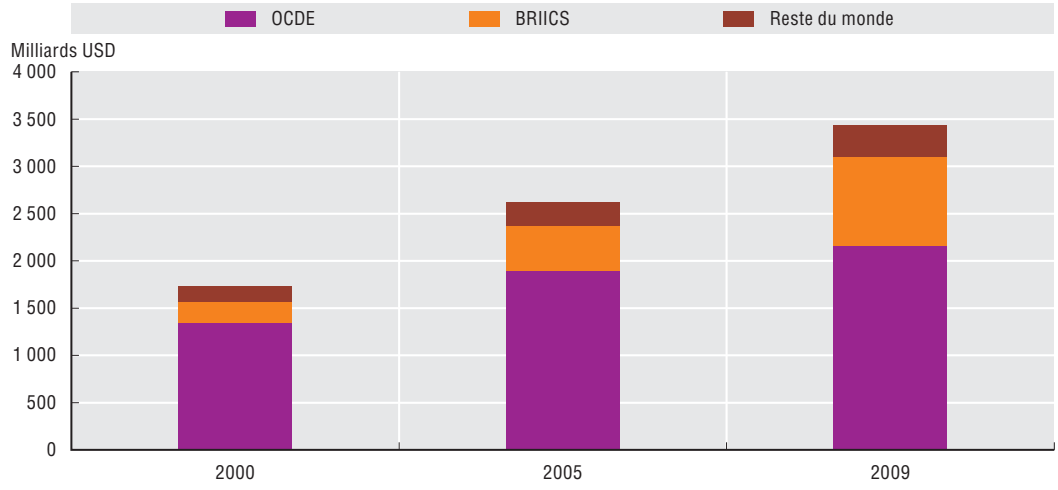
1. Ce travail comprend : *i)* les tests des PE, comme le *US Endocrine Disrupter Screening Program* et les *Further Actions on Endocrine Disrupting Effects of Chemical Substances* japonaises (EXTEND 2010) ; *ii)* la recherche portant sur les mécanismes des PE et les effets des mélanges de PE, comme les travaux effectués par le Centre national danois sur les perturbateurs endocriniens (*www.cend.dk/index-filer/Page319.htm*) ; *iii)* les études épidémiologiques portant sur des effets sanitaires spécifiques associés à l'exposition aux PE, comme l'étude suisse sur la fertilité masculine dont les résultats sont attendus d'ici la fin de 2012, ou l'étude danoise sur l'exposition prénatale aux pesticides qui a débuté en 2011 ; et *iv)* les travaux de l'OCDE sur l'évaluation de l'activité des PE (*www.oecd.org/env/testguidelines*).
2. Meek *et al.* (2011) décrivent un cadre d'évaluation des risques de l'exposition combinée à de multiples substances chimiques issu du *Workshop on Aggregate/Cumulative Risk Assessment* de 2007 de l'OMS/Programme international sur la sûreté chimique. Ce cadre a pour vocation d'aider les évaluateurs des risques à cerner les priorités pour la gestion des risques pour une vaste palette d'applications dans lesquelles on s'attend à des coexpositions multiples. En 2011, l'OMS et l'OCDE ont également accueilli de concert un atelier international sur l'évaluation des risques des expositions combinées à de multiples substances chimiques, qui a inventorié les domaines de travaux futurs, comme par exemple l'élaboration de modèles d'exposition (OCDE, 2011f).

Principales tendances et projections en matière de sécurité des substances chimiques

Tendances actuelles

L'industrie chimique mondiale s'est fortement développée pendant les 50 dernières années. Au cours de la seule période 2000-09, le volume annuel des ventes de produits du secteur chimique dans le monde a doublé (graphique 6.12). Sur cette même période, la part de l'OCDE sur le marché mondial a reculé de 77 % à 63 %, alors que celle des BRIICS est passée de 13 % à 28 %. Une partie de cette tendance s'explique certes par de plus faibles coûts de production dans les BRIICS, mais aussi par le besoin, pour les entreprises, de se rapprocher des zones de croissance et des sources de matières premières. En outre, les transferts de technologie des entreprises des pays développés vers les économies émergentes, qui résultent notamment de la création d'entreprises mixtes, de fusions et d'acquisitions, ont aidé les économies émergentes à innover et à jouer un rôle plus important sur le marché mondial (Kiriyama, 2010). Les entreprises chinoises, en particulier, s'efforcent activement d'obtenir l'accès aux technologies les plus avancées au moyen de partenariats avec des entreprises multinationales, parallèlement à leurs activités internes de recherche-développement (Kiriyama, 2010).

Graphique 6.12. **Progression des ventes de produits chimiques, 2000-2009**



Source : American Chemistry Council.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932595035

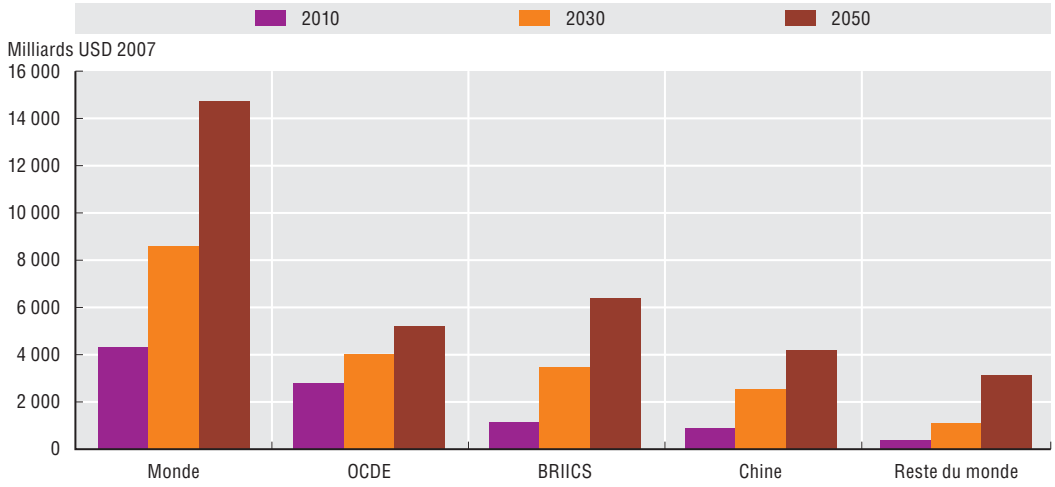
Cette évolution de la production s'est accompagnée de changements dans la typologie des produits. Des pays non membres de l'OCDE, notamment les BRIICS (qui, traditionnellement, se spécialisaient plutôt dans les produits chimiques de faible valeur, fabriqués en grande quantité), produisent désormais aussi des produits chimiques de forte valeur, des spécialités chimiques et produits chimiques dérivés des sciences biologiques, dont des produits pharmaceutiques et agrochimiques, qui étaient jusqu'alors l'apanage des pays de l'OCDE. En réponse au développement de la concurrence dans le secteur des produits chimiques industriels de base, certaines entreprises de Chine, d'Inde et du Moyen-Orient se tournent vers la chimie de spécialités et la chimie fine comme sources de profit (Kiriyama, 2010). Ce segment de marché se caractérisant par l'innovation et la différenciation constantes des produits, il est à prévoir qu'un plus grand nombre de substances chimiques nouvelles seront mises au point dans les économies non membres. Soulignons le fait que dans la mesure où les évaluations de risque réalisées à l'échelle nationale et internationale (zone OCDE) portent traditionnellement sur les produits chimiques de base existant en grande quantité, les risques présentés par d'autres substances chimiques, comme celles qui sont produites en plus petites quantités ou les spécialités chimiques, sont vraisemblablement moins bien documentés.

Tendances futures en matière de production

À l'horizon 2050, le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* prévoit une croissance (des ventes) de la chimie mondiale de quelque 3 % annuels. Comme l'ont montré les années récentes, la croissance annuelle des BRIICS devrait rester supérieure à celle des pays de l'OCDE (4 % contre 1.7 %), et la production totale des premiers dépassera celle des seconds avant 2050 (graphique 6.13). Quant à la production totale du reste du monde, elle demeurera inférieure à celle de la zone OCDE et des BRIICS, mais connaîtra le plus fort taux de progression entre 2010 et 2050 (4.9 %).

La Chine est le pays qui vient en tête des BRIICS pour la production de substances chimiques ; sa production représente actuellement les trois quarts de la production de ce groupe de pays, mais elle devrait être ramenée à deux tiers d'ici à 2050.

Graphique 6.13. **Prévisions de production de produits chimiques par région (ventes) : *scénario de référence*, 2010-2050**



Note : La Chine est intégrée aux données des BRIICS, mais a aussi été présentée seule pour faire ressortir sa part dans les prévisions de production des BRIICS.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultat du modèle ENV-Linkages.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932595054

L'indéniable contribution des produits chimiques à la charge de morbidité mondiale, en particulier dans les pays non membres de l'OCDE, et la poursuite du transfert de production de la zone OCDE vers les BRIICS que l'on prévoit sur les 40 prochaines années dans le secteur de la chimie, nécessiteront une coopération internationale et un renforcement des capacités pour que les produits chimiques soient bien gérés, notamment *via* la SAICM, dans les pays non membres (encadré 6.9). Cet effort international est nécessaire aussi bien pour les économies en transition qui voient croître leur production de produits chimiques que pour les pays en développement où progresse l'utilisation de ces produits.

Encadré 6.9. **SAICM : une gestion stratégique des produits chimiques**

L'Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques (SAICM) a été adoptée par la Conférence internationale sur la gestion des produits chimiques (ICCM) qui s'est tenue le 6 février 2006 à Dubaï. Elle compose un cadre d'action en faveur d'une bonne gestion des produits chimiques. Elle a été élaborée par un Comité préparatoire multipartite et multisectoriel. Elle promeut l'objectif, convenu en 2002 au Sommet mondial sur le développement durable de Johannesburg, visant à s'assurer que d'ici 2020, les produits chimiques seront fabriqués et utilisés selon des modalités réduisant le plus possible les impacts négatifs importants sur l'environnement et la santé humaine. En 2012, des dirigeants du monde entier se réuniront lors de la Troisième Conférence internationale sur la gestion des produits chimiques (ICCM3) pour examiner les progrès réalisés dans la mise en œuvre de la SAICM.

Produits chimiques : état de l'action publique

La croissance du secteur de la chimie à l'échelle mondiale pousse les gouvernements à rechercher des moyens de gérer les produits chimiques d'une manière aussi efficiente que possible. La gestion des risques induits par les produits chimiques peut prendre bien

des formes (tableau 6.8). Les pouvoirs publics peuvent assurer la sûreté de ces produits en évaluant et en réglementant les substances nouvelles et existantes, et en recourant à des instruments économiques tels que la taxation. Ils peuvent aussi opter pour des démarches non réglementaires, par exemple en enlevant volontairement des produits chimiques dangereux du marché, ou en favorisant le développement de produits plus verts. Chacune de ces démarches est décrite de manière plus détaillée ci-après.

Tableau 6.8. **Exemples d'outils utilisés par les pouvoirs publics pour gérer les substances chimiques**

Démarches réglementaires (contraignantes)	Instruments économiques	Information et autres instruments
■ Notification des substances nouvelles ou existantes. ■ Test et évaluation des substances chimiques. ■ Réduction des risques (interdiction ou réduction de la production, de l'utilisation et de l'élimination ; *US Pollution Prevention Act* de 1990 par exemple). ■ Normes de qualité des aliments ■ Normes de qualité des produits (plomb dans les peintures, les jouets, l'essence, etc.).	■ Taxes/droits (par exemple essence plombée). ■ Subventions et avantages fiscaux en faveur des dépenses de R-D consacrées à la chimie verte. ■ Approvisionnement du secteur public en produits et services verts.	■ Campagnes d'information (par exemple avertissements sur les produits, campagnes de sensibilisation). ■ Accords volontaires entre industrie et gouvernement en vue de réduire la production et l'utilisation de substances chimiques dangereuses (par exemple agents ignifuges bromés). ■ Cadre international pour la gestion sûre des produits chimiques (par exemple SAICM). ■ Conventions internationales sur certaines substances chimiques particulières (par exemple Convention de Stockholm sur les substances chimiques organiques persistantes). ■ Système général harmonisé (SGH) de classification et d'étiquetage des produits chimiques ■ Partage au sein de l'OCDE des travaux sur les produits chimiques hiérarchisés par les pays membres. ■ Accès aux données Internet, aux outils et aux systèmes informatiques. ■ Déclaration aux inventaires des émissions et des transferts de matières polluantes (IETMP). ■ Évaluation de substances alternatives plus sûres pouvant remplacer les substances prioritaires et information sur ce processus. ■ Promotion de la chimie verte lorsqu'aucune alternative plus sûre n'existe.

Évaluations des politiques

Les analyses coûts-avantages des politiques mises en œuvre permettent de cerner les implications des démarches retenues et, à ce titre, peuvent s'avérer d'une aide précieuse pour les gestionnaires des risques. Cependant, si maintes études ont jusqu'ici estimé les impacts des politiques concernant les produits chimiques, elles ont été peu nombreuses à proposer une valorisation monétaire des avantages. Récemment, le Comité d'analyse socio-économique de l'Agence européenne des produits chimiques a entamé la préparation d'avis sur des propositions de restriction ou des demandes d'autorisation obéissant à la nouvelle réglementation REACH (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des produits chimiques) (voir plus loin). Ces avis ont été élaborés en prenant en compte les coûts envisagés pour la société et les avantages prévus pour la santé humaine et l'environnement. Au niveau mondial, l'initiative CHOICE (*CHOosing Interventions that are Cost-Effective*) de l'OMS a élaboré une méthodologie visant à fournir aux responsables des politiques publiques les éléments leur permettant de décider d'interventions et de programmes optimisant les avantages sanitaires dans le cadre des ressources disponibles (OMS, 2003). Une plus grande coopération dans la mise au point de ce type de méthodologie garantirait l'application de méthodes de pointe dans l'évaluation des politiques et permettrait l'utilisation des méthodologies et des résultats au niveau international.

Cadres réglementaires nationaux

Ces dernières années, les pays membres comme non membres de l'OCDE ont modifié de manière non négligeable leurs programmes de gestion des produits chimiques (leur mise en œuvre n'est cependant pas encore achevée). Nombre de ces initiatives visent à renforcer les efforts de collecte de données, à étendre la couverture réglementaire aux produits chimiques déjà commercialisés et à renforcer les incitations au développement de produits plus sûrs et plus écologiques. Nous en donnons quelques exemples ci-après.

La législation européenne sur les produits chimiques a nettement changé en 2007, au moment de l'entrée en vigueur de la réglementation communautaire REACH. Cette dernière stipule qu'il est de la responsabilité de l'industrie de fournir des informations, d'évaluer les données et de gérer les risques potentiels des substances chimiques pour la santé humaine et l'environnement. Cette législation a principalement été motivée par le besoin d'uniformiser les normes d'évaluation des substances existantes et nouvelles. Auparavant, les nouvelles substances chimiques étaient soumises au sein de l'UE à un régime réglementaire bien plus strict que les substances déjà en usage. Le cadre réglementaire REACH a remédié à cette anomalie en exigeant l'évaluation de toutes les substances chimiques (Commission européenne, 2007).

En septembre 2009, aux États-Unis, l'administration Obama a annoncé ses « Principes essentiels pour la réforme de la législation sur la gestion des substances chimiques », qui définissent les objectifs du gouvernement américain pour la modernisation de la législation existante sur les produits chimiques (*Toxic Substances Control Act*, ou TSCA). L'accent est mis sur l'examen des produits chimiques au prisme d'une norme de sûreté fondée sur des critères scientifiques et de bonne gestion du risque ; sur la soumission d'informations suffisantes pour démontrer la sûreté des produits chimiques ; et sur le renforcement du pouvoir qu'a l'Agence pour la protection de l'environnement (EPA) d'exiger rapidement et efficacement des tests ou d'autres informations, et de classer par ordre de priorité les examens de sûreté à mener.

Le Plan de gestion des produits chimiques du Canada a été annoncé par le gouvernement en 2006. Ce programme national est centré sur la protection de la santé des Canadiens et de leur environnement face aux risques potentiels des produits chimiques existants qui n'ont pas déjà été évalués.

Le Japon a modifié en 2009 sa loi sur le contrôle des substances chimiques (*Kashinho*) afin d'instaurer la notification annuelle, pour toutes les substances chimiques, de la production et de l'importation de quantités supérieures à une tonne par an[14]. Lorsqu'elles reçoivent ces informations, les autorités choisissent les substances (dites PACS, pour « *Priority Assessment Chemical Substances* », ou substances chimiques à évaluation prioritaire) à évaluer plus avant en se fondant sur les données d'exposition et de risque dont elles disposent. Lorsque les priorités sont établies, le gouvernement effectue des évaluations complètes des risques. Parallèlement, depuis 2005, des efforts ont été engagés dans le cadre du programme *Japan Challenge* pour recueillir des données sur la sûreté de certaines substances prioritaires existantes.

En 2010, la Chine a décidé d'actualiser ses « Mesures de gestion environnementale des nouvelles substances chimiques », en maintenant l'approche inscrite dans la législation actuelle, mais en étendant les obligations qui s'appliquent à l'industrie en matière de fourniture de données et de gestion des risques (Freshfields Bruckhaus Deringer, 2009).

Instruments économiques

La taxation des produits chimiques dangereux peut dans certains cas s'avérer efficace pour réduire leur utilisation. Par exemple, les pays nordiques de l'UE y ont recours dans le cadre de leur action de réglementation des pesticides. Toutefois, si de nombreuses incitations économiques telles que les taxes en amont fonctionnent isolément de manière satisfaisante, c'est bien le panachage de réglementations quantitatives et d'incitations économiques qui constitue, en général, le meilleur moyen de maîtriser l'emploi de produits chimiques (Söderholm, 2009).

Une autre démarche non réglementaire est l'approvisionnement du secteur public en produits et services verts. Le secteur public achetant une quantité importante de biens et de services, afficher une préférence pour ces produits et services verts peut inciter l'industrie à développer des produits plus respectueux de l'environnement. De plus, si elle atteint un niveau suffisant, la demande publique peut envoyer un signal fort aux acheteurs privés, donner aux technologies plus vertes un avantage concurrentiel et ainsi favoriser l'innovation. À titre d'exemple, la Politique canadienne d'achats écologiques impose la prise en compte de considérations de performance environnementale dans les processus fédéraux de commande publique. Quant au programme américain EPP (*Environmentally Preferable Purchasing*), il aide les autorités fédérales à « acheter vert » en se servant de la puissance d'achat de l'échelon fédéral pour stimuler la demande du marché en produits et services verts.

Accords volontaires

Les accords volontaires peuvent compléter de manière importante les outils du marché. Dans de nombreux cas, ils sont proposés par l'industrie dès lors que la puissance publique semble se préparer à imposer des mesures de contrôle d'un produit chimique. Par exemple, *Responsible Care*, initiative du Conseil international des associations chimiques (ICCA), est un pan essentiel de la contribution mondiale du secteur à la SAICM (encadré 6.9). *Responsible Care* a également favorisé l'élaboration de la Stratégie mondiale de produits de l'ICCA qui vise à améliorer la gestion des produits chimiques par l'industrie, ce qui inclut la communication sur les risques liés aux substances chimiques à tous les stades de la chaîne d'approvisionnement.

Cadre réglementaire international et coordination internationale

Différents accords multinationaux juridiquement contraignants s'efforcent de contrôler tel ou tel produit chimique à différentes fins. Nous citerons notamment :

- La Convention de Bâle (ciblant les mouvements transfrontières de déchets dangereux).
- Le protocole de Montréal (relatif aux chlorofluorocarbones et autres substances qui appauvrissent la couche d'ozone).
- La Convention de Rotterdam (exportations de produits chimiques dangereux).
- La Convention de Stockholm (polluants organiques persistants).
- La Convention des Nations Unies contre le trafic illicite de stupéfiants et de substances psychotropes (contrôle de la drogue).
- La Convention sur l'interdiction des armes chimiques (contrôle des armements).

Pour renforcer les liens et accroître les synergies entre trois de ces conventions, les secrétariats des Conventions de Bâle et de Stockholm et la partie PNUE du secrétariat de la Convention de Rotterdam ont maintenant un directeur commun.

