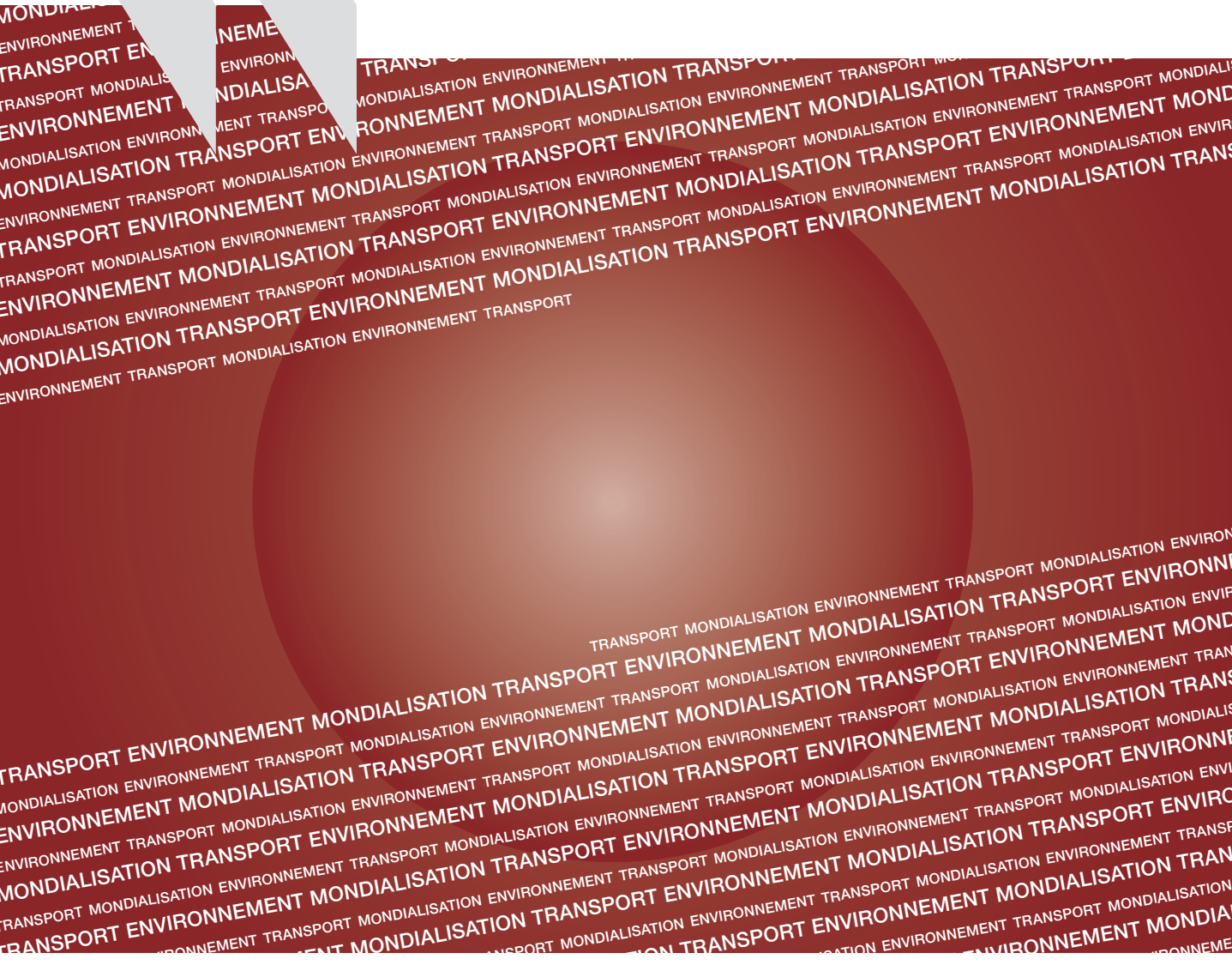
Mondialisation, transport et environnement



OCDE

Mondialisation, transport et environnement



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.

Merci de citer cet ouvrage comme suit :
OCDE (2011), *Mondialisation, transport et environnement*, Éditions OCDE.
http://dx.doi.org/10.1787/9789264072930-fr

ISBN 978-92-64-07292-3 (imprimé)
ISBN 978-92-64-07293-0 (PDF)

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

© OCDE 2010

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

L'impact de la mondialisation sur les transports et l'incidence de cet impact sur l'environnement sont deux questions que la présente publication analyse dans le détail. La publication se fonde sur l'ensemble des rapports présentés au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation, qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008 (voir www.oecd.org/env/transport/GFSD*). Ces rapports, mis à jour et retravaillés dans le but premier d'en éliminer les redites, ont été rassemblés dans ce volume afin de brosser, à l'intention des décideurs, un tableau complet des interactions entre la mondialisation, les transports et l'environnement.*

La publication analyse l'impact de la mondialisation sur le niveau d'activité du transport maritime, aérien, routier et ferroviaire de marchandises ainsi que l'impact des modifications de ce niveau d'activité sur l'environnement. Elle s'appesantit aussi sur les mesures qui pourraient être prises, dans le respect des règles économiques et du droit international, pour corriger les impacts environnementaux négatifs.