En outre, le programme mondial de renforcement des capacités de l'UNITAR (Institut des Nations Unies pour la formation et la recherche) joue un rôle considérable dans la bonne gestion des substances chimiques dans les pays non membres de l'OCDE en fournissant un support institutionnel, technique et juridique aux gouvernements et aux parties prenantes, et en les aidant ainsi à développer de façon durable leur capacité de gestion des substances et déchets chimiques dangereux. Les projets développés le sont dans le cadre de la mise en œuvre des accords internationaux (SAICM, Convention de Stockholm, Convention de Rotterdam, Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques des Nations Unies, etc.).

L'OCDE est l'une des principales organisations internationales dans le domaine de la gestion des produits chimiques ; ses productions sont largement utilisées au sein des pays membres et des pays non membres[15]. De nombreuses activités sont menées (de concert avec des organisations du système des Nations Unies, *via* le programme inter-organisations pour la gestion écologiquement rationnelle des produits chimiques[16]) afin d'aider les pays non membres à établir et améliorer leur système de gestion des produits chimiques et de les familiariser avec les principes et les outils utilisés dans les pays de l'OCDE. En 2008, le Conseil de l'OCDE a adopté une Résolution sur la mise en œuvre de l'Approche stratégique sur la gestion internationale des produits chimiques (SAICM) (encadré 6.9) qui appelle les pays à collaborer dans le cadre de l'OCDE pour garantir, lorsque des programmes de gestion des substances chimiques devront être établis ou mis à niveau, que les produits de l'OCDE seront accessibles, pertinents et utiles aux pays non membres pour développer leurs capacités de gestion en ce domaine.

Autres mesures à prendre

Les impacts des substances chimiques sur la santé humaine ne sont pas encore bien appréhendés. Bien qu'au fil des ans des progrès aient été réalisés tant au niveau de la collecte que de l'évaluation des données, des outils nouveaux et plus précis seront nécessaires pour évaluer plus rapidement les substances chimiques ainsi que les nouvelles variétés de substances chimiques (comme celles développées à partir des nanomatériaux manufacturés), ainsi que les effets spécifiques (des perturbateurs endocriniens par exemple, voir l'encadré 6.8). De plus, il faut encore agir, à tous les niveaux, pour garantir la bonne gestion des produits chimiques tout au long de leur cycle de vie, de la production à l'utilisation et à l'élimination, dans l'optique de réduire le plus possible les impacts négatifs sur la santé humaine et l'environnement. Il est nécessaire de passer à une démarche intégrée d'évaluation et de gestion des produits chimiques, qui englobera les facteurs décrits ci-après.

Renforcer la coopération et le partage des données dans le cadre de l'évaluation des substances chimiques

Il faut renforcer la coopération par la mise en commun des travaux et l'amélioration des outils d'évaluation. Les pays non membres de l'OCDE, et notamment les BRIICS, devront davantage s'efforcer de relever le défi croissant que représente une gestion sûre des produits chimiques existants et nouveaux. La première étape consistera à dresser des inventaires chimiques – lorsqu'ils n'existent pas encore. Devenir membres du système AMD permettra à

ces pays de collaborer avec les membres de l'OCDE et allégera considérablement leur travail d'évaluation des substances chimiques existantes. Le développement de la coopération internationale sera nécessaire pour renforcer les capacités, partager l'expertise et promouvoir une gestion efficace des substances chimiques au niveau mondial. La coopération sera aussi indispensable pour éviter que les nouveaux systèmes nationaux de gestion des substances chimiques ne conduisent à des essais et évaluations répétés, ou ne deviennent de nouveaux obstacles aux échanges.

Améliorer les données portant sur les dangers liés aux produits chimiques et sur l'exposition de la population

Il faudra aussi redoubler d'efforts pour détecter et décrire les individus et les populations exposés à des substances chimiques dangereuses, et pour quantifier les sources d'exposition. Probablement faudra-t-il pour cela recourir davantage à la surveillance de la santé publique environnementale, à la biosurveillance, à la surveillance environnementale et à d'autres techniques de recherche d'informations sur la santé publique, ainsi qu'à la mise en commun internationale de ces données.

Compte tenu du nombre croissant d'études épidémiologiques en cours et planifiées et du volume considérable de données collectées, peut-être sera-t-il plus efficace pour les pays de coordonner leurs efforts. L'OMS a publié à cette fin, en 2009, un guide sur l'élaboration d'études de cohortes de naissance (Golding *et al.*, 2009). Une autre initiative internationale (STROBE, ou *Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology*) donne des conseils sur la manière de déclarer les résultats de tout type d'étude épidémiologique. Outre ces principes, on pourrait développer d'autres domaines de coordination. Par exemple, la création d'une base de données internationale des études épidémiologiques recensant les principales caractéristiques des études (taille de la cohorte, critères d'inclusion ou d'exclusion, échantillons biologiques recueillis, etc.) rendrait les travaux et données existants plus accessibles et, ainsi, étaierait la conception des études épidémiologiques futures.

Renforcer l'accent mis sur la prévention, en particulier aux premiers stades de la vie

Étant admis que les fœtus et les enfants sont plus vulnérables aux substances chimiques dangereuses que les adultes, il convient de recentrer les évaluations du risque sur les effets des substances chimiques lors d'une exposition prénatale ou aux premiers stades de la vie extra utérine. Premièrement, parce que ces stades présentent le plus de risques et que l'exposition à des produits chimiques pendant cette période peut entraîner des troubles de santé importants tant chez l'enfant que chez l'adulte. Deuxièmement, parce que c'est à ces stades que l'action préventive est la plus efficace en termes de santé et de bien-être, ainsi qu'en termes de bénéfices économiques, car cela induit une réduction des dépenses de santé et d'éducation et une hausse de la productivité nationale.

Promouvoir une utilisation durable des produits chimiques et la chimie verte

La chimie « verte » ou « durable » désigne la mise au point, la fabrication et l'utilisation de substances chimiques plus respectueuses de l'environnement tout au long de leur cycle de vie. Elle contribue au développement durable grâce à la fabrication de produits moins dangereux pour la santé humaine et l'environnement : *i)* en utilisant des matières premières et des réactifs moins dangereux et moins toxiques ; *ii)* en améliorant l'efficience des processus chimiques en termes d'énergie et de matériaux ; *iii)* en utilisant des matières premières renouvelables ou des déchets, de préférence aux combustibles fossiles ou aux

ressources minières ; et *iv)* en concevant des produits chimiques plus adaptés à une réutilisation ou au recyclage. Un récent rapport utilisant des données relatives aux brevets montre que certaines technologies de chimie verte, comme les batteries biochimiques ou les plastiques « verts », ont progressé au moins sept fois plus vite que le taux global de brevets du secteur de la chimie (OCDE, 2011d).

Des gains significatifs peuvent être obtenus en prenant des mesures positives pour soutenir l'adoption par l'industrie de technologies moins dangereuses pour l'environnement. Différents États soutiennent financièrement (par des subventions ou des allégements fiscaux) la recherche-développement consacrée à la chimie verte. Aux États-Unis, des subventions sont accordées dans le cadre du programme sur les « Technologies pour un environnement durable » de l'EPA et de la National Science Foundation[17]. Au Japon, l'Institut national des sciences et technologies industrielles de pointe mène de très nombreuses activités de recherche dans le secteur de la chimie verte et durable, en particulier dans le domaine de la catalyse, des membranes, des fluides supercritiques et des ressources renouvelables. L'attribution de prix s'est aussi révélé un moyen efficace d'encourager l'innovation dans un certain nombre de domaines, comme ceux de la santé et des technologies énergétiques (voir par exemple Newell et Wilson, 2005).

On pourrait aussi consacrer plus d'efforts à la recherche de substituts plus sûrs aux substances chimiques prioritaires. Connues sous le nom de « *alternatives assessments* » (évaluations de substances de remplacement), ces actions consistent notamment à évaluer une large palette d'effets sanitaires et environnementaux afin de vérifier que des solutions de rechange plus sûres sont bien retenues, et de réduire l'éventualité de conséquences imprévues. En identifiant des substances chimiques de substitution et en en évaluant la sûreté, cette démarche peut inciter l'industrie à opter pour des substituts plus sûrs, compléter l'action de la réglementation en montrant que des voies de rechange plus sûres et plus fonctionnelles sont disponibles, ou bien souligner les limites de la substitution chimique pour tel ou tel usage. Le programme *Design for the Environment* de l'EPA a mis au point une méthodologie d'évaluation des substituts chimiques (Lavoie *et al.*, 2010).

Améliorer le droit d'information du public

Les gouvernements des pays de l'OCDE ont développé des systèmes d'information et divers autres outils pour améliorer l'accès du public aux informations sur le danger chimique et les risques afférents, informations qui émanent des programmes de recherche des gouvernements. Ces outils, dont le portail de l'OCDE pour l'information sur les substances chimiques, dénommé eChemPortal[18], viennent concrétiser les engagements internationaux pris de longue date (dans le cadre par exemple de la SAICM) pour améliorer l'accès du public aux informations sur les substances chimiques. Ils améliorent aussi la transparence de ces efforts. Toutefois, il conviendrait de mettre à disposition des renseignements plus nombreux sur les composants et les effets des produits chimiques présents, par exemple, dans certains articles, les aliments ou les cosmétiques, afin de respecter le droit du public d'être informé sur les expositions chimiques et les facteurs de risque sanitaire et environnemental.

5. Changement climatique

Dans son Quatrième Rapport d'évaluation, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a conclu, avec un degré de confiance très élevé[19], que le changement climatique contribuait à la charge de morbidité mondiale et provoquait des décès prématurés, et que si ces effets étaient pour l'instant réduits, ils « devraient progressivement augmenter dans tous les pays et toutes les régions » (Confalonieri *et al.*, 2007 ; chapitre 3). Les effets négatifs du changement climatique sur la santé humaine proviennent des températures extrêmes, catastrophes météorologiques, polluants atmosphériques photochimiques, maladies à vecteur ou transmises par les rongeurs, et infections alimentaires et d'origine hydrique qu'il provoque (encadré 6.10). Les incidences peuvent être directes, en raison par exemple d'une mortalité imputable aux températures (stress dû à la chaleur ou au froid) ; ou indirectes, du fait d'un surcroît d'inondations, de malnutrition, de diarrhées et de paludisme (Campbell-Lendrum *et al.*, 2003). L'OMS estime qu'en 2004, 3 % environ de l'ensemble des décès imputables, dans le monde, à la diarrhée, au paludisme et à la dengue ont pour origine le changement climatique (McMichael *et al.*, 2004 ; OMS, 2009b). Dans bien des cas, les régions les plus touchées seront aussi les régions les plus pauvres et les moins capables de contrer ces conséquences.

Encadré 6.10. **Changement climatique, déterminants de la santé et impacts sur la santé : faits et chiffres**

Air. Des températures atmosphériques extrêmes peuvent être directement cause de décès ; le nombre de décès supplémentaires enregistrés pendant les chaleurs extrêmes de l'été 2003 en Europe a été estimé à plus de 70 000 (Robine *et al.*, 2008). Dans la deuxième moitié du XXIe siècle, de telles températures extrêmes seront la norme (Beniston et Diaz, 2004). En outre, l'augmentation des températures de l'air entraînera l'augmentation des concentrations de certains polluants atmosphériques importants comme l'ozone troposphérique, en particulier dans les zones déjà affectées par la pollution. La pollution atmosphérique urbaine est actuellement la cause d'environ 1.2 million de décès par an (OMS, 2008, 2009a), sous forme principalement d'une hausse de la mortalité due aux maladies cardiovasculaires et aux maladies respiratoires.

Eau. L'évolution du cycle des précipitations et l'augmentation du taux d'évaporation et de fonte des glaciers, en se combinant à la croissance économique et démographique, devraient augmenter le nombre de personnes vivant dans des bassins hydrologiques affectés par le stress hydrique : la population concernée passera de 1.5 milliard environ en 1990 à 3-6 milliards en 2050 (Arnell, 2004). D'ici les années 2090, le changement climatique pourrait doubler la fréquence des sécheresses graves, en multipliant par six leur durée moyenne et par un coefficient de 10 à 30 l'étendue des zones touchées (Burke *et al.*, 2006). Près de 90 % de la charge de morbidité due à la diarrhée est imputable au défaut d'accès à une eau potable et à un assainissement suffisant (Prüss Üstün et Corvalán, 2006 ; Prüss Üstün *et al.*, 2004 ; OMS, 2009a) et la diminution de l'accès aux ressources d'eau douce et de leur fiabilité devrait aggraver ce problème.

Alimentation. L'augmentation des températures et la plus grande variabilité des précipitations devraient entraîner une baisse du rendement des cultures dans de nombreuses régions tropicales en développement. Dans certains pays africains, la diminution du rendement des cultures irriguées par la pluie pourrait atteindre 50 % d'ici 2020 (GIEC, 2007). Cette évolution contribuera sans doute à aggraver le problème de la sous-nutrition dans les pays en développement, qui est actuellement la cause de 3.5 millions de décès par an, du fait à la fois directement de carences nutritionnelles, et indirectement de l'aggravation de la vulnérabilité à certaines maladies comme le paludisme, la diarrhée et les infections des voies respiratoires (Black *et al.*, 2008 ; OMS, 2009a).

Encadré 6.10. **Changement climatique, déterminants de la santé et impacts sur la santé : faits et chiffres** *(suite)*

Habitat. On prévoit que pendant la deuxième moitié du XXIe siècle, le changement climatique devrait entraîner une augmentation considérable de la fréquence des tempêtes graves, des fortes pluies et des vagues de chaleur. En l'absence d'améliorations de la protection, l'élévation du niveau de la mer pourrait aussi plus que décupler d'ici 2080 le nombre de personnes exposées aux inondations côtières, qui pourrait ainsi dépasser 100 millions par an (GIEC, 2007). Cette évolution contribuera aussi à accroître les risques liés aux catastrophes naturelles dues au climat, qui ont été la cause d'environ 600 000 décès pendant les années 90 (Hales *et al.*, 2003). Des inondations et des sécheresses répétées pourront entraîner des déplacements de population, de tels déplacements étant à leur tour associés à des risques accrus en matière de santé allant des troubles mentaux comme la dépression aux maladies transmissibles et, potentiellement, à la guerre civile.

Protection contre la maladie. L'augmentation des températures, l'évolution du cycle des précipitations et l'élévation du niveau d'humidité auront des incidences sur la transmission des maladies par des vecteurs et par l'eau et l'alimentation. Les maladies à vecteur sont actuellement la cause d'environ 1.1 million de décès par an, et la diarrhée de 2.2 millions (OMS, 2008). Selon certaines études, le changement climatique pourrait porter à 170 millions en 2030 le nombre de personnes exposées au risque de paludisme en Afrique (Hay *et al.*, 2006), et à 2 milliards d'ici les années 2080 la population mondiale exposée à la dengue (Hales *et al.*, 2002).

Équité en matière de santé. Le changement climatique et ses incidences sur le développement risquent de renforcer les inégalités dans et entre les populations. Selon une étude de l'OMS sur la charge de morbidité due au changement climatique, le réchauffement peu important intervenu depuis les années 70 avait déjà été cause en 2004 de plus de 140 000 décès supplémentaires par an (McMichael *et al.*, 2004 ; OMS, 2009a). L'impact estimé par habitant est plusieurs fois plus élevé dans les régions où la charge de morbidité était déjà la plus lourde (McMichael *et al.*, 2004; Patz *et al.*, 2007). L'existence d'avantages sanitaires dus au changement climatique – principalement la baisse de la mortalité liée aux hivers froids – n'est pas aussi fortement attestée par les données ; pour autant qu'ils existent, de tels avantages profitent principalement aux populations des pays développés vivant sous de hautes latitudes (Confalonieri *et al.*, 2007 ; McMichael *et al.*, 2004). Il est par conséquent probable que le processus de changement climatique en cours contribuera à aggraver les disparités sanitaires qui existent entre les populations les plus riches et les plus pauvres.

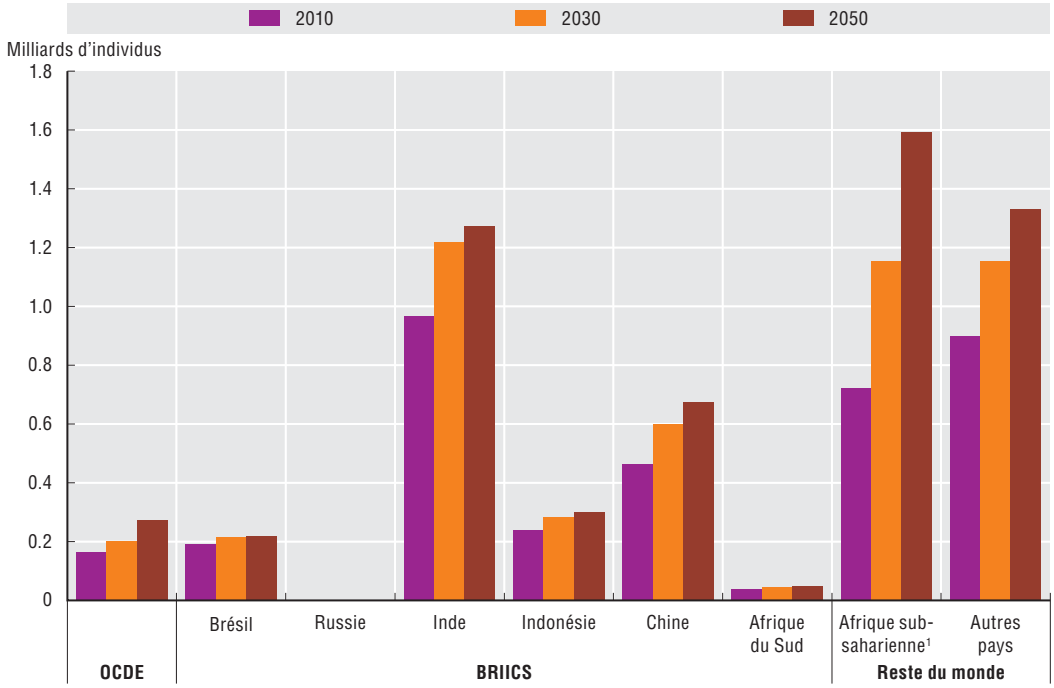
Source : OMS (2009b), *Protecting Health From Climate Change: Connecting Science, Policy and People*, OMS, Genève.

Changement climatique et paludisme : une étude de cas

Le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* tient le paludisme comme première maladie infectieuse exacerbée par le changement climatique. Quelques autres répercussions sanitaires de ce dernier sont abordées ailleurs dans cet ouvrage (par exemple, pour la diarrhée, voir la section 3 de ce chapitre ; pour les inondations, le chapitre 5 ; et pour les rendements agricoles, le chapitre 2). Si le changement climatique a d'autres types de conséquences sanitaires, comme le stress dû à la chaleur et au froid, celles-ci ne sont pas modélisées pour ces *Perspectives*.

Plus de la moitié de la population mondiale, soit environ 3.7 milliards d'individus, vit aujourd'hui dans des régions où existe un risque potentiel de paludisme (c'est-à-dire dans des zones offrant un habitat favorable au vecteur du paludisme), et ce chiffre devrait augmenter pour atteindre 5.7 milliards de personnes d'ici 2050[20]. À cet horizon, la plus grande partie des populations vivant dans des régions potentiellement exposées au risque de paludisme se trouveront en Asie (3.2 milliards) et en Afrique (1.6 milliards) (graphique 6.14). Toutefois, dans

Graphique 6.14. **Population potentiellement exposée au paludisme : *scénario de référence*, 2010-2050**



Note : La région Afrique subsaharienne ne comprend pas l'Afrique du Sud.