Il convient de souligner que l'essentiel des études dont les différents chapitres tirent leur substance date d'avant le bouleversement qui a frappé la conjoncture mondiale pendant l'automne 2008. La récession économique a notamment entraîné une contraction sans précédent des échanges internationaux.

Les chapitres ont été préparés pour la publication par Nils Axel Braathen de la direction de l'environnement de l'OCDE.

L'OCDE et le FIT remercient les autorités mexicaines d'avoir accueilli le Forum mondial.

Tables des matières

Acronymes 13

Résumé 15

Chapitre 1. **Introduction et principales conclusions** 21

1.1. Introduction 22
1.2. Principales conclusions 23

Bibliographie 33

Chapitre 2. **Mondialisation : Effets directs et indirects sur l'environnement** 35

2.1. Introduction 36
2.2. Développement du commerce et de l'investissement direct étranger 36
2.3. Premiers travaux 37
2.4. Effets indirects 38
2.5. Effet de composition 38
2.6. Effet net de composition à l'échelle mondiale 42
2.7. Effet technique 43
2.8. Effet d'échelle 50
2.9. Mondialisation et environnement – effets directs 51
2.10. Conclusions 53

Notes 55

Bibliographie 57

Chapitre 3. **Impact de la mondialisation sur le niveau d'activité du transport maritime international** 63

3.1. Introduction 64
3.2. Rôle économique mondial du transport maritime 65
3.3. Mutations du transport maritime induites par la mondialisation 69
3.4. Niveau d'activité du transport maritime 73
3.5. Évolution future du niveau d'activité et des émissions 84
3.6. Conclusions 87

Notes 88

Bibliographie 88

Chapitre 4. **Impact de la mondialisation sur le niveau d'activité du transport aérien international** 93

4.1. Introduction 94
4.2. Mondialisation et internationalisation 94
4.3. Principales caractéristiques du transport aérien international 95

4.4. Impact de la mondialisation sur les marchés des compagnies aériennes 99
4.5. Transformations institutionnelles affectant la réglementation du transport aérien. 100
4.6. Progrès technologique 115
4.7. Une situation en pleine évolution 118
4.8. Conclusions. 133
Notes 133
Bibliographie 136

Chapitre 5. **Impact de la mondialisation sur le niveau d'activité du transport international de marchandises par route et par chemin de fer** 139
5.1. Introduction 140
5.2. Évolution récente du commerce mondial 140
5.3. Commerce mondial et transport : considérations politiques et économiques. 143
5.4. Autres considérations relatives aux échanges mondiaux de marchandises. 146
5.5. Évolution récente du trafic routier et ferroviaire international. 149
5.6. Facteurs de l'évolution récente du fret routier international 153
5.7. Évolution récente du transport international de marchandises par chemin de fer 164
5.8. Perspectives pour l'avenir 171
5.9. Conclusions. 177
Notes 179
Bibliographie 180

Chapitre 6. **Impacts de l'élevation du niveau d'activité du transport maritime international sur l'environnement** 183
6.1. Introduction 184
6.2. Modélisation des émissions atmosphériques du transport maritime 186
6.3. Inventaire d'émissions réparties géographiquement 189
6.4. Impacts sur l'atmosphère 190
6.5. Autres impacts environnementaux du transport maritime 198
6.6. Conclusions. 201
Notes 203
Bibliographie 203

Chapitre 7. **Impacts de l'élevation du niveau d'activité du transport aérien international sur l'environnement** 209
7.1. Introduction 210
7.2. Développement du transport aérien et environnement 210
7.3. Réseaux en étoile 216
7.4. Effets de l'aviation sur le prix des logements 218
7.5. Conclusions. 219
Notes 220
Bibliographie 220

Chapitre 8. **Impacts de l'élevation du niveau d'activité du transport international routier et ferroviaire de marchandises sur l'environnement** 223

8.1. Introduction 224
8.2. Évolution des incidences environnementales des transports 226
8.3. Évolution des coefficients d'émission des transports routiers et ferroviaires 233
8.4. Perspectives d'amélioration des performances environnementales du transport de marchandises 239
8.5. Conclusions. 248

Notes 249

Bibliographie 250

Chapitre 9. **Limitation des atteintes à l'environnement – Économie des mesures envisageables** 253

9.1. Introduction 254
9.2. Changement climatique et mesures actuellement mises en œuvre pour y faire face 255
9.3. Transports et émissions de CO_2 : dans quel sens va la demande?. 258
9.4. Transport routier 260
9.5. Transport maritime 268
9.6. Aviation 272
9.7. Conclusions. 275

Notes 277

Bibliographie 278

Chapitre 10. **Instruments de politique destinés à limiter l'impact sur l'environnement : Droit international** 281

10.1. Introduction 282
10.2. Transport aérien international 282
10.3. Transport spatial international 291
10.4. Transport maritime international. 292
10.5. Transport terrestre international 301
10.6. Autres régimes internationaux 303
10.7. Conclusions 303

Notes 304

Bibliographie 307

Encadrés

1.1. Qu'est-ce que la mondialisation ?. 22
5.1. Entraves au passage des frontières. 148
5.2. Réseau transeuropéen de transport « RTE-T » 155
5.3. Une caravane internationale de camions relie Pékin à Bruxelles 160
5.4. RailNetEurope 166
5.5. Expansion européenne de Railion Logistics 168
5.6. Essai de transport ferroviaire de conteneurs entre la Chine et l'Allemagne. 169
5.7. Technologies visant à améliorer l'interopérabilité dans l'Union européenne 170

5.8. Programme de facilitation des échanges et des transports en Europe du Sud-Est . . 174
5.9. Réseau ferroviaire à priorité fret 175
5.10. Proposition de corridor de fret mer-rail Nord-Est-Ouest 177
8.1. Évolution des accidents de la route 224
8.2. Teneur en soufre des carburants 236
8.3. Efficience systémique 247

Tableaux

3.1. Force motrice de la flotte marchande mondiale 74
3.2. Estimations des ventes mondiales de charbon de soute et des émissions de CO_2 . . 75
3.3. Flotte mondiale de 2002, nombre et puissance des moteurs principaux 77
4.1. Dix premières compagnies aériennes internationales régulières, en passagers-kilomètres 98
4.2. Vingt premiers aéroports du monde en nombre de passagers 98
4.3. Compagnies low cost européennes qui ont cessé leur activité 2003 à 2005 111
4.4. Alliances stratégiques entre compagnies aériennes 113
4.5. Trafic en millions de tonnes acheminées sur des vols réguliers 129
4.6. Indicateurs du système d'aviation civile en Chine 131
5.1. Commerce intrarégional et interrégional de marchandises, 2006 141
5.2. Croissance annuelle moyenne, en pourcentage, du commerce mondial de marchandises par région 142
5.3. Participation des principaux blocs commerciaux au commerce mondial de marchandises 143
5.4. Augmentation du trafic marchandises mondial 150
5.5. Commerce des États-Unis avec le Canada et le Mexique par route et par rail, 2006 151
5.6. Estimation des flux de conteneurs pleins entre l'Europe et la Chine 153
5.7. Différences institutionnelles entre l'Amérique du Nord et l'Europe 167
5.8. Distances par voies maritime et terrestre entre la Chine et Rostock, en Allemagne (km) 177
6.1. Technologies de réduction des polluants atmosphériques émis par le transport maritime 185
6.2. Forçage radiatif de différents composants 196
6.3. Formes de pollution marine 199
7.1.*a*. Quantités estimatives de NO_x émises par les avions 211
7.1.*b*. Quantités estimatives de CO_2 émises par les avions 211
7.2. Quantités de CO_2 émises par les avions dans certains cas de figure 211
7.3. Évolution à long terme des émissions des avions 212
7.4. Coûts externes moyens des transports dans les 17 États membres de l'Union européenne étudiés 213
7.5. Coûts externes moyens du transport aérien 214
9.1. Parts modales des émissions de CO_2 des véhicules dans le monde, maintien du *statu quo*, 2000-2050, en pourcentage 259
9.2. Coûts externes marginaux de l'automobile 265