Source : *Scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

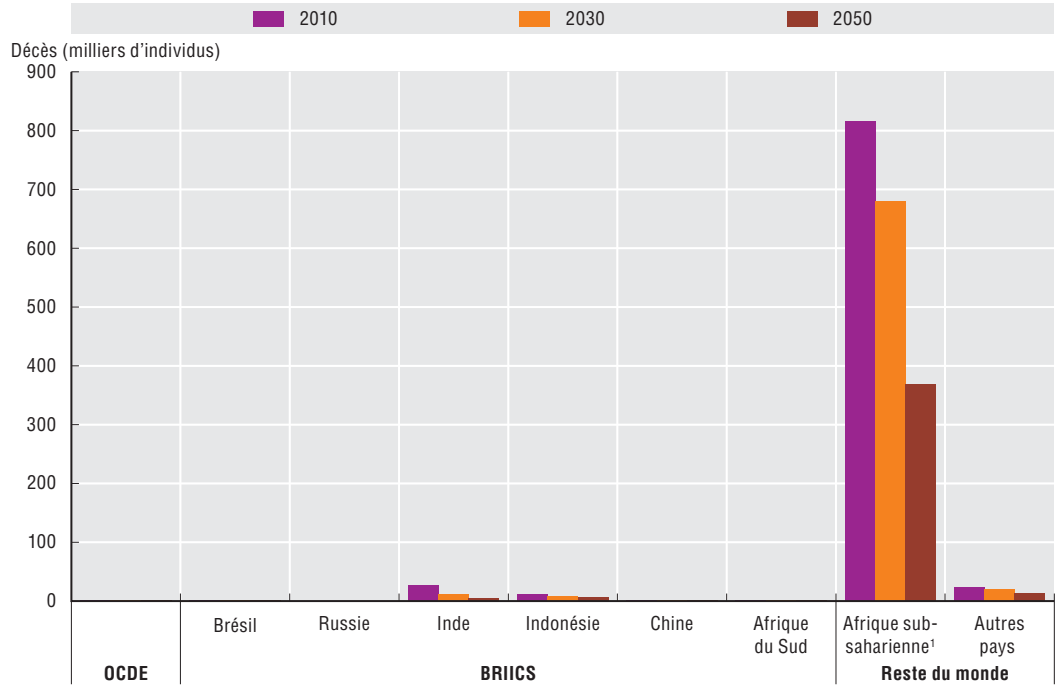
StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932595073

beaucoup de régions, les risques ont été fortement réduits grâce aux programmes de contrôle des vecteurs, à l'exception de l'Afrique où se sont produits plus de 90 % de l'ensemble des décès dus au paludisme en 2004.

Malgré l'accroissement de la population habitant des régions exposées au risque paludéen, le *scénario de référence* des *Perspectives de l'environnement* de l'OCDE prévoit un recul significatif, entre 2010 et 2050, de la mortalité prématurée mondiale imputable au paludisme (graphique 6.15)[21]. Ce recul s'explique par le fait que l'on prévoit une augmentation de l'urbanisation, la hausse du revenu par habitant (propice aux démarches adaptatives et aux traitements médicaux) et le vieillissement de la population (les enfants étant les plus vulnérables au paludisme). Le changement climatique ne joue qu'un rôle limité dans les projections futures de la charge de morbidité due au paludisme. Toutefois, même avec cette baisse notable de la mortalité prématurée mondiale, on estime que les décès prématurés dus au paludisme atteindront presque en 2050 les 400 000 cas, et auront presque tous lieu en Afrique.

Afin de comprendre si d'autres scénarios d'action climatique pourraient influer sur l'incidence du paludisme, nous avons étendu le scénario *450 base* décrit au chapitre 3 pour en évaluer l'impact. Ce scénario modélise une voie d'atténuation du changement climatique qui limite la hausse de la température moyenne mondiale à moins de 2 °C d'ici la fin du XXIe siècle, à comparer au *scénario de référence* qui, faisant l'hypothèse d'une absence de politique nouvelle, projette une hausse de cette température comprise entre 3 et 6 °C. La simulation étendant le scénario *450 base* conclut à une faible réduction du nombre d'individus exposés au risque de paludisme, en comparaison au *scénario de référence*. Certaines régions deviendraient plus

Graphique 6.15. **Décès dus au paludisme : *scénario de référence*, 2010-2050**



Note : La région Afrique subsaharienne ne comprend pas l'Afrique du Sud.

Source : Scénario de référence des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*, résultats du modèle IMAGE.

StatLink http://dx.doi.org/10.1787/888932595092

propices aux vecteurs du paludisme (par exemple, les hautes terres d'Éthiopie), mais d'autres non. Globalement, la superficie des zones dont le climat est propice à l'apparition du paludisme est sensiblement la même pour le *scénario de référence* et pour le scénario avec politique climatique. La différence d'impact sur la santé humaine devrait donc être infime.

Les connaissances disponibles sur les modalités d'une prévention des épidémies de paludisme et d'une lutte contre celles-ci sont considérables. Elles doivent être utilisées pour prévenir la propagation de cette maladie. L'adaptation passe notamment par une meilleure surveillance, la mise en œuvre de systèmes d'alerte rapides en cas d'épidémie, l'évacuation des zones à risque, des programmes de contrôle des vecteurs de la maladie (distribution de moustiquaires, recherche-développement sur le contrôle des vecteurs, les vaccins et l'éradication de la maladie) et une meilleure conception de la structure des logements. Cartographier les nouvelles zones à risque paludéen suppose une coopération systématique entre les pouvoirs publics et les organisations internationales compétentes, ainsi que la mise au point d'instruments adaptés tels que des incitations à la R-D et des incitations de nature réglementaire (par exemple, code de la construction et assurance).

Notes

1. Les particules examinées dans cette section sont les PM_{10} (particules de diamètre inférieur ou égal à 10 micromètres) et les $PM_{2.5}$ (particules de diamètre inférieur ou égal à 2.5 micromètres).
2. Les données de la Banque mondiale ont été compilées en 2001, mais constituent encore aujourd'hui la source d'information la plus fiable et la plus complète pour une modélisation.

3. On trouvera des informations sur un grand nombre d'instruments économiques et de démarches volontaires en matière de pollution de l'air dans la *Base de données OCDE/AEE sur les instruments utilisés pour la politique environnementale*, disponible à l'adresse *www.oecd.org/env/policies/database*.

4. Sous leur forme gazeuse, les HC sont dénommés « composés organiques volatils » (COV).

5. OCDE (2010a) contient une analyse approfondie de la taxe suédoise sur les émissions de NO_x, notamment du point de vue de l'impact sur l'environnement et sur l'innovation.

6. En 2008, le plafond des émissions de NO_x des véhicules neufs était, dans l'Union européenne, de 0.06 grammes par kilomètre pour les véhicules à essence, et de 0.2 grammes par kilomètre pour les véhicules diesel (soit plus de trois fois plus). Certains éléments semblent aussi indiquer que le renforcement progressif des normes d'émissions a eu, en pratique, des répercussions modestes sur les émissions réelles de NO_x des véhicules diesel (Carslaw *et al.*, 2011).

7. À titre d'illustration, dans le système actuel de taxation et toutes choses égales par ailleurs, la taxe d'un véhicule émettant 0.75 grammes de CO, 0.05 grammes de HC et 0.03 grammes de NO_x par kilomètre parcouru aurait été inférieure de 977 EUR si elle n'avait pris en compte que les émissions de CO_2.

8. Aux fins de cette simulation, il est admis que la réduction relativement uniforme des émissions sur la planète entraînera des variations internationales des taux de mortalité dues aux différences de concentration que l'on observe d'un pays à l'autre, et du niveau duquel ces émissions s'écartent – au-dessus ou au-dessous – des seuils d'innocuité pour la santé.

9. Dans le cadre de la méthodologie de calcul, les VVS varient selon le revenu : elles sont plus basses dans les pays qui ont un PIB par habitant inférieur. Cela permet une représentation plus précise des préférences locales dans le processus décisionnel ; toutefois, autre conséquence, l'échelle globale d'une action environnementale particulière, et les raisons pouvant justifier un financement international concerté, n'apparaissent pas aussi clairement.

10. Le traitement secondaire recourt à un processus le plus souvent biologique pour traiter les eaux usées (urbaines) et passe par une décantation secondaire ou un autre traitement, entraînant l'élimination d'au moins 70 % de la DBO (contenu organique) et d'au moins 75 % de la DCO (contenu chimique). Le traitement tertiaire désigne un traitement (complémentaire au traitement secondaire) de l'azote, du phosphore ou de tout autre polluant affectant la qualité ou un usage spécifique de l'eau (pollution microbiologique, couleur, etc.).

11. Le calcul des coûts associés au taux de raccordement est basé sur Hutton et Haller (2004), qui ont estimé les coûts annuels correspondant à différents seuils du taux de raccordement. Leurs hypothèses de coûts, ajustées sur une base annuelle, prennent en compte les coûts d'investissement et les coûts récurrents, en se servant des valeurs obtenues dans la littérature spécialisée. Par exemple, les coûts annuels d'un réseau d'approvisionnement en eau jusqu'à l'intérieur du domicile sont de l'ordre de 10 à 15 USD par individu, tandis que d'autres raccordements améliorés à l'eau coûtent entre 1 et 4 USD par personne. Il est important de noter que les coûts de la simulation des *Perspectives* sont approximatifs, car les catégories et les régions ne correspondent pas totalement à celles de Hutton et Haller. En outre, il est possible que le fait de traduire les coûts d'investissement initiaux en coûts annuels conduise à une sous-estimation lorsque l'on répète l'opération dans le temps. Pour de plus amples détails sur les hypothèses sous-tendant ce scénario, voir l'annexe 5.A située à la fin du chapitre 5.

12. Trente-neuf pays sont actuellement dotés d'un IETMP opérationnel : les 27 pays de l'UE, 3 pays de l'Espace économique européen (EEE) (Islande, Liechtenstein et Norvège) et 9 autres pays, à savoir 8 pays de l'OCDE (Australie, Canada, Chili, Corée, États-Unis, Japon, Mexique et Suisse) et la Croatie. La Nouvelle-Zélande ne dispose pas d'un IETMP intégré unique, mais chacune des 16 autorités régionales du pays est responsable de la mise en œuvre des normes nationales relatives à l'environnement, et recueille et gère de façon indépendante des informations sur les accords d'utilisation des ressources, y compris en ce qui concerne les émissions de polluants. La Turquie et Israël ont tous deux mené à terme un projet pilote d'IETMP.

13. Pour de plus amples informations, voir la page du site Internet de l'OCDE sur les ESD à l'adresse *www.oecd.org/env/exposure/esd*.

14. Voir dans Naiki (2010) une analyse comparative de la réglementation japonaise des produits chimiques et de REACH.

15. Pour de plus amples informations, voir la brochure intitulée *The Environment, Health and Safety Programme – Managing Chemicals through OECD*, disponible à l'adresse *www.oecd.org/dataoecd/18/0/1900785.pdf*.

16. Voir *www.who.int/iomc/en/*.

17. Voir *www.epa.gov/greenchemistry/pubs/grants.html*.

18. Voir *www.echemportal.org*.

19. Un degré de confiance très élevé signifie « au moins 9 chances sur 10 de tomber juste ».

20. Pour un examen plus complet de la modélisation utilisée pour projeter le risque paludéen, voir l'annexe 6.A.

21. La modélisation des zones à risque paludéen s'est appuyée sur une relation simple entre conditions climatiques et adéquation au vecteur du paludisme. En pratique, cependant, d'autres facteurs tels que la quantité et les variétés de végétation ou la présence d'eaux stagnantes sont également pertinents. En outre, du fait de l'absence de données mondiales, les futurs programmes de contrôle des vecteurs n'ont pas été pris en compte.

Références

Aardenne, J. van *et al.* (2010), *Climate and Air Quality Impacts of Combined Climate Change and Air Pollution Policy Scenarios*, *Rapport EUR 24572*, Centre commun de recherche, *Rapports scientifiques et techniques*, Office des publications de l'Union européenne.

AEE (Agence européenne pour l'environnement) (1999), *Chemicals in the European Environment: Low Doses, High Stakes?*, The EEA and UNEP Annual Message 2 on the State of Europe's Environment, AEE, Copenhague.

AEE (2010), *L'environnement en Europe : État et perspectives 2010 – Synthèse*, AEE, Copenhague.

AEE (2011), « Hazardous Substances in Europe's Fresh and Marine Waters – An Overview », *Rapport technique*, n° 8/2011, AEE, Copenhague.

AIE (Agence internationale de l'énergie) (2010), *World Energy Outlook 2010*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/weo-2010-en*.

Arnell, N.W. (2004), « Climate Change and Global Water Resources: SRES Emissions and Socio-Economic Scenarios », *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, vol. 14(1), pp. 31-52.

Banque mondiale (2001), *Development Economics Research Group Estimates*, Banque mondiale, *http://siteresources.worldbank.org/INTRES/Resources/AirPollutionConcentrationData2.xls*.

Beniston, M. et H.F. Diaz (2004), « The 2003 Heat Wave as an Example of Summers in a Greenhouse Climate Observations and Climate Model Simulations for Basel, Switzerland », *Global and Planetary Change*, vol. 44(1-4), pp. 73-81.

Black, R.E. *et al.* (2008), « Maternal and Child Undernutrition: Global and Regional Exposures and Health Consequences », *Lancet*, vol. 371(9608), pp. 243-260.

Bollen, J. et C. Brink (2011), « The Economic Impacts of Air Pollution Policies in the EU » (non publié), *www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/achtergronddocument-economic-impacts-air-pollution-policies-eu.pdf&sa=U&ei=YpLLTuytHMb54QTQx-Qx&ved=0CBAQFjAA&usg=AFQjCNFfOkYogs75AAJzcbGAocpYQEns_g*.

Bouwman, A.F., T. Kram et K. Klein Goldewijk (dir. pub.) (2006), *Integrated Modelling of Global Environmental Change: An Overview of IMAGE 2.4*, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, La Haye/Bilthoven.

Burke, E.J., S.J. Brown et N. Christidis (2006), « Modeling the Recent Evolution of Global Drought and Projections for the Twenty-First Century with the Hadley Centre Climate Model », *Journal of Hydrometeorology*, vol. 7(5), pp. 1113-1125.

Burtraw, D. *et al.* (2005), « Economics of Pollution Trading for SO_2 and NO_x », *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 30, pp. 253-289.

Cairncross, S. et V. Valdmanis (2006), « Water Supply, Sanitation and Hygiene Promotion », *in* D.T. Jamison, J.G. Breman, A.R. Measham, G. Alleyne, M. Claeson, D.B. Evans, P. Jha, A. Mills et P. Musgrove (dir. pub.), *Disease Control Priorities in Developing Countries*, 2e édition, Oxford University Press and the World Bank, Washington, DC.

Campbell-Lendrum, D., A. Prüss-Üstün et C. Corvalán (2003), « How Much Disease Could Climate Change Cause? », *in* A. McMichael, D. Campbell-Lendrum, C. Corvalán, K. Ebi, A. Githeko, J. Scheraga et A. Woodward (dir. pub.), *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*, OMS, Genève.

Carslaw, B.C. *et al.* (2011), « Recent Evidence Concerning Higher NO_x Emissions from Passenger Cars and Light Duty Vehicles », *Atmospheric Environment*, vol. 45(39), pp. 7053-7063.

CDC (Centers for Disease Control and Prevention) (2009), *Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals*, CDC, Atlanta, GA, *www.cdc.gov/exposurereport*.

CE (Commission européenne) (1996), « Directive 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution », *Journal officiel*, n° L 257 du 10/10/1996, pp. 0026-0040.

CE (2001), « Directive 2001/80/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2001 relative à la limitation des émissions de certains polluants dans l'atmosphère en provenance des grandes installations de combustion », *Journal officiel*, n° L 309 du 27/11/2001, pp. 0001-0021.

CE (2007), *REACH in Brief*, DG de l'environnement, CE, Bruxelles, *http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/pdf/2007_02_reach_in_brief.pdf*.

CE (2008), « European Union Risk Assessment Report: Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) », *Existing Substances Second Priority List*, vol. 80, EUR 23384 EN, Centre commun de recherche, Centre commun de recherche de la Commission européenne, Bruxelles.

CEE-ONU (Commission économique des Nations Unies pour l'Europe) (2010), « Hemispheric Transport of Air Pollution 2010: Executive Summary », *Informal Document*, n° 10, Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, Genève.

Clapp, C. *et al.* (2011), « Villes et marchés du carbone : Mécanisme pour un développement propre (MDP) et mise en œuvre conjointe (MOC) – Bilan de l'expérience des villes », *Document de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 29, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kgdzv8kphnx-fr*.

Confalonieri, U. *et al.* (2007), « Human Health », *in* M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (dir. pub.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, contribution du Groupe de travail II au *Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

Craig, M.H. *et al.* (1999), « A Climate-Based Distribution Model of Malaria Transmission in Africa », *Parasitology Today*, vol. 15(3), pp. 105-111.

Damstra, T. *et al.* (dir. pub.) (2002), *Global Assessment of the State of the Science of Endocrine Disruptors*, International Programme on Chemical Safety, OMS, Genève.

DEFRA (ministère britannique de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires rurales) (2007), *An Economic Analysis to Inform the Air Quality Strategy. Updated Third Report of the Interdepartmental Group on Costs and Benefits*, DEFRA, Londres.

Desai, M.A., S. Mehta et K.R. Smith (2004), *Indoor Smoke from Solid Fuels: Assessing the Environmental Burden of Disease*, Environmental Burden of Disease Series, n° 4, OMS, Genève.

Edejer, T. *et al.* (2005), « Cost Effectiveness Analysis of Strategies for Child Health in Developing Countries », *BMJ*, vol. 19, n° 331, novembre 2010.

EPA (Agence pour la protection de l'environnement des États-Unis) (2006), *Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants* (2006 Final), EPA, Washington, DC.

EPA (2010), *The Benefits and Costs of the Clean Air Act: 1990-2020*, Office of Air and Radiation, EPA, Washington, DC, *www.epa.gov/oar/sect812/aug10/fullreport.pdf*.

Fiore, A.M. *et al.* (2002), « Linking Ozone Pollution and Climate Change: The Case for Controlling Methane », *Geophysical Research Letters*, vol. 29, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2002GL015601*.

Forster, P. *et al.* (2007), « Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing », *in* S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (dir. pub.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

Freshfields Bruckhaus Deringer (2009), *China REACH: The PRC's Revised Regime for « New » Chemicals*, Briefing, juin 2009, Freshfields Bruckhaus Deringer, *www.freshfields.com/publications/pdfs/2009/jun09/26182.pdf*.

Gee, D. (2008), « Establishing Evidence for Early Action: The Prevention of Reproductive and Developmental Harm », *Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology*, vol. 102, pp. 257-266.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2007), « Bilan 2007 des changements climatiques : impacts, adaptation et vulnérabilité », contribution du Groupe de travail II au *Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden et C.E. Hanson (dir. pub.), Cambridge University Press, Cambridge.

Golding, J., K. Birmingham et R. Jones (2009), « Special Issue: A Guide to Undertaking a Birth Cohort Study: Purposes, Pitfalls and Practicalities », *Pediatric and Perinatal Epidemiology*, vol. 23(s1), pp. 1-236.

Grandjean, P. *et al.* (2007), « The Faroes Statement: Human Health Effects of Developmental Exposure to Chemicals in our Environment », *Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology*, vol. 102, pp. 73-75.

Hales, S., N. de Wet, J. Maindonald et A. Woodward (2002), « Potential Effect of Population and Climate Changes on Global Distribution of Dengue Fever: an Empirical Model », *Lancet*, vol. 360(9336), pp. 830-834.

Hales, S., S. Edwards et R. Kovats (2003), « Impacts on Health of Climate Extremes », *in* A.J. McMichael, D. Campbell-Lendrum, C. Corvalán, K. Ebi, A. Githeko, J. Scheraga et A. Woodward (dir. pub.), *Changement climatique et santé humaine – Risques et mesures à prendre*, OMS, Genève.

Hanley, N., D. Bell et B. Alvarez-Farizo (2003), « Valuing the Benefits of Coastal Water Quality Improvements Using Contingent and Real Behaviour », *Environmental and Resources Economics*, vol. 24, n° 3, pp. 273-285.

Hay, S.I., A.J. Tatem, C.A. Guerra et R.W. Snow (2006), « Foresight on Population at Malaria Risk in Africa: 2005, 2015 and 2030 », *Document d'examen de scénarios élaboré pour le Foresight Project, Detection and Identification of Infectious Diseases Project (DIID)*, Office of Science and Innovation, Londres, Royaume-Uni.

Hilderink, H.B.M. et P.L. Lucas (dir. pub.) (2008), *Towards a Global Integrated Sustainability Model: GISMO 1.0 Status Report*, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, La Haye/Bilthoven.

Holland, M. *et al.* (2005), *Final Methodology Paper (Volume 1) for Service Contract for Carrying Out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in Particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme*, AEAT/ED51014/Methodology Paper, Issue 4, CE-DG Environnement, Bruxelles.

Hutton, G. et L. Haller (2004), *Amélioration de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement dans le monde : Coûts et avantages*, OMS, Genève.

IIASA (2001), The Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies (GAINS) – Model, *http://gains.iiasa.ac.at/index.php/home-page*.