Graphiques

3.1. Transport maritime transocéanique en tant que (A) substitut et (B) complément d'autres modes . . . 64
3.2. Répartition modale de la demande et des émissions de carbone dans les transports américains de marchandises . . . 65
3.3. Impact de la mondialisation sur les charges unitaires . . . 67
3.4. Évolution du PIB, des exportations et importations et des soutages internationaux dans les pays de l'OCDE de 1992 à 2006 . . . 68
3.5. Interrelations entre la croissance économique et l'augmentation des exportations et des exportations des pays de l'OCDE . . . 68
3.6. Interrelations entre le trafic marchandises, le trafic conteneurisé et le PIB des États-Unis . . . 69
3.7. Répartition du tonnage de jauge brute par type de motorisation . . . 70
3.8. Nombre de navires par type de motorisation . . . 70
3.9. Ventilation du tonnage de jauge brute par pavillon . . . 72
3.10. Nationalité des navires et des membres de leurs équipages . . . 72
3.11. Évolution de la flotte mondiale de haute mer et du trafic maritime . . . 73
3.12. Puissance installée moyenne (kW) de la flotte mondiale . . . 78
3.13. Comparaison de quelques estimations de la consommation des navires . . . 80
3.14. Analyse de sensibilité de l'estimation des quantités de combustible consommées en transport maritime international . . . 80
3.15. Nombre estimatif de jours passés en mer pour les différentes catégories de navires . . . 81
3.16. Estimations, fondées sur l'activité, de la consommation d'énergie et des ventes de combustibles marins . . . 81
3.17. Corrélation entre les ventes de produits pétroliers marins enregistrées par les IEA et le volume des transports . . . 83
3.18. Modélisation de la consommation de combustible et des émissions du transport maritime de demain . . . 86
3.19. Évolution possible de la consommation et des émissions des navires . . . 87
4.1. Commerce international et revenu-passager-kilomètre des compagnies aériennes . . . 99
4.2. Corrélation à court terme entre le commerce international de produits manufacturés et le volume de fret aérien . . . 99
4.3. Modèle économique simple des politiques « Open Skies » . . . 100
4.4. Impact de la mondialisation sur les marchés aériens . . . 102
4.5. Structure en forme d'haltères du réseau de transport aérien international . . . 103
4.6. Configuration du réseau . . . 106
4.7. Marges d'exploitation des compagnies aériennes . . . 107
4.8. Rentabilité des compagnies aériennes par région . . . 108
4.9. Intensité des émissions de CO_2 du transport de passagers . . . 116
4.10. Consommation de carburant par tonnes/km disponibles . . . 117
4.11. Coût d'exploitation par siège . . . 118
4.12. Deux visions possibles des conséquences des migrations . . . 121
4.13. Portes d'accès . . . 123
4.14. Conséquences des portes d'accès sur les réseaux et les flux de transport aérien . . . 124
4.15. Transport aérien entre le Royaume-Uni et quelques économies en transition . . . 126

4.16. Trafic fret des trois principaux aéroports-pivots 131
5.1. Volume du commerce mondial des marchandises par grand groupe de produits . . 141
5.2. Structure sectorielle des exportations de marchandises par région, 2006 142
5.3. Durée du passage des frontières pour le transport routier et ferroviaire 147
5.4. Coûts du passage des frontières pour le transport routier et ferroviaire 147
5.5. Réseau international « E » 153
5.6. Projet de réseau autoroutier asiatique 154
5.7. Réseau de chemin de fer asiatique 165
5.8. Libéralisation du transport ferroviaire de marchandises en Europe 167
5.9. Évolution du fret routier et ferroviaire jusqu'en 2050, par région 171
5.10. Évolution du fret routier et ferroviaire jusqu'en 2050, par mode 172
5.11. Déploiement possible d'un réseau ferroviaire à priorité fret 176
5.12. Coût et durée du transport de marchandises conteneurisées entre l'Asie et l'Europe 178
6.1. Modélisation intégrée de la consommation de combustible, des émissions et des impacts du transport maritime 187
6.2. Émissions de CO_2 et de SO_2 produites par les navires 187
6.3. Émissions estimatives de CO_2 de la flotte mondiale 188
6.4. Densités du trafic de navires pour l'année 2000, d'après les données AMVER . . 190
6.5. Contribution des émissions des navires aux concentrations d'ozone de surface . . . 193
6.6. Contribution annuelle moyenne du trafic maritime aux dépôts humides . . . 195
6.7. Rapport entre le nombre de baleines franches éperonnées et la quantité de mouvement moyenne des navires. 199
8.1. Consommation d'énergie dans le secteur des transports 227
8.2. Évolution prévisible de la consommation d'énergie des transports par mode et par région 227
8.3. Évolution de la consommation de pétrole par secteur (Mtep) 228
8.4. Ventilation des émissions mondiales de CO_2 liées à l'énergie par branche d'activité 229
8.5. Émissions mondiales de CO_2 du secteur des transports 230
8.6. Évolution, observée et prévue, des émissions mondiales de CO_2 des différents modes de transport 231
8.7. Émissions de polluants atmosphériques produites par les transports dans les pays de l'AEE 232
8.8. Émissions de polluants atmosphériques produites par les transports dans les pays de l'AEE 232
8.9. Normes d'émission de NO_x applicables aux poids lourds 233
8.10. Normes d'émission de PM_{10} applicables aux poids lourds 234
8.11. Normes d'émission de NO_x applicables aux moteurs diesels dans l'Union européenne 235
8.12. Normes d'émission de PM_{10} applicables aux moteurs diesels dans l'Union européenne 235
8.13. Analyse « de la source à la roue » des chaînes énergétiques et analyse du cycle de vie des produits 237
8.14.*a*. Émissions de NOx par tkm dans le transport de conteneurs et autres marchandises à longue distance 238

8.14.*b*. Émissions de PM_{10} par tkm dans le transport de conteneurs et autres marchandises à longue distance 239
8.14.*c*. Émissions de CO_2 par tkm dans le transport de conteneurs et autres marchandises à longue distance 239
8.15. Sources d'énergie primaire, vecteurs énergétiques secondaires et consommation d'énergie des véhicules 243
8.16. Production mondiale d'éthanol 245
8.17. Production mondiale de biodiesel 245
8.18. Rapport bruit/vitesse des poids lourds 248
9.1. Émissions de CO_2 du réservoir à la roue, au niveau mondial 259
9.2. Comparaison de la consommation et des normes d'émissions de gaz à effet de serre 264
10.1. Cycles de décollage et d'atterrissage 283

Acronymes

AEE	Agence européenne de l'environnement
AGCS	Accord général sur le commerce des services
AIS	Systèmes d'identification automatique
AITA	Association internationale du transport aérien
AMVER	Système automatisé d'assistance mutuelle pour le sauvetage de navires
ASA	Accord de services aériens
ATK	Tonnes-kilomètre disponibles
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques
CER	Communauté Européenne du rail et des compagnies d'infrastructure
CH_4	Méthane
CIT	Comité international du transport ferroviaire – International Railway Transport Committee
CNUCED	Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement
COADS	Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set
COV	Composés organiques volatils
CTL	Coal-to-Liquid (liquéfaction du charbon)
DBO	Demande biologique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
DME	Oxyde de méthyle
dwt	Deadweight Tonnage
ERTMS	Système européen de gestion du trafic ferroviaire
FEH	Hypothèse de la dotation en facteurs
FIT	Forum international des transports
FR	Forçage radiatif
FTK	Trafic en fret tonne-kilomètres
GATT	Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GNC	Gaz naturel comprimé
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
GT	Tonnage brut
Gtkm	Giga-Tonne-Kilometre (= 10^9 tkm)
GTL	Gas-to-Liquid
HFO	Heavy Fuel Oil
IDE	Investissement direct étranger
IFO	Intermediate Fuel Oil
LPI	Enquête sur l'indice de performance logistique
LRIT	Long Range Identification and Tracking
MDO	Marine Diesel Oil

MGO	Marine Gasoil
Mt	Million Tonnes
NCCE	Nouveau cycle de conduite européen
N_2O	Oxyde nitreux
NO_x	Oxydes d'azote
OACI	Organisation internationale de l'aviation civile Organization
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OH	Hydroxyle
OMC	Organisation mondiale du commerce
OMI	Organisation maritime internationale
OMS	Organisation mondiale de la santé
PHE	Effet de refuge pour pollueurs
PHH	Hypothèse du « refuge » pour pollueurs
PRK	Passenger Revenue Kilometre
RFID	Identification par radiofréquence
RVE	Restrictions volontaires à l'exportation
SARP	Standards and Recommended Practices
SO_2	Dioxyde de soufre
TEU	Twenty-foot Equivalent Units containers
TIC	Technologies de l'information et de la communication
tkm	Tonne-Kilometre
TTFSE	Programme de facilitation des échanges et des transports en Europe du Sud-Est
UIC	Union Internationale des Chemins de Fer – International Union of Railways

Résumé

L'augmentation des échanges internationaux de connaissances, de ressources, de biens et de services entraînée par la mondialisation a engendré une augmentation importante de l'activité de transport dont l'impact sur l'environnement s'est traduit par une augmentation de l'activité économique en général, un redéploiement géographique des activités productrices et une modification du volume et de la nature des transports à effectuer pour répondre aux besoins du commerce mondial. Le présent rapport analyse les interrelations entre mondialisation, transports et environnement et détaille les problèmes à résoudre et les solutions à trouver pour remédier à leurs conséquences environnementales.