Johnstone, N., I. Haščič et M. Kalamova (2010), « Environmental Policy Design Characteristics and Technological Innovation: Evidence from Patent Data », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 16, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kmjstwtqwhd-en*.

Kiriyama, N. (2010), « Trade and Innovation: Report on the Chemicals Sector », *Documents de travail de l'OCDE sur la politique commerciale*, n° 103, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5km69t4hmr6c-en*.

Lavoie, E.T. *et al.* (2010), « Chemical Alternatives Assessment: Enabling Substitution to Safer Chemicals », *Environmental Science and Technology*, vol. 44(24), pp. 9244-9249.

Lejour, A.M., P. Veenendaal, G. Verweij et N. van Leeuwen (2006), *WorldScan: A Model for International Economic Policy Analysis*, *CPB Document*, n° 111, La Haye.

Mathers, C.D. et D. Loncar (2006), « Projections of Global Mortality and Burden of Disease from 2002 to 2030 », *PLoS Medicine*, vol. 3(11), pp. 2011-2030.

McMichael, A. *et al.* (2004), « Global Climate Change », *in* M. Ezzati, A. Lopez, A. Rodgers et C. Murray (dir. pub.), *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors*, OMS, Genève.

Meek, M.E. *et al.* (2011), « Risk Assessment of Combined Exposure to Multiple Chemicals: A WHO/IPCS Framework », *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 60, pp. S1–S14.

Mol, W.J.A., P.R. van Hooydonk et F.A.A.M. de Leeuw (2011), « The State of the Air Quality in 2008 and the European Exchange of Monitoring Information in 2010 », *ETC/ACC Technical Paper*, vol. 2011/1, The European Topic Centre on Air and Climate Change, Bilthoven.

Morel, C., J. Lauer et D.B. Evans (2005), « Cost Effectiveness Analysis of Strategies to Combat Malaria in Developing Countries », *BMJ*, vol. 3(331).

Naiki, Y. (2010), « Assessing Policy Reach: Japan's Chemical Policy Reform in Response to the EU's REACH Regulation », *Journal of Environmental Law*, vol. 22(2), pp. 171-196.

Narayanan, B.G. et T.L. Walmsley (dir. pub.) (2008), *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base*, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, West Lafayette.

National Research Council (2007), *Toxicity Testing in the Twenty-first Century: A Vision and a Strategy*, The National Academies Press, Washington, DC.

Newell, R.G. et N.E. Wilson (2005), « Technology Prizes for Climate Change Mitigation », *Discussion Paper*, n° 05-33, Resources for the Future, *www.rff.org/documents/RFF-DP-05-33.pdf*.

OCDE (2007), Données OCDE sur l'environnement : Compendium 2006/2007, OCDE, Paris.

OCDE (2009), *Les réseaux d'eau alternatifs : nouvelles options et implications pour les pouvoirs publics*, OCDE, Paris.

OCDE (2010a), *La fiscalité, l'innovation et l'environnement*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264087651-fr*.

OCDE (2010b), *Économie de la lutte contre le changement climatique : Politiques et options pour une action globale au-delà de 2012*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264073913-fr*.

OCDE (2010b), *Réduire les coûts de gestion des produits chimiques : Comment l'OCDE aide les gouvernements et l'industrie*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264087026-fr*.

OCDE (2010c), *Fuel Taxes, Motor Vehicle Emission Standards and Patents related to the Fuel-Efficiency and Emissions of Motor Vehicles*, OCDE, Paris.

OCDE (2011a), *Base de données de l'OCDE sur la santé 2011*, en ligne, Éditions OCDE, *http://stats.oecd.org/index.aspx?DataSetCode=HEALTH_STAT&lang=fr*.

OCDE (2011b), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264111332-fr*.

OCDE (2011c), *Benefits of Investing in Water and Sanitation: An OECD Perspective*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264100817-en*.

OCDE (2011d), « Sustainable Chemistry: Evidence on Innovation from Patent Data », *Series on Risk Management*, n° 25, OCDE, Paris.

OCDE (2011e), *Valuing Mortality Risk Reductions in Regulatory Analysis of Environmental, Health and Transport Policies: Policy Implications*, OCDE, Paris, *www.oecd.org/env/policies/vsl*.

OCDE (2011f), « WHO OECD ILSI/HESI International Workshop on Risk Assessment of Combined Exposures to Multiple Chemicals », *Series on Testing and Assessment*, n° 140, OCDE, Paris.

OMS (Organisation mondiale de la Santé) (2002a), *Rapport sur la santé dans le monde 2002 – Réduire les risques et promouvoir une vie saine*, OMS, Genève.

OMS (2002b), *Global Burden of Disease Estimates*, site Internet de l'OMS, *www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates_regional_2002/en/index.html#*.

OMS (2003), *Making Choices in Health: WHO Guide to Cost Effectiveness Analysis*, OMS, Genève.

OMS (2005), *Lancement par l'OMS d'un projet pour lutter contre les risques du radon*, site Internet de l'OMS, *www.who.int/mediacentre/news/notes/2005/np15/fr/index.html*.

OMS (2006), *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : Particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre. Mise à jour mondiale 2005*, OMS, Genève.

OMS (2008), *The Global Burden of Disease: 2004 Update*, OMS, Genève.

OMS (2009a), *Global Health Risks: Mortality and Burden of Disease Attributable to Selected Major Risks*, OMS, Genève.

OMS (2009b), *Protecting Health From Climate Change: Connecting Science, Policy and People*, OMS, Genève.

OMS (2009c), *Country Profile of Environmental Burden of Disease: China*, OMS, Genève, *www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/china.pdf*.

OMS (2009d), *Country Profile of Environmental Burden of Disease: India*, OMS, Genève, *www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/countryprofile/india.pdf*.

OMS/UNICEF (Fonds des Nations Unies pour l'enfance) (2010), *Progress on Drinking Water and Sanitation: 2010 Update*, WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation, New York/Genève.

Ontario (2001), *Ontario Regulation 397/01, Made under the Environmental Protection Act*, Ontario, Canada.

Pandey, K.D. *et al.* (2006), *Ambient Particulate Matter Concentrations in Residential and Pollution Hotspot Areas of World Cities: New Estimates based on the Global Model of Ambient Particulates (GMAPS)*, The World Bank Development Economics Research Group and the *Environment Department Working Paper*, Banque mondiale, Washington, DC.

Pattanayak, S.K., J.C. Yang, D. Whittington et K.C. Bal Kumar (2005), « Coping with Unreliable Public Water Supplies: Averting Expenditures by Households in Kathmandu, Nepal », *Water Resources Research*, vol. 41, n° W02012.

Patz, *J. et al.* (2007), « Climate Change and Global Health: Quantifying a Growing Ethical Crisis », *Ecohealth*, vol. 4, pp. 397-405.

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) (2007), *Global Environment Outlook 4: Summary for Decision Makers*, PNUE, Genève.

PNUE (2009), « Desk Study on Financing Options for Chemicals and Wastes », *Report of the Second Consultative Meeting of UNEP-led Consultative Process on Financing Options for Chemicals and Wastes*, Bangkok, 25-26 octobre 2009.

Popp, D. (2006), « Entice-BR: The Effects of Backstop Technology and R&D on Climate Policy Models », *Energy Economics*, vol. 28, pp. 188-222.

Prüss, A., D. Kay, L. Fewtrell et J. Bartram (2002), « Estimating the Burden of Disease from Water, Sanitation, and Hygiene at a Global Level », *Environmental Health Perspectives*, vol. 110, pp. 537-542.

Prüss-Üstün, A. et C. Corvalán (2006), *Prévenir la maladie grâce à un environnement sain : Une estimation de la charge de morbidité imputable à l'environnement*, OMS, Genève.

Prüss-Üstün, A., D. Kay, F. Fewtrell et J. Bartram (2004), « Unsafe Water, Sanitation and Hygiene », *in* M. Ezzati, A. Lopez, A. Rodgers et C. Murray (dir. pub.), *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors*, OMS, Genève.

Prüss-Üstün, A., R. Bos, F. Gore et J. Bartram (2008), *Safer Water, Better Health: Cost, Benefits and Sustainability of Interventions to Protect and Promote Health*, OMS, Genève.

Prüss-Üstün, A., C. Vickers, P. Haefliger et R. Bertollini (2011), « Knowns and Unknowns on the Burden of Disease Due to Chemicals: A Systematic Review », *Environmental Health*, vol. 10, p. 9.

Robine, J.M. *et al.* (2008), « Death Toll Exceeded 70,000 in Europe During the Summer of 2003 », *Comptes Rendus Biologies*, vol. 331(2), pp. 171-178.

Royal Society, The (2008), « Ground-Level Ozone in the 21st Century: Air Future Trends, Impacts and Policy Implications », *Science Policy Report*, vol. 15/08, The Royal Society, Londres.

Ruijven, B. van (2008), *Energy and Development – A Modelling Approach*, Université d'Utrecht, Utrecht.

Schoeters, G.E.R. *et al.* (2011), « Biomonitoring and Biomarkers to Unravel the Risks from Prenatal Environmental Exposures for Later Health Outcomes », *American Journal of Clinical Nutrition*, juin 2001.

Söderholm, P. (2009), *Economic Instruments in Chemicals Policy: Past Experiences and Prospects for Future Use*, Report to the Nordic Council of Ministers, TemaNord, Copenhague.

Waddington, H., B. Snilstveit, H. White et L. Fewtrell (2009), *Water, Sanitation and Hygiene Interventions to Combat Childhood Diarrhoea in Developing Countries. International Initiative for Impact Evaluation*, Synthetic Review 001, International Initiative for Impact Evaluation (3ie), Londres, *www.3ieimpact.org/admin/pdfs2/17.pdf*.

Whittington, D., W.M. Hanemann, C. Sadoff et M. Jeuland (2009), « Chapter 7: Sanitation and Water », *in* B. Lomborg (dir. pub.), *Global Crises, Global Solutions*, 2e édition, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

WWAP (Programme mondial des Nations Unies pour l'évaluation des ressources en eau), *Troisième Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, 2009*, UNESCO, Paris et Earthscan, Londres.

ANNEXE 6.A

Modélisation des informations de référence relatives à la santé et à l'environnement

La présente annexe décrit les aspects les plus importants du modèle GISMO (*Global Integrated Sustainability Model*), lequel est un volet du logiciel intégré IMAGE (voir le chapitre 1 et l'annexe consacrée au cadre de modélisation) et a servi dans ce chapitre à modéliser les impacts sanitaires (voir Hilderink et Lukas, 2008).

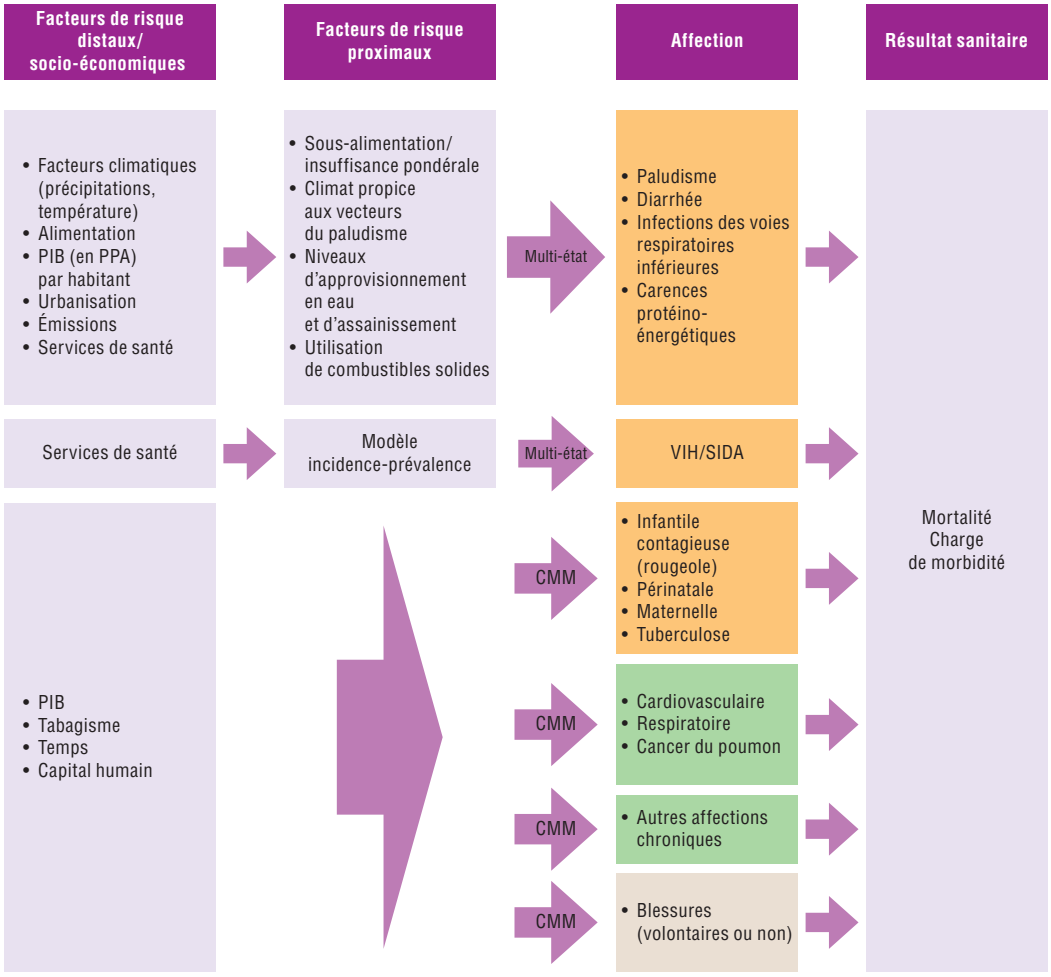
Modélisation des impacts sanitaires

Le principal objectif du modèle relatif à la santé est de décrire la charge de morbidité par sexe et âge. La méthodologie utilisée pour les maladies transmissibles (infectieuses) telles que le paludisme, la diarrhée, les infections des voies respiratoires inférieures, les carences protéiniques et le SIDA (graphique 6.A1) est une démarche de modélisation multi-état qui suit largement la démarche décrite dans le *Rapport sur la santé dans le monde 2002* (OMS, 2002a) et le Projet sur les priorités en matière de lutte contre les maladies (DCPP) (Cairncross et Valdmanis, 2006). Les états considérés sont l'exposition, la maladie et le décès. Ainsi, pour différents facteurs de risque sanitaire, leur incidence et le taux de mortalité qui leur est associé (c'est-à-dire le nombre de décès provoqués par une affection donnée, rapporté au nombre de cas diagnostiqués pour cette affection) sont pris en compte. Certains de ces facteurs (comme une insuffisance pondérale chez les enfants) peuvent aussi renforcer d'autres facteurs de risque (comme l'absence d'approvisionnement en eau amélioré). Le niveau des services sanitaires peut également modifier ces taux. La méthode utilisée pour projeter les autres causes de décès – maladies non transmissibles (chroniques), autres maladies transmissibles et blessures – repose sur Mathers et Loncar (2006), qui ont mis au point une méthode de mise en relation des fluctuations des taux de mortalité, pour les principales causes de décès, avec des facteurs tels que le PIB, le tabagisme et le capital humain. Cette méthode a été mise à contribution pour les projections de charge de morbidité mondiale (OMS, 2002b) et, par ailleurs, intégrée au modèle relatif à la santé. Les projections de mortalité imputable à une cause précise servent à déterminer les risques de mortalité relatifs imputables (et évitables) tels que les décrivent les travaux publiés sur le sujet.

Valorisation des impacts sanitaires

La modélisation des impacts sanitaires détaille les décès imputables à une cause précise par sexe et par âge dans les différentes régions prises en compte dans le modèle. Ces impacts sont exprimés en termes monétaires à l'aide de la valeur de la vie statistique (VVS) (voir Holland *et al.*, 2005). L'estimation utilisée pour cette dernière provient de l'OCDE

Graphique 6.A1. **Modélisation de la santé – vue d'ensemble**



Source : Hilderink et Lucas (dir. pub.) (2008), *Towards a Global Integrated Sustainability Model: GISMO 1.0 Status Report, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*, La Haye/Bilthoven.

et aboutit à 3.5 million USD de 2005 pour les régions de l'OCDE (OCDE, 2011e). Pour les autres régions, la valeur a été induite à partir du PIB par habitant en parité de pouvoir d'achat avec une hypothèse d'élasticité de 0.8. La VVS future est calculée directement à partir des évolutions du PIB par habitant.

Pollution de l'air intérieur

Le principal facteur de risque, pour les infections des voies respiratoires inférieures (pneumonie), est la pollution de l'air intérieur provoquée par l'usage de combustibles solides pour cuisiner ou se chauffer. L'effet est renforcé chez les enfants souffrant d'une insuffisance pondérale. La modélisation de l'exposition à la pollution de l'air intérieur repose sur le REMG (*Residential Energy Model Global*) (van Ruijven, 2008). La pollution de l'air intérieur augmente le risque non seulement de mortalité par pneumonie, mais aussi de maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) et de cancer du poumon. On soupçonne que d'autres affections sont liées à ce facteur de risque, mais les éléments probants étant limités, ils n'ont pas été intégrés. Les effets de l'exposition à ce facteur de risque sur la

santé peuvent toutefois être abaissés par une ventilation adéquate lorsque l'usager cuisine ou se chauffe. La méthodologie utilisée pour décrire la charge de morbidité imputable à ce facteur de risque est empruntée à l'OMS (Desai *et al.*, 2004).

Approvisionnement en eau et assainissement

Les projections du modèle relatives aux niveaux d'approvisionnement en eau et d'assainissement sont essentiellement décrites à l'annexe du chapitre 5 des présentes *Perspectives*. Il convient de noter que les taux de raccordement à l'approvisionnement en eau et aux installations d'assainissement sont calculés de manière distincte pour les populations urbaines et rurales, ce qui permet de déterminer la charge de morbidité diarrhéique. Compte tenu des différents niveaux régionaux de raccordement à l'approvisionnement en eau et aux installations d'assainissement, on utilise des risques relatifs pour calculer les niveaux d'incidence, à partir du « scénario réaliste » du DCPP (Cairncross et Valdmanis, 2006). L'incidence est modifiée par l'ampleur de l'insuffisance pondérable infantile (faible, modérée ou sévère ; voir Edejer *et al.*, 2005)et de la fièvre (McMichael, 2004). Les taux de létalité sont modifiés par l'ampleur de l'insuffisance pondérale et le recours à des solutés de réhydratation orale (SRO). Les niveaux d'insuffisance pondérale sont dérivés des quantités moyennes d'alimentation.

Paludisme

La méthodologie d'estimation du risque paludéen repose sur le modèle ARMA/MARA d'adéquation au paludisme (Craig *et al.*, 1999), qui cartographie les zones favorables aux moustiques vecteurs du paludisme en fonction de facteurs climatiques. Les moustiques propageant l'infection ne peuvent survivre que dans des régions à température moyenne élevée, sans gelées et suffisamment arrosées. On calcule pour chaque facteur climatique un indice d'adéquation qui indique les conditions dans lesquelles le moustique porteur est en mesure de survivre. Les niveaux climatiques requis pour l'adéquation maximale de 1 et pour l'adéquation minimale de 0 font l'objet du tableau 6.A1. Une fonction simple est utilisée pour calculer les indicateurs dont le niveau est compris entre 0 et 1 (Craig *et al.*, 1999). Tous ces facteurs sont calculés au niveau d'unités géographiques élémentaires d'un demi-degré, en exploitant les résultats du modèle IMAGE (Bouwman *et al.*, 2006). L'adéquation climatique totale au paludisme pour chaque unité géographique est déterminée par le plus faible de ces trois indices.

Tableau 6.A1. **Indices d'adéquation au paludisme – déterminants climatiques**

	Adéquation = 0	Adéquation = 1
Température mensuelle (degrés Celsius)	< 18 > 40	> 22 < 32
Température mensuelle minimale dans l'année (degrés Celsius)	< 0	> 4
Précipitations (mm/mois)	0	> 80

Source : Craig *et al.*, 1999.

Initialement élaboré pour l'Afrique, où sont enregistrés la majorité des cas de paludisme et des décès imputables à cette maladie, ce modèle est appliqué à l'ensemble de la planète pour GISMO. On estime la population susceptible exposée au risque paludéen à partir de l'adéquation climatique au paludisme. La lutte contre cette maladie en a diminué ou éradiqué les vecteurs dans la plupart des régions situées hors d'Afrique ; elle doit donc être

prise en compte. Les futurs programmes de lutte sont supposés ne pas changer. Les moustiquaires de lit imprégnées d'insecticide et la pulvérisation résiduelle intradomicilaire sont modélisées séparément en tant qu'actions possibles modifiant les taux d'incidence. La létalité liée au paludisme est modifiée par l'ampleur de l'insuffisance pondérale infantile et par la gestion des cas (c'est-à-dire les diagnostics et traitements) (Morel *et al.*, 2005).