Mondialisation et environnement : impacts globaux

L'ouverture de l'économie semble avoir eu un effet bénin, au pire, sur les émissions de polluants locaux tels que le SO_2, le NO_2 et les particules, mais l'incidence de l'évolution des prix relatifs induite par cette ouverture sur la composition environnementale de l'activité économique est difficile à déterminer: certains pays vont produire davantage de biens à forte intensité environnementale et d'autres moins. Par ailleurs, la libéralisation va faire augmenter les revenus et, peut-être, la disposition à payer pour les améliorations environnementales à tel point que l'effet de revenu en arrive à plus que contrebalancer les effets négatifs d'échelle de l'intensification de l'activité économique. Si l'on ajoute à cela l'effet positif des transferts de technologie, l'effet net de la mondialisation sur les polluants locaux est très vraisemblablement positif.

Les faits portent toutefois moins à l'optimisme en matière d'émissions de dioxyde de carbone et autres gaz à effet de serre : ils donnent à penser que l'effet net de la libéralisation des échanges pourrait être négatif. Une des explications des évaluations pessimistes des effets du commerce sur les émissions de gaz à effet de serre est leur caractère mondial. Non seulement le coût des émissions de CO_2 est partagé avec les citoyens des pays étrangers, mais aussi de nombreuses émissions de gaz à effet de serre sont liées à l'utilisation de combustibles fossiles, pour lesquels peu de sources d'énergie de remplacement économiquement viables ont été trouvées jusqu'à présent. L'effet de revenu et d'autres effets techniques qui sont largement responsables des réductions des polluants atmosphériques locaux ne semblent pas avoir autant de force lorsque les polluants en question affectent la population mondiale – et exigent des solutions mondiales – plutôt qu'uniquement des citoyens qui résident sur le territoire d'un État donné.

Mondialisation et volume de transport

La mondialisation a été de pair avec une forte augmentation du transport maritime international. Le commerce et le transport maritime sont étroitement liés, mais la relation entre la consommation d'énergie du transport maritime et le niveau d'activité reste sujet à controverse. Il est aujourd'hui estimé que les navires de haute mer consomment quelque 2 % à 3 % – si ce n'est 4 % – des combustibles fossiles mondiaux.

Le transport aérien a lui aussi fortement contribué à animer la mondialisation. Les compagnies aériennes ont toutefois dû s'adapter à une modification de la demande dont leurs services font l'objet, cette demande mettant désormais l'accent sur l'amélioration de la qualité et le relèvement de la vitesse et du niveau de fiabilité des transports internationaux. La mondialisation a donné naissance à de multiples mutations structurelles dans le secteur aérien: les marchés aériens se sont libéralisés, les réseaux exploités par les compagnies aériennes ont changé (pour se transformer souvent en réseaux en étoile), beaucoup de nouvelles compagnies (souvent bon marché) ont envahi le marché et beaucoup de compagnies ont soit cessé leurs activités, soit fusionné. Quelque 40 %, en valeur, des échanges mondiaux s'effectuent aujourd'hui par air.

La suppression des goulets d'étranglement et les améliorations opérationnelles devraient doper l'efficience du transport international de marchandises par route et par chemin de fer dans de nombreuses régions. Bien sûr, il ne s'agit pas que d'un problème de durée de transport et de fiabilité; il s'agit aussi d'un problème de coût. Le transport aérien est le plus coûteux, mais très rapide, tandis que le transport maritime est le moins coûteux, mais lent. Le transport routier se situe entre les deux, tant en termes de prix que de durée de transport. Le transport ferroviaire se caractérise par une très large gamme de prix et de temps de transport ainsi que par des différences majeures entre les durées de transport officiellement prévues et celles que les transitaires peuvent effectivement assurer.

Au cours des 15 prochaines années, il est peu probable que la vitesse des avions ou des navires augmente sensiblement. En outre, les préoccupations concernant les émissions de CO_2 pourraient modifier l'image du transport aérien dans la chaîne d'approvisionnement. D'aucuns ont même appelé à ralentir la vitesse des cargos afin d'économiser le combustible. Eu égard à ces incertitudes, le potentiel de réduction des durées, et peut-être aussi des coûts, de transport offert par le chemin de fer est intéressant. Il n'est pas envisageable d'obtenir pour la route des raccourcissements aussi remarquables. Le franchissement des frontières constitue un obstacle de taille pour le transport tant routier que ferroviaire. La sécurité des conducteurs et des marchandises est un autre problème important, surtout dans le transport par route.

Impacts environnementaux de l'élévation du niveau d'activité

Le changement climatique est au cœur des efforts accomplis pour remédier à l'impact environnemental des transports dû à la mondialisation. Aucun autre problème environnemental n'a autant de retombées potentielles sur la politique des transports d'aujourd'hui.