Pollution de l'air extérieur

La modélisation de la pollution atmosphérique présentée dans ce chapitre comporte plusieurs aspects, à savoir les impacts sanitaires liés aux particules, l'ozone troposphérique, les simulations d'interventions publiques effectuées par WorldScan et la simulation d'un scénario de *réduction de 25 % de la pollution atmosphérique*. Chacun de ces thèmes est abordé ci-après.

Particules

Le modèle GUAM (*Global Urban Air quality Model*) a été mis au point pour estimer les concentrations de PM_{10} et leurs effets potentiels sur la santé humaine dans plus de 3 200 grandes villes de la planète (capitales nationales ou villes comptant plus de 100 000 habitants). GUAM vient du modèle GMAPS (Pandey *et al.*, 2006) et fait le lien entre les concentrations observées de PM_{10} et un ensemble de variables relatives à l'activité économique, à la population, à l'urbanisation et aux informations météorologiques.

À partir de ces concentrations, on détermine les effets sur la santé (maladies respiratoires aiguës, cancer du poumon et maladies cardio-pulmonaires) de la population exposée. Ces effets reposent sur l'hypothèse « une population – un niveau d'exposition moyen », ce qui signifie que l'exposition de la population urbaine est estimée comme étant la concentration urbaine moyenne modélisée. Il n'a pas été tenu compte des gradients de concentration dans la ville (de lieux de concentration extrême, par exemple), des différences d'exposition selon le groupe de population et de la pollution intérieure. L'évaluation n'intègre pas les effets de la pollution de l'air ambiant sur la population des villes de moins de 100 000 habitants ou des campagnes. Les autres hypothèses et incertitudes sont énumérées à l'encadré 6.A1.

Ozone troposphérique

Les concentrations moyennes mondiales d'ozone dans la troposphère (c'est-à-dire au niveau du sol) sont modélisées dans un « modèle de boîte » chimique atmosphérique. Dans un tel modèle, on calcule la différence entre les sources et les puits d'une composante, puis on la convertit en augmentation ou en diminution de la concentration atmosphérique. Les sources prises en compte ici sont : *i)* les émissions anthropiques et naturelles directes de précurseurs de l'ozone – CO, NO_x et COV, méthane (CH_4) compris ; et *ii)* la production *in situ* ou les pertes dans les processus photochimiques atmosphériques et les autres pertes telles que les dépôts ou transports vers la stratosphère. La chimie est décrite par un certain nombre de relations paramétrées. Le sort du radical hydroxyle (OH), espèce chimique à l'origine de la plupart des processus d'oxydation atmosphérique, revêt une importance cruciale. Les variations de la production d'OH dépendent des évolutions de l'ozone troposphérique, de la vapeur d'eau, des émissions de NO_x, de l'ozone stratosphérique et de la température. La perte d'OH est régie par les niveaux de CH_4, de CO et de COV. Comme la durée de vie des autres gaz dépend des concentrations d'OH, le système cesse d'être linéaire. Le modèle employé ici est une version actualisée et étendue du module chimique

Encadré 6.A1. **Hypothèses et incertitudes des modèles**

i) La plupart des données empiriques sur les concentrations de PM_{10} proviennent des pays développés, où les concentrations sont plutôt moins élevées que dans les pays en développement. Ces données sont utilisées pour évaluer les concentrations dans 3 245 villes et il en résulte des incertitudes pour l'extrapolation aux villes présentant des concentrations plus fortes.

ii) Deuxièmement, les données sur les concentrations de $PM_{2.5}$ étant rares (par rapport à celles sur les concentrations de PM_{10}), on présuppose qu'il est possible de dériver les concentrations de $PM_{2.5}$ en appliquant un ratio PM_{10}-$PM_{2.5}$ qui ne repose que sur un nombre d'observations assez réduit. Les ratios vont de 0.4 au Brésil à 0.65 dans la majorité des pays de l'OCDE. Les concentrations sont modélisées à l'aide du modèle GMAPS (*Global Model of Ambient Particulates*) de la Banque mondiale (Pandey *et al.*, 2006), en utilisant des données locales et nationales sur les émissions, la vitesse des vents, la densité urbaine et les précipitations, les émissions étant pondérées comme le tout premier de ces facteurs.

iii) Troisièmement, les impacts sanitaires sont basés sur les relations exposition-réponse (tel que décrites dans la littérature spécialisée) et l'on présuppose qu'elles sont identiques sur toute la planète et demeurent constantes dans le temps.

iv) Quatrièmement, on présuppose qu'aucun impact sanitaire supplémentaire ne se produit au-dessus de concentrations de PM_{10} de 150 µg/m^3 (c'est-à-dire que les impacts dus à des concentrations de PM_{10} supérieures à 150 µg/m^3 ne sont pas plus graves qu'à 150 µg/m^3).

v) La modélisation n'intégrant que les décès provoqués par la pollution particulaire, elle en sous-estime l'impact réel sur la santé humaine (c'est-à-dire qu'elle ne prend pas en compte les effets non mortels : bronchite chronique et aigue, asthme, etc.). Comme expliqué à l'encadré 6.2, le vieillissement de la population a une forte influence sur le nombre de décès prématurés imputables à la pollution de l'air, et ce dans tous les groupes de pays.

du modèle IMAGE utilisant le modèle de transport chimique atmosphérique mondial TM5. Van Aardenne *et al.* (2010) ont modélisé les champs de concentration d'ozone mondiaux pour neuf scénarios différents sur la période 2000-50. À partir de ces résultats, on a établi une relation – fonction des émissions de CH_4 et de CO – entre la concentration moyenne mondiale d'ozone et la concentration d'ozone dans les régions IMAGE. On a ensuite estimé la moyenne annuelle et l'écart type de la moyenne journalière maximale sur 8 heures à l'aide de relations empiriques (sur la base d'une analyse des données AirBase, Mol *et al.*, 2011). Ces deux paramètres sont suffisants pour calculer la SOMO35 (somme des moyennes d'ozone supérieures à 35 ppb) de chaque région.

Simulation des interventions publiques avec WorldScan

On évalue les conséquences macroéconomiques de simulations précises d'interventions publiques visant à lutter contre la pollution atmosphérique à l'aide du modèle mondial d'équilibre général appliqué WorldScan. Lejour *et al.* (2006) décrivent ce modèle en détail. Bollen et Brink (2011) ont étendu WorldScan aux émissions de polluants atmosphériques et à la possibilité d'investir dans la lutte contre les émissions en modélisant les courbes d'offre (c'est-à-dire de coût marginal) de l'atténuation des émissions de chaque secteur. Ces courbes représentent le potentiel et le coût des mesures techniques d'atténuation. Il s'agit principalement de possibilités d'atténuation en bout de chaîne, consistant à supprimer des

émissions sans toucher, pour l'essentiel, à l'activité même qui les génère. Les données WorldScan pour l'année de référence proviennent pour une large part de la *Base de données GTAP-7* (Narayanan et Walmsley, 2008), qui fournit des données intégrées sur le commerce bilatéral et les comptes d'entrées-sorties. La version employée ici compte 25 régions et 13 secteurs. WorldScan est paramétré pour simuler les écarts par rapport à une voie « normale » lorsque sont imposées des mesures publiques complémentaires précises à caractère fiscal ou restreignant les émissions. La voie normale employée ici est calibrée sur les séries chronologiques de population et de PIB par région, d'utilisation de l'énergie par région et par vecteur énergétique, et de prix mondiaux des combustibles fossiles par vecteur énergétique prises pour hypothèses par le *scénario de référence*. Les données relatives aux émissions de polluants atmosphériques proviennent d'IMAGE, tandis que le potentiel technique d'atténuation et son coût reposent sur les données du modèle GAINS à l'horizon 2030 (IIASA, 2011). Au-delà de cette échéance, on fait l'hypothèse d'une diminution autonome des coûts marginaux d'atténuation de 0.5 % par an dans chaque secteur. Cette diminution autonome est distincte des évolutions des prix des intrants (comme le travail et le capital) qui sont nécessaires pour aboutir à une atténuation des émissions qui, dans le modèle, est endogène. On suppose en outre, pour tenir compte d'un certain rythme de progrès technologique, que le potentiel maximal de diminution (en pourcentage des émissions non atténuées) augmente de 0.5 %.

Les politiques environnementales sont intégrées au modèle par l'introduction d'un prix correspondant aux émissions (Lejour *et al.*, 2006). Ce prix renchérit les activités polluantes et incitera à diminuer les émissions. En ce qui concerne les émissions directement liées à l'utilisation d'un intrant donné, comme par exemple les combustibles fossiles, le prix des émissions entraînera en fait une augmentation du coût d'utilisation de l'intrant ; s'ensuivra une baisse de la demande de celui-ci (du fait soit de la moindre consommation énergétique, soit du remplacement de combustibles émettant plus de carbone par des combustibles qui en émettent moins) puis, par conséquent, une diminution des émissions. S'agissant des émissions liées aux niveaux de production sectorielle, leur prix entraînera une augmentation du coût de production du produit associé et, là aussi, une baisse de la demande de ce produit, et donc une diminution des émissions. De plus, si des possibilités de lutte contre les émissions sont disponibles, elles seront mises en œuvre, en termes de coût marginal de ces actions, à concurrence du prix des émissions. Ce dernier peut être introduit de manière exogène, mais dans le scénario d'intervention publique présenté ici, on place une restriction sur la somme pondérée des émissions des différentes substances polluant l'air, afin d'obtenir une diminution des émissions de 25 % par rapport au *scénario de référence*. Les pondérations découlent de la contribution relative de ces substances à l'exposition aux particules. Dans ce cas, le prix des émissions est déterminé de manière endogène dans le modèle au niveau nécessaire pour ramener les émissions à l'objectif prédéterminé, qui représente le prix virtuel de cette restriction. Comme une réduction des émissions de 25 % nécessite un prix d'émissions très élevé dans certaines régions (en particulier celles où la part des émissions anthropiques dans les émissions totales de polluants atmosphériques est faible), on a introduit une limite supérieure pour ce prix, qui est liée à la VVS dans la région. Ainsi, la réduction effective des émissions n'est pas égale à 25 %, car dans certaines régions, il aurait fallu que leur prix dépasse cette limite supérieure pour obtenir une réduction de 25 %.

Scénario de réduction de 25 % de la pollution atmosphérique

Cette simulation visait à diminuer les concentrations de particules, sachant qu'il faut pour cela diminuer les émissions de polluants (à savoir NO_x, SO_2 et carbone noir) qui contribuent à ces dernières. L'évaluation des impacts sanitaires s'est appuyée sur l'exposition aux particules et à l'ozone issus des émissions de NO_x, de SO_2 et de carbone noir. Les taxes sur les émissions ont été utilisées pour représenter les politiques entraînant une réduction des émissions atmosphériques (c'est-à-dire visant à accroître le coût des activités polluantes) et, ainsi, diminuer les émissions par : *i)* des changements structurels (par exemple, passage à des sources d'énergie moins polluantes, améliorations de l'efficience énergétique, modifications de la demande, délocalisation des activités économiques) ; et *ii)* la prise de mesures en bout de chaîne visant à éliminer les émissions liées aux particules (par exemple, recours à des extracteurs ou des filtres). La réduction de la mortalité a été traduite en bénéfices économiques en appliquant une valeur de la vie statistique (VVS), puis ces résultats ont été comparés aux coûts des politiques afin d'obtenir une estimation grossière du rapport avantages-coûts pour chaque région. Dans la démarche présidant à ces calculs, les VVS varient selon le revenu : elles sont inférieures dans les pays dont le PIB par habitant est plus faible. On peut ainsi représenter de manière plus précise les préférences locales dans le processus décisionnel, au prix toutefois d'une moindre clarté de la vision mondiale d'une action environnementale donnée et des raisons pouvant justifier un financement international concerté.

Pour les besoins de cette simulation, il est entendu que la diminution relativement uniforme des émissions dans le monde entraînera des taux de mortalité variables selon le pays en raison des différences existantes de concentration et du niveau duquel ces émissions s'écartent – au-dessus ou au-dessous – des seuils d'inocuité pour la santé.

ANNEXE A

Cadre de modélisation

Introduction

Le travail d'analyse qui sous-tend les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* prend appui sur deux cadres de modélisation qui ont été couplés : *i)* le modèle économique ENV-Linkages ; et *ii)* une série de modèles environnementaux rattachés au cadre d'évaluation intégré IMAGE (Integrated Model to Assess the Global Environment) créé par l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL). La présente annexe propose une description synthétique de ces modèles et, pour l'approfondir, des liens vers des sites Internet. Les méthodes d'analyse et les outils employés dans les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* sont décrits plus précisément dans la documentation disponible à l'adresse *www.oecd.org/environment/outlookto2050*.

Vue d'ensemble du modèle ENV-Linkages[1]

Le modèle d'équilibre général de l'OCDE appelé « ENV-Linkages » est un modèle économique qui vise à faire ressortir les liens entre les activités économiques des différents secteurs et régions. Il établit également un rapport entre l'activité économique et les pressions environnementales, en particulier les émissions de gaz à effet de serre (GES). Le modèle effectue une projection de ces liens entre activité économique et émissions à l'horizon de plusieurs décennies, dans le but de faire apparaître les impacts à moyen et à long terme des politiques environnementales. Les modèles dynamiques d'équilibre général multirégionaux et multisectoriels tels que le modèle ENV-Linkages présentent de nombreux avantages, tels que leur dimension mondiale, leur cohérence générale et le fait qu'ils reposent sur des bases microéconomiques rigoureuses. Ces modèles sont les mieux adaptés à l'analyse des implications à moyen et à long terme des grandes orientations de l'action publique nécessitant des réaffectations notables entre les secteurs et les pays ou régions, mais aussi des retombées associées. En ce sens, ils constituent des outils tout indiqués pour l'évaluation d'un large éventail de politiques de réaction au changement climatique.

Le modèle ENV-Linkages a succédé au modèle GREEN, initialement mis au point par le Département des affaires économiques de l'OCDE (Burniaux *et al.*, 1992), et c'est désormais la direction de l'environnement de l'organisation qui en est chargé. Ses applications ont été décrites pour une large part dans différents chapitres des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030* (OCDE, 2008). Le projet conjoint du Département des affaires économiques et de la direction de l'environnement de l'OCDE sur l'économie de la lutte contre le changement climatique (OCDE, 2009) s'appuyait largement sur une version mise à jour de ce modèle. Plus récemment, ce dernier a servi à étudier les répercussions de la suppression des

subventions en faveur des énergies fossiles (AIE, OPEP, OCDE, Banque mondiale, 2010 ; Burniaux et Chateau, 2011), l'effet des ajustements fiscaux à la frontière (Burniaux *et al.*, 2010), la liaison directe et indirecte des marchés du carbone (Dellink *et al.*, 2010a), ainsi que les coûts et l'efficacité des engagements de Copenhague (Dellink *et al.*, 2010b). Une présentation plus approfondie de la version 3 du modèle ENV-Linkages – celle utilisée dans les présentes *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050* – se trouve dans Château *et al.* (2012).

Comment le modèle fonctionne-t-il ?

Le modèle ENV-Linkages s'articule principalement autour d'une base de données sur les économies nationales. Dans la version employée ici, l'économie mondiale est divisée en 15 pays ou régions (voir le chapitre 1, tableau 1.3) comportant chacun 26 secteurs économiques dont 5 secteurs liés à la seule production électrique (voir le tableau A.1 ci-après). Pour chacune des unités géographiques, on dispose d'un tableau d'entrées-sorties (généralement publié par un organisme national de statistique), qui recense tous les intrants d'un secteur (et non des différentes entreprises) et tous les secteurs qui achètent un produit particulier. Certains secteurs utilisent explicitement des terres ou d'autres ressources naturelles telles que la pêche (poissons) et la sylviculture (arbres).

Tableau A.1. **Secteurs et produits du modèle ENV-Linkages**

Secteurs	Description
Riz	Riz, décortiqué et non décortiqué.
Autres cultures	Blé : froment et méteil.
	Autres céréales : maïs, orge, seigle, avoine, autres céréales.
	Fruits et légumes : fruits, légumes, fruits et noix, pommes de terre, manioc, truffes.
	Graines oléagineuses : graines et fruits oléagineux, graines de soja, coprah.
	Canne et betterave : canne à sucre et betterave à sucre.
	Fibres végétales : coton, lin, chanvre, sisal et autres matières végétales brutes utilisées dans la fabrication des textiles.
	Autres cultures.
Élevage	Bétail : bovins, ovins, caprins, chevaux, ânes, mules et bardots, et leur semence.
	Autres produits animaux : porcins, volailles et autres animaux vivants, œufs dans leur coquille, miel naturel, escargots.
	Lait cru.
	Laine : laine, soie et autres matières animales brutes utilisées dans la fabrication des textiles.
Sylviculture	Sylviculture, exploitation forestière et activités de services apparentées.
Pêche	Pêche : chasse, piégeage et repeuplement en gibier, y compris activités de services liées, pêche, fermes aquacoles, activités de services liées à la pêche.
Pétrole brut	Segments de l'extraction du pétrole brut et des activités annexes à l'extraction de pétrole, hors reconnaissance.
Charbon	Extraction et agglomération de la houille, du lignite et de la tourbe.
Extraction et distribution du gaz	Segments de l'extraction de gaz naturel et des activités annexes à l'extraction de gaz, hors reconnaissance.
	Distribution par conduites de combustibles gazeux ; approvisionnement en vapeur et en eau chaude.
Électricité	Production, collecte et distribution.
Produits du pétrole et du charbon	Pétrole et coke : cokéfaction, produits pétroliers raffinés, traitement de combustibles nucléaires.

Tableau A.1. **Secteurs et produits du modèle ENV-Linkages** *(suite)*

Secteurs	Description
Produits alimentaires	Viande : viande et abats comestibles de bovins, ovins, caprins, chevaux, ânes, bardots, frais et réfrigérés.
	Autres viandes : viande et abats de porc. Conserves et préparations à base de viande, d'abats ou de sang, farines.
	Huiles végétales : huiles brutes ou raffinées de soja, de maïs, d'olive, de sésame, d'arachide, de graines d'olivier.
	Lait : produits laitiers.
	Riz transformé : riz blanchi ou semi-blanchi.
	Sucre.
	Autres produits alimentaires : poissons ou légumes préparés et en conserve, jus de fruits et de légumes, fruits préparés, toutes les farines de céréales.
	Boissons et produits du tabac.
Autres activités minières	Extraction de minerais métalliques, d'uranium, de pierres précieuses ; autres activités extractives.
Métaux non ferreux	Production et coulage de cuivre, d'aluminium, de zinc, de plomb, d'or et d'argent.
Fer et acier	Production de base et coulage.
Produits chimiques	Produits chimiques de base, autres produits chimiques, caoutchouc et produits en plastique.
Produits métalliques usinés	Produits de tôlerie, hors machines et équipements.
Papier et produits papetiers	Y compris l'édition, l'imprimerie et la reproduction de supports enregistrés.
Minéraux non métalliques	Ciment, plâtre, chaux, graviers, béton.
Autres activités manufacturières	Textiles : textiles et fibres artificielles.
	Articles d'habillement : vêtements, préparation et teinture des fourrures.
	Cuir : apprêt et tannage des cuirs, articles de voyage, de maroquinerie et de sellerie et de bourrellerie et chaussures.
	Autres matériels de transport : fabrication d'autres matériels de transport.
	Équipements électroniques : machines de bureau, machines comptables et matériel de traitement de l'information, équipements de radio, de télévision et de communication.
	Autres machines et équipements : machines et appareils électriques, instruments et appareils médicaux, de précision et d'optique, montres.
	Autres activités manufacturières : dont récupération.
	Véhicules à moteur : automobiles, poids lourds, remorques et semi-remorques.
	Bois : bois et produits en bois et en liège, à l'exception des meubles ; articles en vannerie et sparterie.
Services de transport	Transport par eau.
	Transport aérien.
	Autres transports : route, rail ; transports par conduites, activités auxiliaires de transport auxiliaires, agences de voyage.
Services	Commerce : tout le commerce de détail ; commerce de gros et activités d'intermédiaires du commerce de gros ; hôtels et restaurants ; réparation d'automobiles et de biens personnels et domestiques.
	Eau : captage, traitement et distribution.
	Commerce de détail de carburants.
	Communications : postes et télécommunications.
	Autres intermédiations financières : dont activités auxiliaires, sauf activités d'assurance et de caisses de retraite.
	Assurances : y compris activités de caisses de retraite (sauf sécurité sociale obligatoire).
	Autres activités de services aux entreprises : immobilier, location et activités de services aux entreprises.
	Loisirs et autres services : activités récréatives, culturelles et sportives, autres activités de services, ménages privés employant du personnel domestique.
	Autres services (publics) : administration publique et défense, sécurité sociale obligatoire, instruction, santé et action sociale, assainissement et enlèvement des ordures, voirie et activités similaires, activités associatives diverses, n.c.a., organisations et organismes extraterritoriaux.
Construction et logement	Construction : construction de logements, d'usines, de bureaux et de routes.
	Logement : propriété de logements (loyers fictifs des logements occupés par leurs propriétaires).