Les émissions mondiales de CO_2 produites par le transport maritime ont presque triplé et celles de SO_2 plus que triplé entre 1925 et 2002. La majorité des émissions actuelles des

navires s'observent dans l'hémisphère nord, à l'intérieur d'un réseau bien défini de liaisons maritimes internationales. La plupart des études réalisées à ce jour indiquent que les émissions des navires conduisent, contrairement à celles des autres modes de transport, à un refroidissement mondial net dû notamment à l'effet réfrigérant des émissions de soufre. Il convient toutefois de souligner que de fortes incertitudes planent sur cette conclusion, en ce qui concerne en particulier les effets indirects, et que la température globale n'est en tout état de cause qu'un premier indicateur de l'ampleur du changement climatique.

Les projections à l'horizon 2020 annoncent une augmentation de la consommation de combustible maritime et des émissions de l'ordre de 30 %. Les émissions des navires pourraient toutefois encore augmenter davantage pendant les prochaines décennies. Ils pourraient ainsi émettre de deux à trois fois plus de CO_2 en 2050 qu'aujourd'hui. La plupart des scénarios imaginés pour les 10 à 20 prochaines années indiquent que les réglementations et autres mesures ne suffiront pas à empêcher qu'une augmentation du trafic conduise à une augmentation significative globale des émissions produites par le transport maritime. Les scénarios d'évolution des émissions mondiales indiquent également que la contribution relative du transport maritime aux concentrations d'autres polluants pourrait augmenter, notamment dans des régions comme l'Arctique et l'Asie du Sud-est, où l'on s'attend à une progression importante du trafic maritime.

Il est vraisemblable que le progrès technique prévisible n'empêchera pas non plus les émissions de CO_2 produites par les avions d'augmenter, étant donné l'augmentation attendue de la demande, mais l'allure de ce progrès technique dépendra du prix auquel le secteur devra payer le CO_2 qu'il émet. Selon la technologie et le scénario utilisés, les coûts environnementaux externes moyens du transport aérien sont d'environ 0.01-0.05 EUR par passager-kilomètre. Les principales compagnies aériennes utilisent des réseaux en étoile, ce qui implique une concentration d'un grand nombre d'atterrissages et de décollages sur certains aéroports du réseau. Il en résulte une pollution sonore relativement élevée dans la zone avoisinante et des escales pour les passagers obligés d'effectuer des trajets indirects (ce qui ne fait qu'ajouter aux émissions totales générées par leurs déplacements). Les réseaux en étoile peuvent toutefois également présenter des avantages environnementaux en raison des économies d'échelle réalisables sur le plan de l'environnement : les flux de passagers étant regroupés sur quelques liaisons, il est possible d'utiliser des avions de plus grande capacité, dont les émissions par siège sont moindres. La littérature disponible suggère, toutefois, que les incidences environnementales négatives des réseaux en étoile tendent à être supérieures aux effets positifs. Si les grandes compagnies aériennes concentrent leurs réseaux sur quelques aéroports-pivots intercontinentaux, les niveaux de trafic vont augmenter sur ces plaques tournantes en raison de la hausse générale prévue de la demande, mais aussi parce que de plus en plus de passagers auront des trajets avec transferts.

Le transport international de marchandises par route et par chemin de fer ne produit qu'une petite partie des émissions globales de polluants locaux de l'air (par exemple le NO_x) et du bruit imputables aux transports. La contribution de ces émissions à la pollution locale de l'air diminue en fait un peu partout dans le monde, essentiellement parce que des normes d'émission (dont le degré de sévérité est régulièrement revu à la hausse) s'y appliquent aux véhicules. Les pays où le volume de trafic croît à une vitesse exponentielle sont les seuls où les émissions de polluants atmosphériques locaux n'ont pas encore diminué.

Par ailleurs, les émissions de CO_2 produites par le transport routier de marchandises augmentent partout dans le monde et rien ne donne à penser que l'augmentation va bientôt s'arrêter. Il n'y a pas de solution unique à ce problème difficile qu'il faudra résoudre et les effets d'échelle vont probablement l'emporter sur les options technologiques. Il sera nécessaire de conjuguer plusieurs mesures différentes, par exemple réduire la consommation des véhicules tout en utilisant d'autres carburants et en améliorant la chaîne logistique, pour limiter cette augmentation.