ENV-Linkages étant un modèle économique, il ne décrit pas les processus physiques ; il en fournit simplement une représentation synthétique à partir des relations entre intrants et extrants ressortant d'observations empiriques. En l'occurrence, il apparaît que les secteurs sont capables d'ajuster, au fil du temps, leur consommation d'intrants tels que le travail, le capital, l'énergie et les matières (voir plus bas « ***la production*** »).

Le cœur du modèle pour l'année de référence se compose d'un ensemble de matrices de comptabilité sociale (MCS) qui décrivent les liens entre les secteurs économiques et s'appuient sur la *Base de données GTAP*[2]. De nombreux paramètres clés reposent sur les informations obtenues à partir de différentes sources de données et études empiriques (voir Chateau *et al.*, 2011).

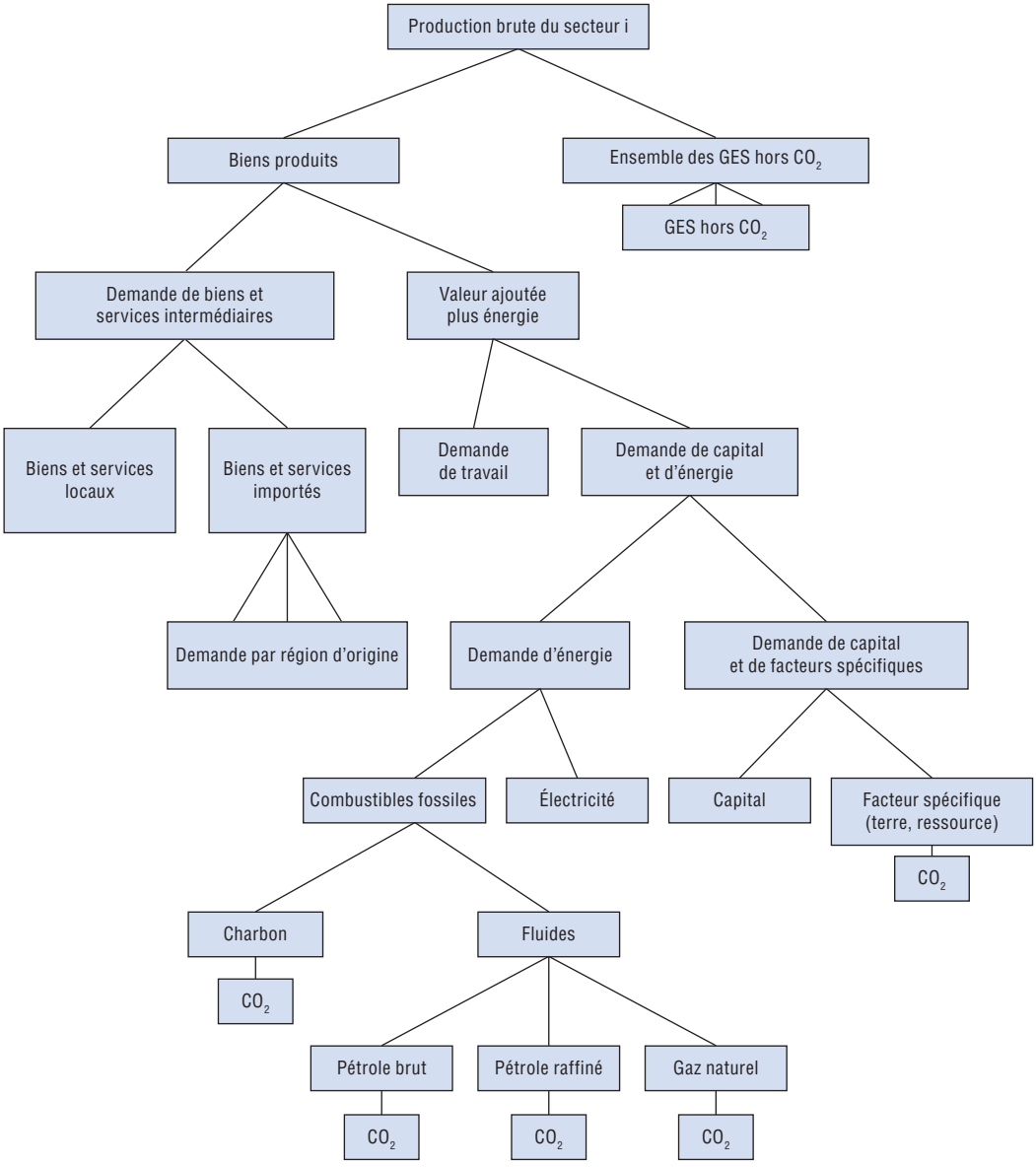
Les revenus issus de l'activité économique reflètent au final les dépenses de biens et de services des consommateurs (tels que les ménages et les pouvoirs publics). Le modèle ENV-Linkages part d'un ménage représentatif de la moyenne dans sa zone géographique et qui répartit son revenu disponible entre biens de consommation et épargne. Ce ménage est supposé prendre ses décisions en fonction d'attentes statiques de prix et de volumes pour la période en cours plutôt qu'adopter un comportement prédictif. Cela signifie que les consommateurs épargnent une proportion donnée de leur revenu, sans l'ajuster en fonction des événements futurs qui pourraient affecter ce dernier. La consommation des ménages, la demande et l'épargne sont mis en œuvre à travers un « système linéaire de dépenses élargi ». Étant donné qu'on suppose que les consommateurs n'ont pas un comportement prédictif, il convient d'être prudent dans l'étude de politiques que les ménages pourraient vraisemblablement anticiper, que l'on s'intéresse à une mesure en elle-même ou à ses conséquences. L'investissement (net de l'amortissement économique) est égal à la somme de l'épargne des administrations publiques, de l'épargne des consommateurs et des entrées nettes de capitaux étrangers.

La production est représentée dans le modèle à l'aide d'une suite de fonctions à élasticité de substitution constante (CES) emboîtées faisant intervenir quatre facteurs : le travail, le capital, l'énergie et une ressource naturelle propre au secteur (voir le graphique A.1 pour une représentation stylisée de cette structure). La production est supposée fonctionner dans un cadre de minimisation des coûts, de marchés parfaits et de technologie à rendements d'échelle constants. La substituabilité entre facteurs signifie que l'intensité d'utilisation de capital, d'énergie, de travail et de terre varie lorsque leurs prix relatifs changent : en cas de renchérissement du travail, par exemple, son utilisation fléchit par rapport à celle du capital, de l'énergie et de la terre. Les possibilités de ne plus recourir à des facteurs onéreux sont toutefois limitées. Certains secteurs, tels que l'agriculture ou la production d'énergie, ont une fonction de production ajustée pour tenir compte de leurs caractéristiques propres (par exemple, l'utilisation d'engrais est liée à l'utilisation de la terre dans la production de végétaux).

Dans ENV-Linkages, ***les échanges mondiaux*** sont représentés par un ensemble de flux bilatéraux entre régions. Dans chaque région, la demande totale d'importation de chaque bien est répartie entre les partenaires commerciaux en fonction de la relation entre leurs prix à l'exportation. La répartition des échanges entre les différentes partenaires est fonction de la variation des prix relatifs d'une région à l'autre. Cette spécification des importations – appelée spécification d'Armington – implique nécessairement que la demande suscitée par les exportations d'une région diminue dès lors que les prix intérieurs augmentent. Les taux de change entre les régions s'ajustent pour garantir que les soldes commerciaux ne sont pas affectés par l'action publique.

Dans chaque région, les administrations publiques perçoivent différents types de taxes pour financer les dépenses publiques. Par souci de simplicité, on postule dans le *scénario de référence* que ces dépenses croissent au même rythme que le PIB réel. En partant d'un flux donné d'épargne (ou de déficit) public, le budget de l'État s'équilibre *via* l'ajustement d'un transfert forfaitaire (impôt) aux ménages.

Graphique A.1. **Structure de production schématique du modèle ENV-Linkages**



L'équilibre du marché suppose que, d'une part, la production totale de tout bien ou service soit égale à la demande aux producteurs locaux augmentée des exportations et que, d'autre part, la demande totale soit répartie entre les demandes (finale et intermédiaire) aux producteurs locaux et la demande d'importations. Le cadre d'équilibre général garantit la formation d'un ensemble unique de prix relatifs, de sorte que la demande soit égale à l'offre sur tous les marchés simultanément (c'est-à-dire dans toutes les régions, pour tous les biens et tous les facteurs de production). Tous les prix sont exprimés relativement au *numéraire* du système de prix choisi comme indice des prix à l'exportation de l'OCDE pour les biens manufacturés. La mise en œuvre d'une politique économique dans le modèle se traduit par un nouveau processus d'équilibrage, et donc par un nouvel ensemble de prix et de volumes d'équilibre, à comparer à l'équilibre initial.

Les secteurs ayant trait à la terre, parmi lesquels trois secteurs agricoles et la sylviculture, ont des liens directs avec des indicateurs concernant le changement climatique (par exemple émissions dues à la déforestation), la biodiversité (par exemple terres couvertes de forêts) et l'eau. Le ***module utilisation des terres*** d'ENV-Linkages, qui a récemment reçu des améliorations, est calibré de manière à reproduire les relations entre utilisations des terres des modèles couplés IMAGE-LEITAP décrits plus bas. Les complexités sous-jacentes de la modélisation de l'utilisation des terres avec le modèle IMAGE et ses liens détaillés avec le modèle agricole LEITAP sont approchés dans le modèle ENV-Linkages de manière stylisée et cumulée, moyennant le recours à une élasticité propre à chaque région et secteur pour représenter les possibilités de passage d'un usage de la terre à un autre, par exemple la transformation d'un pâturage en terre cultivée.

La structure des facteurs de production de la catégorie ***énergie*** est particulièrement intéressante pour l'analyse du changement climatique et de l'impact sanitaire de la pollution locale de l'air. Dans le modèle, l'énergie est composée à la fois de combustibles fossiles et d'électricité. Les carburants fossiles sont de leur côté composés du charbon et des autres combustibles fossiles (pétrole brut, produits pétroliers raffinés et produits gaziers). On suppose un degré de substitution plus important parmi les autres combustibles que dans le cas de l'électricité et du charbon.

Dans le modèle, les ***émissions de CO_2*** issues de la combustion d'énergie sont directement liées à l'usage des différentes énergies dans la production. Les émissions d'autres GES sont liées à la production. Les sources d'émissions de GES hors CO_2 étudiées dans le modèle sont les suivantes : *i*) le méthane issu de la culture du riz et de l'élevage (fermentation entérique et gestion des effluents), de l'extraction de charbon et de pétrole brut, du gaz naturel et des services (décharges) ; *ii*) l'hémioxyde d'azote issu des cultures (engrais azotés), de l'élevage (gestion des effluents), des produits chimiques (processus industriels sans combustion) et des services (décharges) ; et *iii*) les gaz industriels (SF_6, PFC et HFC) issus de l'industrie chimique (mousses, acide adipique, solvants), de la production d'aluminium, de magnésium et de semi-conducteurs. Ces émissions sont étalonnées à l'aide des données historiques collectées par l'Agence internationale de l'énergie (AIE, 2010a). En ce qui concerne les émissions d'autres GES que le CO_2, l'AIE s'appuie sur la *Base de données EDGAR 4.1* mise au point par la PBL. Pour établir les projections des émissions de gaz à effet de serre hors CO_2 et répartir les diverses sources entre les activités des différents secteurs économiques, le modèle recourt aux informations de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis.

Comment élaborer des projections à partir du modèle ?

L'approche d'élaboration des projections du modèle ENV-Linkages est complexe ; contrairement aux modèles partant du principe que l'économie suit un rythme de croissance constant, il peut produire des représentations plus réalistes des principales variables à l'horizon choisi.

Le processus d'étalonnage du modèle ENV-Linkages s'effectue en trois étapes (*cf.* Chateau *et al.*, 2012) :

i) Un certain nombre de paramètres sont étalonnés pour représenter les données de 2004 sous la forme d'un équilibre économique initial. On appelle ce processus l'étalonnage statique.

ii) La base de données de 2004 est actualisée pour 2007 au moyen d'une simulation dynamique du modèle destinée à reproduire les tendances historiques sur la période. Le niveau des prix est en outre corrigé de manière à ce que toutes les valeurs du modèle soient exprimées en dollars réels de 2010, sur la base des parités de pouvoir d'achat établies par le FMI.

iii) La projection de référence pour l'horizon 2008-50 s'appuie sur des hypothèses de convergence conditionnelles de productivité du travail et d'autres facteurs socio-économiques (tendances démographiques, évolution future des prix de l'énergie et amélioration de l'efficacité énergétique ; voir Duval et de la Maisonneuve, 2009). Ces hypothèses de convergence servent ensuite à caractériser l'évolution des principales variables économiques et environnementales.

iv) On obtient ensuite la projection de référence à l'aide d'une exécution dynamique du modèle sur la période 2007-50, en conservant ces variables clés exogènes mais en laissant les paramètres du modèle s'ajuster de manière endogène. Ainsi, les paramètres du modèle sont étalonnés à l'aide de ses relations structurelles (fonctions de production, préférences des ménages, etc.) pour simuler l'évolution des principales variables dans le temps. Il convient de souligner que, lorsque les simulations de l'action publique s'effectuent à partir de cette base étalonnée, les paramètres du modèle sont fixés de manière exogène, alors que ses variables sont totalement endogènes. Par exemple, si le PIB est exogène dans la projection de référence, il devient totalement endogène dans les simulations de l'action publique.

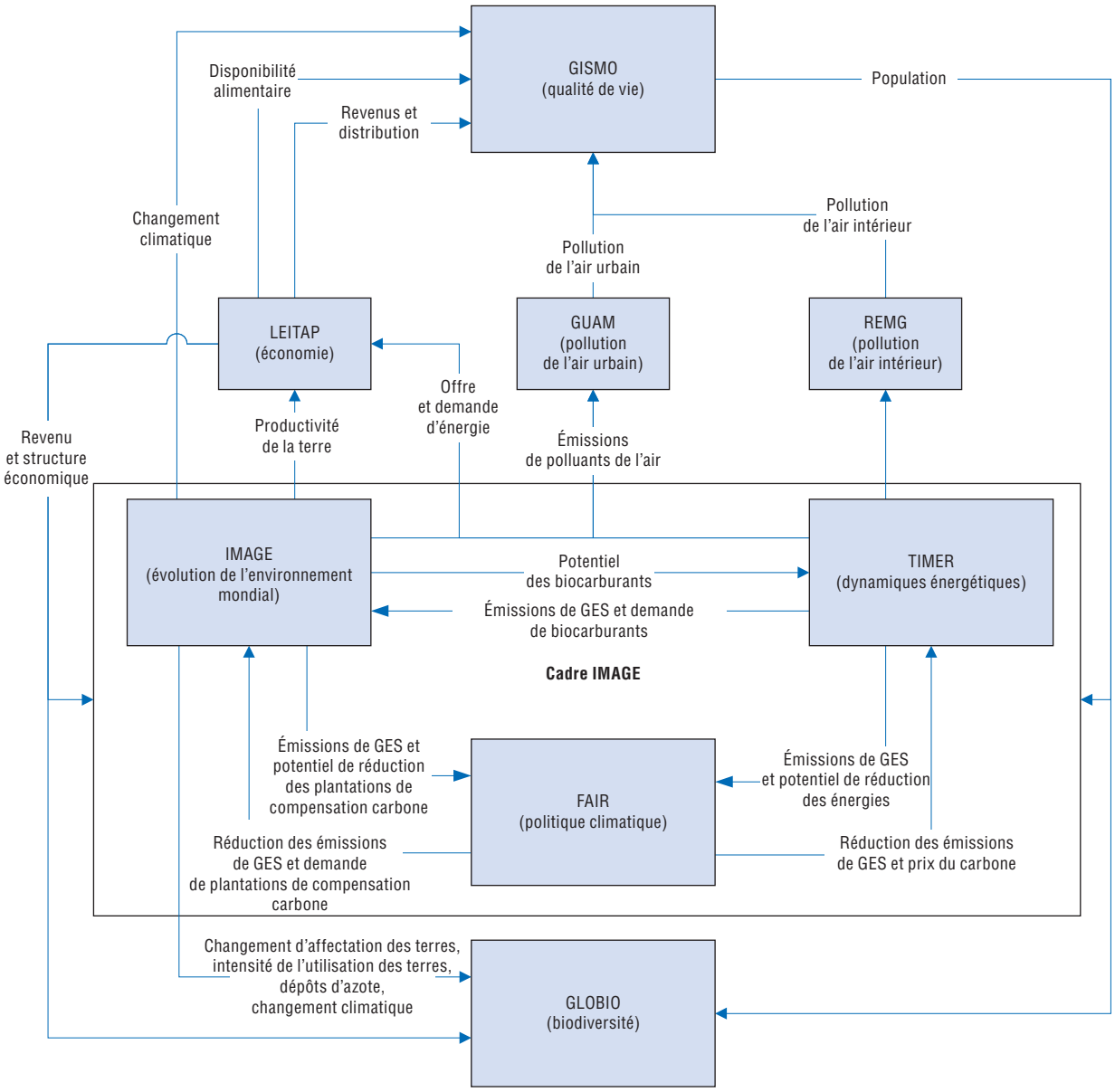
Le *scénario de référence* a été ajusté pour tenir compte des effets de la crise économique de 2008-09 et des projections à moyen terme de la Banque mondiale (2010), du FMI (2010) et de l'OCDE (2010). Notons que, tandis que ce scénario ne suppose aucune nouvelle mesure concernant les problèmes environnementaux abordés dans les *Perspectives*, il intègre toutefois les politiques énergétiques énumérées dans les projections de référence (politiques actuelles) en matière énergétique de l'AIE (2009a et b ; 2010b). Il prend également pour hypothèse que le système communautaire d'échange de quotas d'émission (SCEQE) de GES est déployé de 2006 à 2012, le prix des crédits d'émission passant progressivement de 5 à 25 USD constants d'ici à 2012, et qu'il n'est pas étendu par la suite[3].

Le cadre de modélisation IMAGE

Les scénarios et projections des *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* sont le résultat d'une analyse intégrée de l'interaction entre économie et environnement. La section précédente décrivait la modélisation économique avec le modèle ENV-Linkages, et IMAGE représente l'outil central de l'analyse environnementale. Les données économiques décrites par le modèle ENV-Linkages orientent le cadre de modélisation IMAGE, qui consiste en une suite de modèle reliés par des flux de données harmonisés (graphique A.2).

IMAGE est un cadre d'évaluation intégré dynamique servant à modéliser les changements au niveau mondial. Développé au sein de l'Institut national néerlandais de la santé publique et de l'environnement (RIVM), il visait initialement à évaluer l'impact du changement climatique anthropique (Rotmans, 1990). Il a ensuite été enrichi de façon à permettre une couverture plus complète des changements planétaires (IMAGE team, 2001). Aujourd'hui, ses principaux objectifs sont une contribution à la compréhension scientifique et à la prise de décision *via* la quantification de l'importance relative des principaux processus et interactions dans le système société-biosphère-climat[4].

Graphique A.2. **Vue d'ensemble du cadre de modélisation IMAGE**



Le cadre IMAGE divise le monde en 24/26 régions (voir le tableau 1.3 du chapitre 1) pour la plupart des paramètres socio-économiques et en mailles géographiques de 0.5 × 0.5 degré[5] pour l'utilisation des terres et les paramètres environnementaux. Du fait de cette complexité intermédiaire, il permet de procéder à des analyses qui tiennent compte de caractéristiques clés du monde physique (par exemple les caractéristiques pédologiques et climatiques locales des technologies) sans nécessiter des temps de calcul excessifs. L'encadré central du graphique A.2 comporte le cadre de modélisation IMAGE utilisé pour établir les présentes *Perspectives de l'environnement de l'OCDE*. Il s'agit de la version 2.5 d'IMAGE, mise à jour à partir de la version 2.4, décrite dans Bouwman *et al.* (2006).

Outre la relation simple unidimensionnelle entre les facteurs déterminants et les changements à l'œuvre dans l'environnement, les flux physiques d'énergie et la disponibilité des terres représentent des éléments d'importance et parfois des facteurs limitant dans l'évolution environnementale. Dans les présentes *Perspectives*, ces derniers éléments ont été intégrés de manière explicite, et ces deux ensembles de variables occupent une position centrale dans le cadre de modélisation : à côté du lien qui va de la modélisation économique du modèle ENV-Linkages à IMAGE, l'utilisation de l'énergie est modélisée de manière approfondie dans TIMER (Targets IMage Energy Regional Model), qui est centré sur la consommation d'énergie par zone géographique, aux progrès de l'efficacité énergétique, aux combustibles de substitution, à l'offre et aux échanges de combustibles fossiles et aux technologies des énergies renouvelables. Il calcule également les émissions de GES, des précurseurs de l'ozone et des composés acidifiants (voir plus bas). Les facteurs d'utilisation des terres (demande, production et commerce agricoles) sont traités avec le modèle LEITAP (décrit ci-après).

Certains des modèles du graphique A.2 sont décrits ailleurs dans les *Perspectives* – voir par exemple l'annexe 6.A du chapitre 6 sur la santé et l'environnement à propos du modèle s'intéressant aux aspects sanitaires de la qualité de vie (GISMO), ou les modèles concernant la qualité de l'air extérieur et intérieur (GUAM et REMG).

Terres et climat

Un aspect important du modèle IMAGE réside dans la description géographiquement explicite des modifications de l'utilisation des terres et de la couverture du sol. Le modèle distingue 14 types de couvertures naturelles ou forestières et 6 types de couvertures artificielles. Le module « terres et climat » d'IMAGE calcule les changements de l'utilisation des terres en fonction de la production d'aliments destinés à la consommation humaine ou animale, de fourrage, d'herbe et de bois de chaque région, ainsi que les modifications apportées à la végétation naturelle par le changement climatique. Il devient ainsi possible de calculer les émissions et les échanges de carbone imputables à la modification de l'utilisation des terres, aux écosystèmes naturels et aux systèmes de production agricole. Le système atmosphère-océan calcule ensuite l'évolution de la composition de l'atmosphère et du climat à partir de ces émissions et de celles indiquées par le modèle TIMER.

Le modèle d'utilisation des terres décrit les systèmes de production végétale et animale sur la base de la demande agricole, de la demande de cultures vivrières et fourragères, de produits d'origine animale, de cultures énergétiques et de produits de la sylviculture. Un module consacré aux productions végétales, qui repose sur l'approche des zones agro-écologiques employée par la FAO (FAO, 1978-81), calcule de façon géographiquement explicite les rendements des différents groupes de cultures et des pâturages, ainsi que les superficies utilisées pour leur production, en fonction du climat et de la qualité des sols. Lorsqu'une extension des superficies agricoles s'impose, une « carte d'adéquation » détermine l'ordre de sélection des cellules de la grille en fonction du rendement agricole potentiel de celles-ci et de leur proximité avec d'autres zones agricoles, les ressources en eau et les établissements humains. Un plan d'occupation des sols en 1970 établi à partir d'observations satellites et d'informations statistiques est utilisé comme carte de départ. Pour la période 1970-2000, le modèle est étalonné de façon à concorder pleinement avec les statistiques de la FAO. Pour la période 2001-50, les simulations sont obtenues à partir des

données issues des modèles TIMER et LEITAP et d'hypothèses supplémentaires, par exemple concernant l'évolution des technologies, l'amélioration des rendements et l'efficacité des systèmes d'élevage.

Les modifications du couvert végétal naturel sont simulées dans IMAGE 2.5 en se fondant sur une version modifiée du modèle de végétation BIOME (Prentice *et al*., 1992). Ce modèle calcule les changements de végétation potentielle pour 14 types de biomes sur la base de caractéristiques climatiques. La végétation potentielle est la végétation « d'équilibre » censée s'imposer à terme dans les conditions climatiques données.

Les conséquences des changements d'affectation des terres et de couverture du sol pour le cycle du carbone sont simulées au moyen d'un modèle géographiquement explicite du cycle terrestre du carbone, qui simule les bassins et flux de carbone mondiaux et régionaux (les bassins de carbone incluant la végétation qui y vit, ainsi que plusieurs stocks de carbone enfouis dans le sol). Il prend en compte d'importants mécanismes de rétroaction qui sont en rapport avec l'évolution du climat (par exemple, caractéristiques de croissance différentes), les concentrations de dioxyde de carbone (fertilisation par le carbone) et l'utilisation des terres (par exemple, conversion de terres portant une végétation naturelle en terres agricoles ou *vice versa*). En outre, il permet d'évaluer le potentiel de séquestration du carbone de la végétation naturelle et des plantations créées à cet effet.

Le modèle de cycle du carbone décrit également le carbone présent dans les systèmes atmosphérique et océanique, les flux entre ces systèmes ainsi que leurs effets sur les concentrations de GES dans l'atmosphère – et donc sur le changement climatique (van Minnen *et al*., 2000).

Dans le cadre IMAGE, les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques servent à calculer les concentrations de GES, de précurseurs de l'ozone et d'éléments chimiques impliqués dans la formation des aérosols à l'échelle mondiale. Sauf dans le cas du CO_2 (voir le cycle du carbone), ces calculs s'appuient sur le *Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (GIEC). Tel qu'il est calculé, le changement climatique indiqué correspond à une moyenne mondiale, établie à l'aide d'une version légèrement adaptée du modèle climatique MAGICC 6.0, également largement utilisé par le GIEC (Schaeffer et Stehfest, 2010). Les changements climatiques ne se manifestent pas de la même manière sur toute la surface du globe, et les régimes de température et de précipitations varient d'un climat à l'autre. Par conséquent, les changements de température et de précipitations pour chaque maille géographique de 0.5 × 0.5 degré sont différenciés au moyen de l'approche du GIEC, en vue d'obtenir des structures mondiales. Cette approche inclut la méthode proposée par Schlesinger *et al*. (2000), qui tient compte de l'effet des aérosols sulfatés de courte durée sur la température de la région. La version 2.5 d'IMAGE utilise des projections de températures et de précipitations issues du modèle climatique HadCM2 exploité par l'Office météorologique du Royaume-Uni (données obtenues auprès du Centre de distribution des données du GIEC).

Stress hydrique

Les capacités du module terres et climat d'IMAGE ont récemment été étendues grâce à une association avec le modèle LPJmL (LundPotsdam-Jena managed Land), afin de mieux simuler le cycle terrestre du carbone et la distribution naturelle de la végétation à l'échelle mondiale. Cette combinaison inclut également un modèle hydrologique mondial et une meilleure modélisation des cultures (Bouwman *et al*., 2006). Le modèle LPJmL, initialement

un modèle dynamique de la végétation mondiale (Sitch *et al.*, 2003), s'est étendu depuis aux terres exploitées (Bondeau *et al.*, 2007) et au cycle hydrologique (Gerten *et al.*, 2004). Pour cette édition des *Perspectives*, nous avons utilisé le modèle IMAGE 2.5 sans le modèle LPJmL associé. En revanche, ce dernier a servi, seul, comme modèle pour l'analyse du stress hydrique (chapitre 5).

Le modèle hydrologique LPJmL a été validé à partir des observations de débit de 300 bassins fluviaux du monde entier (Biemans *et al.*, 2009), de la consommation d'eau et de l'utilisation d'eau en irrigation (Rost *et al.*, 2008). En établissant un lien avec le modèle hydrologique LPJmL, les scénarios IMAGE modélisent dorénavant aussi l'évolution future de la disponibilité en eau, de l'utilisation d'eau en agriculture et d'un indicateur de stress hydrique. Les disponibilités en eau, soit en l'occurrence les ressources renouvelables, sont calculées par le module hydrologique du modèle LPJmL, bien que les eaux des aquifères profonds ne soient pas prises en compte. Le modèle LPJmL estime également la demande d'eau d'irrigation à partir de l'écart entre l'excédent de précipitations et l'évapotranspiration potentielle du ou des types de cultures pratiquées sur les terres irriguées (pour davantage d'informations, voir l'annexe 5.A au chapitre 5). La demande actuelle des autres secteurs (ménages, industrie manufacturière, électricité et élevage) provient des calculs réalisés avec le modèle WaterGAP pour les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030* (OCDE, 2008). Les projections de WaterGAP établies en 2008 ont simplement été adaptées pour tenir compte des différences dans l'évolution de facteurs importants depuis cette édition des *Perspectives*, tels que la valeur ajoutée industrielle et la production d'électricité (thermique) par combustible selon les projections du couple IMAGE-TIMER.

Offre et utilisation de terres agricoles[6]

Les facteurs d'utilisation des terres du cadre de modélisation IMAGE sont traités par le modèle LEITAP pour définir des taux de croissance de la production par secteur, les changements d'affectation des terres et le degré d'intensification résultant du progrès technique endogène estimé par la FAO (Bruinsma, 2003) et d'autres facteurs endogènes.

LEITAP est un modèle statique appliqué d'équilibre général, multirégional et multisectoriel, reposant sur la théorie microéconomique néoclassique (Nowicki *et al.*, 2006 et van Meijl *et al.*, 2006). Il permet la substitution des différents facteurs de production primaires (terres, travail, capital et ressources naturelles) et facteurs de production intermédiaires (tels que l'énergie ou les aliments du bétail). Il autorise également une substitution entre différentes sources d'énergie, y compris les biocarburants (Banse *et al.*, 2008) et leurs sous-produits. Les courbes d'offre de la terre dans LEITAP représentent les superficies totales disponibles pour l'agriculture, classées par niveau d'adéquation selon les règles d'affectation du cadre IMAGE. Ce dernier formule également des hypothèses propres à chaque scénario pour la décomposition de l'élevage dans différents systèmes, avec des conséquences en termes de composition des aliments du bétail, de conversion des terres et de productivité globale.

Pour modéliser les biocarburants dans la production d'énergie, le modèle GTAP-E (Burniaux et Truong, 2002) a été retenu et appliqué au secteur pétrolier, permettant une substitution entre le pétrole brut, l'éthanol et le biodiesel. La structure emboîtée des fonctions de production CES du modèle GTAP-E implique que la demande de biocarburant soit déterminée par le prix relatif du pétrole brut par rapport à l'éthanol et au biodiesel, taxes et subventions incluses. La substitution entre les différentes catégories de produits est supposée être presque parfaite.

Les dotations régionales en travail, en capital et en ressources naturelles sont fixes et totalement employées, tandis que l'offre de terres est modélisée par une courbe d'offre foncière (Eickhout *et al.*, 2008), qui spécifie la relation entre l'offre de terres et une valeur locative des terres dans chaque région. La courbe régionale d'offre foncière détermine l'accroissement de la production qui résulte de la combinaison d'une expansion des superficies et d'une intensification de leur utilisation. Le travail est divisé en deux catégories – qualifié et non qualifié – qui sont considérées comme des substituts imparfaits dans le processus de production. La terre et les ressources naturelles sont des facteurs de production hétérogènes, une hétérogénéité prise en compte à l'aide d'une fonction à élasticité de transformation constante (CET) qui régit la répartition de ces facteurs de production dans les différents secteurs agricoles. Les marchés du capital et du travail sont segmentés entre agriculture et activité non agricole. La mobilité du capital et du travail est supposée totale au sein de chacun de ces groupes sectoriels, mais imparfaite d'un secteur à l'autre.

Énergie[7]

Le modèle du système énergétique mondial TIMER (Targets IMage Energy Regional Model) a été élaboré pour simuler des *scénarios de référence* de l'énergie et des scénarios d'atténuation du changement climatique à long terme. Il décrit les investissements dans différentes énergies et l'utilisation de celles-ci, en fonction de l'évolution technologique et de l'épuisement des ressources. Le modèle fonctionne à partir de scénarios macroéconomiques et d'hypothèses de progrès technique, de niveaux de préférence et de restriction du commerce énergétique provenant du modèle ENV-Linkages. Il permet de montrer comment évoluent dans le temps l'intensité énergétique, les coûts de l'énergie et les techniques concurrentes d'approvisionnement en énergie non fossile. Il donne la consommation d'énergie primaire et finale par type d'énergie, par secteur et par zone géographique, l'accroissement des capacités et leur utilisation, les indicateurs de coûts, et enfin les émissions de GES et d'autres substances.

Dans le modèle TIMER, la mise en œuvre de l'atténuation est généralement modélisée à partir de signaux de prix (tels qu'une taxe sur le dioxyde de carbone). Une taxe carbone (qui sert d'indicateur générique de la politique climatique) suppose des investissements supplémentaires dans l'efficacité énergétique, le remplacement des énergies fossiles, la bioénergie, le nucléaire, l'énergie solaire, l'éolien et la séquestration du carbone. La sélection d'options repose sur un modèle logit multinomial attribuant des parts de marché sur la base des coûts de production et des préférences (les options meilleur marché et plus attrayantes obtiennent une part de marché supérieure, mais il n'y a pas d'optimisation totale) (de Vries *et al.*, 2001).

Le modèle TIMER décrit toute la chaîne depuis la demande de services d'énergie (énergie utile) jusqu'à l'offre provenant de différentes sources d'énergie primaire, avec les émissions qui y sont associées. Les différentes étapes sont reliées entre elles par la demande d'énergie et par les mécanismes de rétroaction, principalement à travers les prix de l'énergie. Le modèle TIMER comporte trois types de sous-modèles : *i)* modèle de la demande d'énergie ; *ii)* modèles de conversion de l'énergie (production d'électricité et d'hydrogène) ; et *iii)* modèles d'approvisionnement en énergie primaire.

Régimes internationaux de politique climatique[8]

L'outil d'aide à la décision publique FAIR (Framework to Assess International Regimes), qui vise à différencier les engagements, a été conçu pour étudier les incidences sur l'environnement et sur les coûts de la réduction des émissions de différents régimes et engagements internationaux devant permettre d'atteindre des objectifs climatiques à long terme, tels que la stabilisation des concentrations de GES dans l'atmosphère (den Elzen *et al.*, 2005).

Le modèle FAIR se compose de trois modèles reliés entre eux :

- Un modèle climatique qui calcule l'impact climatique de profils des émissions mondiales et des scénarios d'émissions, et détermine un objectif de réduction des émissions mondiales équivalent à la différence entre le *scénario de référence* des émissions et le profil des émissions mondiales correspondant à une politique climatique donnée.
- Un modèle d'allocation des émissions, qui calcule des quotas régionaux d'émissions de GES pour différents régimes, dans l'optique de différencier les engagements futurs dans le cadre de l'objectif mondial de réduction déterminé par le modèle climatique.
- Un modèle des coûts de la réduction des émissions, qui calcule ces coûts et le niveau des émissions après échanges pour chaque région, sur la base des quotas d'émissions établis par le modèle d'allocation des émissions selon une approche du moindre coût. Le modèle prend en compte totalement les mécanismes de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto, les échanges de droits d'émissions et la substitution des réductions entre les différents gaz et les différentes sources.

Les calculs du modèle concernent les 24/26 régions du monde du modèle IMAGE. Les émissions des six gaz à effet de serre mentionnés dans le protocole de Kyoto sont converties en équivalent dioxyde de carbone (voir le chapitre 3), lequel représente la somme des émissions pondérées par leur potentiel de réchauffement de la planète. Le cadre du modèle intègre différents ensembles de données sur les émissions passées, les *scénarios de référence*, les profils d'émissions et les courbes de coûts de la réduction des émissions, de manière à évaluer la sensibilité des résultats à la variation de ces facteurs essentiels.

Ces dernières années ont été mises en œuvre de nombreuses extensions et améliorations du modèle FAIR, à mesure que de nouvelles architectures mondiales étaient proposées pour les accords devant succéder au protocole de Kyoto. En particulier, les engagements dits de Copenhague sont pris en compte et les résultats qui en sont attendus sont analysés, ce qui fait ressortir les incertitudes contenues dans ces engagements (den Elzen *et al.*, 2010).

Biodiversité

Biodiversité terrestre[9]

La modèle GLOBIO[10], y compris « GLOBIO-aquatic », a servi à calculer l'évolution de l'abondance moyenne des espèces (AME). Cet indicateur reproduit l'effet conjugué des facteurs de diminution de la biodiversité, à partir d'une série facteurs directs et indirects issus du cadre IMAGE couplé au modèle économique LEITAP (voir le chapitre 4). L'effet conjugué sur la biodiversité est calculé au moyen du modèle GLOBIO3 pour les écosystèmes terrestres (Alkemade *et al.*, 2009) (et depuis peu pour les écosystèmes d'eau douce également ; voir plus bas). En outre, l'orientation future des facteurs directs et indirects dépend d'un grand nombre d'hypothèses socio-économiques, d'évolutions technologiques et d'hypothèses concernant

l'action publique, représentées dans les modèles IMAGE et GTAP. Du fait de la spécification spatiale d'IMAGE et de GLOBIO3, les impacts sur l'AME peuvent être analysés à l'échelon de chaque région, de chaque grand biome et pour chaque facteur de pression.

GLOBIO3 prend en compte les impacts de la modification du climat et des changements d'affectation des terres, du morcellement des écosystèmes, de l'extension des infrastructures telles que les routes et des zones bâties, des dépôts acides et de l'azote réactif.

Selon l'hypothèse sous-tendant les projections, la montée des pressions sur la biodiversité entraînerait une diminution de l'AME. Le modèle GLOBIO3 comporte des relations de cause à effet à l'échelle mondiale entre chacun des facteurs de pression étudiés et l'AME. Établies à partir de plus de 700 publications, ces relations sont appliquées de façon géographiquement explicite, c'est-à-dire dans le cadre d'un maillage de 0.5 × 0.5 degré en longitude et en latitude, et une distribution de fréquence représente l'occurrence de divers biomes à l'intérieur de chaque maille. Les effets des valeurs des pressions étudiées sont calculés et combinés par maille, pour obtenir une note globale d'AME. L'AME d'une région ou du monde est la somme des mailles correspondantes calculée moyennant une pondération uniforme. Autrement dit, chaque kilomètre carré de chaque biome se voit accorder le même poids (ten Brink, 2000).

Biodiversité aquatique (eau douce)

Dans la version actuelle de GLOBIO, les facteurs de pression sur les écosystèmes d'eau douce sont les changements d'affectation des terres (à l'échelle du bassin), l'eutrophisation due au phosphore et à l'azote, ainsi que la modification des débits imputables aux prélèvements d'eau ou à la construction de barrages.

Comme dans le modèle terrestre, les relations de cause à effet sont définies à partir d'une étude des données publiées sur la composition spécifique en fonction de différents degrés de pression (Weijters *et al.*, 2009 ; Alkemade *et al.*, 2011). Ici aussi, la biodiversité a été mesurée par l'abondance des espèces d'origine par rapport à un état vierge ou à un équivalent de ce dernier. Des analyses séparées ont été menées pour les lacs profonds ou non (en fonction des concentrations de phosphore et d'azote), pour les zones humides (en fonction de leur usage par les humains) et pour les cours d'eau (en fonction à la fois de leur usage par les humains et de l'écart entre leur débit naturel et le débit mesuré). Les effets des différentes pressions (le cas échéant) sont supposés être indépendants, et se cumulent donc. Dans le cas des lacs, la probabilité de prolifération d'algues néfastes a également été calculée.

Éléments nutritifs

Le modèle sur les éléments nutritifs dans le monde explique ce qu'il advient de l'azote (N) et du phosphore (P) provenant de sources ponctuelles ou concentrées, telles que les établissements humains, et de sources diffuses ou dispersées telles que les terres agricoles ou espaces naturels. Par l'intermédiaire cours d'eau et les lacs, la charge résiduelle d'éléments nutritifs atteint les eaux côtières. Nous présentons ci-après les grandes étapes de l'étude de l'azote (voir en outre le chapitre 5 pour plus de détails).

Sources ponctuelles

Une relation théorique entre les rejets d'azote par habitant et le revenu par habitant a servi à calculer la quantité d'azote libérée dans les eaux usées urbaines (version modifiée des travaux de van Drecht *et al.*, 2003 ; Bouwman *et al.*, 2005). Les rejets d'azote sont calculés sous

la forme d'une moyenne annuelle par habitant et par pays, en fonction de la consommation d'aliments. Les pays à faible revenu affichent des rejets d'azote par habitant de quelque 10 g par jour, contre une fourchette de 15 à 18 g dans les pays industrialisés.

La quantité d'azote effectivement libérée dans les eaux de surface est calculée sur la base des rejets d'azote, du taux d'élimination dans les stations d'épuration (exprimé en pourcentage de l'azote présent dans les eaux usées avant traitement) et de la part de la population totale raccordée à un réseau public d'assainissement. L'azote contenu dans les eaux usées en zone rurale et les rejets directs dans la mer à partir des zones côtières ne sont pas prix en compte.

On distingue différents types de traitement des eaux usées, qui se caractérisent par des taux variables d'élimination de l'azote : absence de traitement, traitement mécanique, traitement biologique et traitement tertiaire. Voir également l'annexe au chapitre sur l'eau douce.

Sources diffuses

Chaque maille du modèle IMAGE pour le secteur agricole est divisée en quatre utilisations des terres agricoles : pâturages, riz aquatique, légumineuses (légumes secs, soja) et autres cultures d'altitude. Le bilan annuel de l'azote à la surface du sol prend en compte les entrées et sorties d'azote pour chaque type d'utilisation de la terre. Les entrées sont le fait notamment de la fixation biologique de l'azote, des dépôts d'azote atmosphérique et de l'utilisation d'engrais azoté de synthèse et d'effluents d'élevage. Les sorties proviennent entre autres de l'élimination d'azote au moment de la récolte et de la fenaison, ainsi que de la consommation d'herbe par les animaux brouteurs. Les différentes entrées et sorties du bilan de l'azote à la surface du sol sont examinées en détail dans plusieurs publications (Bouwman *et al*., 2005, 2006, 2011).

Les eaux souterraines qui rejoignent les eaux de surface ne sont pas toujours de même nature et ne séjournent pas toujours autant de temps dans le sous-sol. La concentration de nitrates dans les eaux souterraines dépend de la durée du séjour de l'eau dans une zone saturée et du degré de dénitrification pendant son trajet. Le modèle distingue deux sous-systèmes différents en ce qui concerne les eaux souterraines : *i)* transfert rapide des nitrates dans les ruissellements de surface et passage des eaux souterraines peu profondes aux cours d'eau locaux ; et *ii)* transfert lent à travers les eaux souterraines profondes en direction de cours d'eau plus importants.

Transport de l'azote par les cours d'eau

L'azote total provenant des sources ponctuelles, des dépôts atmosphériques directs et des flux de nitrates apportés par les eaux souterraines profondes ou non joue le rôle d'entrée dans les eaux de surface pour chaque maille du modèle. Les processus métaboliques des cours d'eau éliminent une partie de l'azote des eaux courantes en le transférant au biote, à l'atmosphère et aux sédiments alluviaux. On utilise un coefficient global d'exportation par les cours d'eau de 0.7 (ce qui suppose une rétention ou une perte de 30 % de l'azote parvenant dans les cours d'eau), lequel correspond à la moyenne d'un large éventail de bassins hydrographiques d'Europe et des États-Unis (van Drecht *et al*., 2003).

Notes

1. Une description technique du modèle ENV-Linkages de l'OCDE, ainsi que d'autres publications récentes s'appuyant sur cette approche, sont disponibles à l'adresse *www.oecd.org/environment/modelling*.
2. La *Base de données économiques internationale GTAP* (Global Trade Analysis Project) décrit les courants d'échanges bilatéraux, la production, la consommation et les consommations intermédiaires de biens et de services. Des bases de données complémentaires couvrent des aspects tels que les émissions de gaz à effet de serre ou l'utilisation des terres. C'est la version 7.1 du GTAP (GTAP, 2008) qui a servi à élaborer le scénario de base des présentes *Perspectives*.
3. Notons que toutes les simulations de l'action publique effectuées pour établir les *Perspectives de l'environnement* supposent le maintien du SCEQE jusqu'en 2020. Ainsi, les simulations tiennent compte expressément du coût de cette action.
4. *Cf. http://themasites.pbl.nl/en/themasites/image/index.html*.
5. Ces degrés correspondent aux degrés de latitude et de longitude à la surface de la Terre.
6. Pour davantage de détails sur le modèle LEITAP, voir Kram et Stehfest (2012).
7. Le modèle TIMER a été décrit dans différents documents (de Vries *et al.*, 2001 ; van Vuuren, 2007). Voir *http://themasites.pbl.nl/en/themasites/image/model_details/energy_supply_demand/index.html*.
8. Pour davantage de détails, voir *http://themasites.pbl.nl/en/themasites/fair/index.html*.
9. Pour en savoir plus sur le modèle GLOBIO, sur l'indicateur d'abondance moyenne par espèce et sur le rapport avec les pressions sur l'environnement, voir Alkemade *et al.* (2009) et *www.globio.info*.
10. Le modèle GLOBIO est un projet conjoint de l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), du Centre mondial de surveillance continue de la conservation de la nature du PNUE à Cambridge (Royaume-Uni), et du Centre GRID-Arendal du PNUE.

Références

Agence internationale de l'énergie (2009a), *World Energy Outlook 2009*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/weo-2009-en*.

Agence internationale de l'énergie (2009b), *Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios and Strategies to 2050*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/energy_tech-2010-en*.

Agence internationale de l'énergie (2010a), *CO_2 Emissions from Fuel Combustion 2010*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264096134-en*.

Agence internationale de l'énergie (2010b), *World Energy Outlook 2010*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/weo-2010-en*.

AIE, Banque mondiale, OCDE et OPEP (2010), « Analysis of the Scope of Energy Subsidies and Suggestions for the G-20 Initiative », *Rapport conjoint préparé pour présentation au Sommet du G20 des ministres des Finances et des gouverneurs des banques centrales à Busan (Corée) le 5 juin 2010, 26 mai 2010*.

Alkemade, R., M. van Oorschot, L. Miles, C. Nellemann, M. Bakkenes et B. ten Brink (2009), « GLOBIO 3: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Loss », *Ecosystems*, vol. 12, n° 3, pp. 374-390, doi : *http://dx.doi.org/10.1007/s10021-009-9229-5*.

Alkemade, R., J. Janse, W. van Rooij et Y. Trisurat (2011), « Applying GLOBIO at Different Geographical Levels », *in* Y. Trisurat, R. Shrestha et R. Alkemade (dir. pub.), *Land Use, Climate Change and Biodiversity Modelling*, IGI Global, Hershey PA, États-Unis.

Banque mondiale (2010), *Les indicateurs du développement dans le monde*, *http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators*.

Banse, M., H. van Meijl, A. Tabeau et G. Woltjer (2008), « Will EU Biofuel Policies Affect Global Agricultural Markets? », *European Review of Agricultural Economics*, vol. 35, n° 2, pp. 117-141.

Biemans, H., R. Hutjes, P. Kabat, B. Strengers, D. Gerten et S. Rost (2009), « Effects of Precipitation Uncertainty on Discharge Calculations for Main River Basins », *J. Hydrometeor*, vol. 10, pp. 1011-1025, doi : *http://dx.doi.org/10.1175/2008JHM1067.1*.

Bondeau, A., P.C. Smith, S. Zaehle, S. Schaphoff, W. Lucht, W. Cramer, D. Gerten, H. Lotze-Campen, C. Müler, M. Reichstein et B. Smith (2007), « Modelling the Role of Agriculture for the 20th Century Global terreStrial Carbon Balance », *Global Change Biology*, vol. 13, pp. 679-706, doi : *http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01305.x*.

Bouwman, A.F., G. Van Drecht et K.W. Van der Hoek (2005), « Surface N Balances and Reactive N Loss to the Environment from Intensive Agricultural Production Systems for the Period 1970-2030 », *Science in China Series C. Life Sciences*, vol. 48 (suppl.), pp. 1-13.

Bouwman, A.F., T. Kram et K. Klein Goldewijk (dir. pub.) (2006), *Integrated Modelling of Global Environmental Change: An Overview of IMAGE 2.4*, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven.

Bouwman, A.F., K. Klein Goldewijk, K.W. Van der Hoek, A.H.W. Beusen, D.P. Van Vuuren, W.J. Willems, M.C. Rufino et E. Stehfest (2011), « Exploring Global Changes in Nitrogen and Phosphorus Cycles in Agriculture Induced by Livestock Production over the 1900-2050 Period », Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, doi : *http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1012878108*.

Brink, B.J.E. ten (2000), *Biodiversity Indicators for the OECD Environmental Outlook and Strategy, a Feasibility Study*, Institut national de la santé publique et de l'environnement (RIVM), en coopération avec le WCMC, Cambridge/Bilthoven.

Bruinsma, J.E. (2003), « Perspectives de la FAO », *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030*, Earthscan, Londres.

Burniaux, J., G. Nicoletti et J. Oliveira Martins (1992), « GREEN: A Global Model for Quantifying the Costs of Policies to Curb CO_2 Emissions », *Études économiques de l'OCDE*, n° 19 (hiver).

Burniaux, J. et T.P. Truong (2002), « GTAP-E: An Energy – Environmental Version of the GTAP Model », *GTAP Technical Paper*, n° 16, version révisée, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.

Burniaux, J., J. Chateau et R. Duval (2010), « Is there a Case for Carbon-Based Border Tax Adjustment? An Applied General Equilibrium Analysis », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 794, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kmbjhcqqk0r-en*.

Burniaux, J. et J. Chateau (2011), « Mitigation Potential of Removing Fossil Fuel Subsidies: A General Equilibrium Assessment », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 853, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5kgdx1jr2plp-en*.

Chateau, J., C. Rebolledo et R. Dellink (2011), « The ENV-Linkages Economic Baseline Projections to 2050 », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 41, Éditions OCDE.

Chateau, J., R. Dellink, E. Lanzi et B. Magne (2012), « An Overview of the ENV-Linkages Model, Version 3 », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 2, Éditions OCDE.

Dellink, R., S, Jamet, J. Château et R. Duval (2010a), « Towards Global Carbon Pricing: Direct and Indirect Linking of Carbon Markets », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 20, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5km975t0cfr8-en*.

Dellink, R., G. Briner et C. Clapp (2010b), « Costs, Revenues, and Effectiveness of the Copenhagen Accord Emission Pledges for 2020 », *Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement*, n° 22, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/5km975plmzg6-en*.

Duval, R. et C. de la Maisonneuve (2009), « Cadre et scénario de croissance du PIB à long terme pour l'économie mondiale », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 663, février, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/227205684023*.

Drecht, G. van, A.F. Bouwman, J.M. Knoop, A.H.W. Beusen et C.R. Meinardi (2003), « Global Modeling of the Fate of Nitrogen from Point and Nonpoint Sources in Soils, Groundwater and Surface Water », *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 17, n° 4), pp. 26-1 à 26-20 (1115), doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2003GB002060*.

Eickhout, B., G.J. van den Born, J. Notenboom, M. van Oorschot, J.P.M. Ros, D.P. van Vuuren et H.J. Westhoek (2008), *Local and Global Consequences of the EU Renewable Directive for Biofuels: Testing the Sustainability Criteria*, *MNP Report*, n° 500143001/2008.

Elzen, M. den et P.L. Lucas (2005), « The FAIR Model: A tool to Analyse Environmental and Costs Implications of Regimes of Future Commitments », *Environmental Modeling and Assessment*, vol. 10, n° 2, pp. 115-134, doi : *http://dx.doi.org/10.1007/s10666-005-4647-z*.

Elzen, M. den et N. Höhne (2010), « Sharing the Reduction Effort to Limit Global Warming to 2 °C », *Climate Policy*, vol. 10, n° 3, pp. 247-260 (14).

FAO (1978-81), « Report on the Agro-ecological Zones Project », *World Soil Resources Report*, n° 48, FAO, Rome.

FMI (2010), *Base de données des Perspectives de l'économie mondiale*, *www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2010/02/weodata/index.aspx*.

Gerten, D., S. Schaphoff, U. Haberlandt, W. Lucht et S. Sitch (2004), « Terrestrial Vegetation and Water Balance: Hydrological Evaluation of a Dynamic Global Vegetation Model », *Journal of Hydrology*, n° 286, pp. 249-270.

GTAP (2008), *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base*, B. Narayanan et T. Walmsey (dir. pub.), *Center for Global Trade Analysis*, Department of Agricultural Economics, Purdue University.

Hertel, T.W. (dir. pub.) (1997), *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*, Cambridge University Press.

IMAGE Team (2001), *The IMAGE 2.2 Implementation of the SRES Scenarios. A Comprehensive Analysis of Emissions, Climate Change and Impacts in the 21st Century* (publication sur CD-ROM de la RIVM 481508018), Institut national de la santé et de l'environnement, Bilthoven.

Kram, T. et E.E. Stehfest (2012), « The IMAGE Model Suite used for the OECD Environmental Outlook to 2050 », *Rapport de l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL)*, n° 500113002, La Haye/Bilthoven, Pays-Bas.

Meijl, H. van, T. Van Rheenen, A. Tabeau et B. Eickhout (2006), « The Impact of Different Policy Environments on Agricultural Land Use in Europe », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 114, pp. 21-38.

Minnen, J. van et R. Leemans (2000), « Defining the Importance of Including Transient Ecosystem Responses to Simulate C-cycle Dynamics in a Global Change Model », *Global Change Biology*, vol. 6, pp. 595-612.

Nowicki, P., H. van Meijl, A. Knierim, M. Banse, J. Helming, O. Margraf, B. Matzdorf, R. Mnatsakanian, M. Reutter, I. Terluin, K. Overmars, C. Verhoog, C. Weeger et H. Westhoek (2006), « Scenar 2020 – Scenario Study on Agriculture and the Rural World », Commission européenne, Direction générale de l'agriculture et du développement rural, Bruxelles.

OCDE (2008), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264040519-en*.

OCDE (2009), *Économie de la lutte contre le changement climatique : Politiques et options pour une action globale au-delà de 2012*, Éditions OCDE, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/9789264073616-en*.

OCDE (2010), *Perspectives économiques de l'OCDE : statistiques et projections* (base de données), n° 88, doi : *http://dx.doi.org/10.1787/eo-data-fr*.

Prentice, I.C. *et al.* (1992), « A Global Biome Model Based on Plant Physiology and Dominance, Soil Properties and Climate », *Journal of Biogeography*, n° 19, pp. 117-134.

Rost, S., D. Gerten et U. Heyder (2008), « Human Alterations of the Terrestrial Water Cycle Through Land Management », *Advances in Geosciences*, vol. 18, pp. 43-50.

Rotmans, J. (1990), *IMAGE. An Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Schaeffer, M. et E. Stehfest (2010), « The Climate Subsystem in IMAGE Updated to MAGICC 6.0 », *Rapport de la PBL*, n° 500110005, Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), La Haye/Bilthoven, juin.

Schlesinger, M.E. *et al.* (2000), « Geographical Distributions of Temperature Change for Scenarios of Greenhouse Gas and Sulphur Dioxide Emissions », *Technological Forecasting and Social Change*, n° 65, pp. 167-193.

Shiklomanov, I. (2000), « Appraisal and Assessment of World Water Resources », *Water International*, vol. 25, n° 1, pp. 11-32.

Sitch, S., B. Smith, I.C. Prentice, A. Arneth, A. Bondeau, W. Cramer, J.O. Kaplan, S. Levis, W. Lucht, M.T. Sykes, K. Thonicke et S. Venevsky (2003), « Evaluation of Ecosystem Dynamics, Plant Geography and Terrestrial Carbon Cycling in the LPJ Dynamic Global Vegetation Model », *Global Change Biology*, vol. 9, n° 2, pp. 161-185, février, doi : *http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00569.x*.

Vries, H.J.M. de *et al.* (2001), *The Timer IMage Energy Regional (TIMER) Model*, Institut national de la santé et de l'environnement (RIVM), Bilthoven.

Vuuren, D.P. van (2007), « Energy Systems and Climate Policy », thèse de doctorat, Université d'Utrecht.

Weijters, M.J., J.H. Janse, R. Alkemade et J.T.A. Verhoeven (2009), « Quantifying the Effect of Catchment Land-use and Water Nutrient Concentrations on Freshwater River and Stream Biodiversity », *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, n° 19, pp. 104-112.

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements œuvrent ensemble pour relever les défis économiques, sociaux et environnementaux que pose la mondialisation. L'OCDE est aussi à l'avant-garde des efforts entrepris pour comprendre les évolutions du monde actuel et les préoccupations qu'elles font naître. Elle aide les gouvernements à faire face à des situations nouvelles en examinant des thèmes tels que le gouvernement d'entreprise, l'économie de l'information et les défis posés par le vieillissement de la population. L'Organisation offre aux gouvernements un cadre leur permettant de comparer leurs expériences en matière de politiques, de chercher des réponses à des problèmes communs, d'identifier les bonnes pratiques et de travailler à la coordination des politiques nationales et internationales.

Les pays membres de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Chili, la Corée, le Danemark, l'Espagne, l'Estonie, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, Israël, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Slovénie, la Suède, la Suisse et la Turquie. L'Union européenne participe aux travaux de l'OCDE.

Les Éditions OCDE assurent une large diffusion aux travaux de l'Organisation. Ces derniers comprennent les résultats de l'activité de collecte de statistiques, les travaux de recherche menés sur des questions économiques, sociales et environnementales, ainsi que les conventions, les principes directeurs et les modèles développés par les pays membres.

ÉDITIONS OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
(97 2012 01 2 P) ISBN 978-92-64-12232-1 – n° 59030 2012

Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050

LES CONSÉQUENCES DE L'INACTION

Ces dernières décennies, l'humanité a bénéficié d'une croissance et d'une prospérité sans précédent ; la taille de l'économie mondiale a plus que triplé depuis 1970, tandis que la population de la planète augmentait de plus de 3 milliards de personnes pour atteindre 7 milliards aujourd'hui. Or cette croissance s'est accompagnée d'une pollution de l'environnement et d'un épuisement des ressources naturelles qui pourraient bien, à terme, compromettre le développement humain. Si la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles continuent de figurer parmi les grandes priorités de l'action publique, de nombreux pays doivent aussi faire face à une croissance économique en berne, des finances publiques sous haute tension et des taux de chômage élevés. Pour s'attaquer à ces défis pressants tout en répondant aux besoins des plus de 9 milliards d'habitants que devrait compter le monde en 2050, il est indispensable de trouver de nouvelles sources de croissance, plus « vertes ».

« Que réservent les quatre décennies à venir ? » : telle est la question posée par les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050*. Cette étude, qui s'appuie sur les travaux de modélisation menés conjointement par l'OCDE et l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL), se projette dans l'année 2050 pour imaginer quelles répercussions les tendances économiques et démographiques pourraient avoir sur l'environnement si le monde n'adopte pas de politiques vertes plus ambitieuses. Elle cherche aussi à déterminer quelles politiques seraient susceptibles d'améliorer ces perspectives. Les principaux domaines abordés sont le changement climatique, la biodiversité, l'eau et les effets de la pollution sur la santé, quatre défis environnementaux majeurs identifiés dans les *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2030* (OCDE, 2008) comme des « feux rouges » nécessitant une attention urgente.

Sommaire

Résumé
Chapitre 1. Introduction
Chapitre 2. Évolutions socio-économiques
Chapitre 3. Changement climatique
Chapitre 4. Biodiversité
Chapitre 5. Eau
Chapitre 6. Santé et environnement

Annexe A. Cadre de modélisation

Merci de citer cet ouvrage comme suit :

OCDE (2012), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050: Les conséquences de l'inaction,* Éditions OCDE.
http://dx.doi.org/10.1787/env_outlook-2012-fr

Cet ouvrage est publié sur *OECD iLibrary*, la bibliothèque en ligne de l'OCDE, qui regroupe tous les livres, périodiques et bases de données statistiques de l'Organisation. Rendez-vous sur le site ***www.oecd-ilibrary.org*** et n'hésitez pas à nous contacter pour plus d'informations.

éditionsOCDE
www.oecd.org/editions

ISBN 978-92-64-12232-1
97 2012 01 2 P