Mesures à prendre

Le cadre réglementaire international n'impose pas aux États de gérer les émissions de gaz à effet de serre des navires et des avions. Une approche multilatérale pourrait être préférable pour des raisons tant d'efficience que d'efficacité (à long terme en particulier), à condition que la communauté internationale témoigne d'une volonté de coopération suffisante pour résoudre les problèmes environnementaux sous-jacents. Les réglementations internationales peuvent certes limiter parfois le pouvoir qu'ont les États de réglementer des activités néfastes à l'environnement, mais la présente étude démontre que l'ordre juridique international offre *vraiment* de nombreuses possibilités de réglementer l'impact environnemental du développement du transport international.

Il pourrait être besoin de remonter du bas vers le haut pour bâtir le consensus international nécessaire pour s'attaquer au changement climatique, à l'acidification ou à d'autres problèmes de ce genre. Une telle approche verrait des pays de même sensibilité ou en butte à des problèmes environnementaux identiques (par exemple le SO_X) conclure des accords régionaux qui pourraient ensuite servir d'assise ou de modèle de démonstration à une action plus largement internationale à long terme (qui, par exemple, relierait entre eux les systèmes d'échange de droits d'émission mis en place dans différentes régions). Il convient évidemment de rappeler à ce stade que certains systèmes régionaux peinent à inclure des émetteurs importants (notamment la Chine et l'Inde dans le cas des émissions de gaz à effet de serre) et qu'une approche régionale est, partant, inévitablement moins efficace qu'une approche globale.

Les actions unilatérales ont aussi un rôle à jouer, même au niveau international, non seulement parce qu'elles sont souvent les plus appropriées (notamment quand la pollution ne touche qu'un pays, comme c'est le plus souvent le cas pour la plupart des transports terrestres), mais aussi parce qu'elles peuvent parfois aider à imposer une modification d'une réglementation internationale (les normes communautaires de bruit applicables aux avions ont ainsi fini par être entérinées par l'OACI). Ce pouvoir des actions multilatérales pourrait jouer un rôle important dans la lutte future contre le changement climatique dans la mesure où l'Union européenne s'apprête à étendre le champ d'application de son système d'échange de quotas d'émissions aux transports aériens (et peut-être aussi maritimes) internationaux.

Les mesures les plus appropriées varient selon le problème environnemental à résoudre. Les transports de *marchandises très dangereuses* devraient pour l'essentiel rester soumis à des régimes *réglementaires* prononçant des interdictions, imposant l'obtention d'autorisations préalables ou prévoyant d'autres dispositions de ce genre. Pour d'autres vecteurs d'impacts environnementaux tels que les gaz d'échappement, le mieux serait sans doute de s'en tenir aux normes, mais ces normes devraient laisser aux constructeurs

une marge de manœuvre suffisamment large pour qu'ils puissent trouver des solutions peu coûteuses à leurs problèmes. L'essentiel des mesures « lourdes » devrait toutefois se présenter sous la forme d'instruments obéissant aux lois du marché (taxes et permis échangeables).

La rentabilité militerait plus particulièrement en faveur de l'inclusion de *l'aviation et du transport maritime* dans les systèmes de plafonnement et d'échange. Dans les deux modes, les possibilités de réduction offertes par la technologie sont limitées à court terme en raison de la lenteur du renouvellement des flottes. Dans le secteur maritime, les mesures opérationnelles semblent capables de réduire les émissions de CO_2 à court terme et à moindre coût. Dans le transport aérien, il existe également certaines possibilités de réduction liées à l'amélioration du contrôle de la circulation aérienne et à la gestion de la congestion aéroportuaire, mais la principale réduction viendra vraisemblablement d'une baisse de la demande. Selon les estimations disponibles, la réduction de la demande plafonnerait à environ 5 %, à des prix d'environ 20 EUR/tonne de CO_2. Une concurrence imparfaite et la congestion aéroportuaire limitent les possibilités de répercuter les hausses de coût sur les tarifs, ce qui limite d'autant la réaction de la demande. Le secteur de l'aviation sera donc probablement un acheteur net de quotas d'émissions.

En ce qui concerne le *transport routier*, les meilleurs correcteurs des externalités *liées au carburant* (telles que le changement climatique) diffèrent des meilleurs correcteurs des externalités *liées à* la *distance* (telles que la congestion, les accidents et la pollution de l'air). La taxation du carburant peut avoir un effet bénéfique sur les distances parcourues et l'efficience énergétique, mais ne réduit pas de beaucoup les externalités liées à la distance qui sont, d'après la plupart des études, nettement plus importantes que les externalités liées au carburant dans le transport par route.

Il semblerait donc plus indiqué de s'en remettre à un régime de *taxes assises sur la distance parcourue*, mais cette approche pèche par le fait que la distance parcourue n'est pas le principal facteur d'émission de gaz à effet de serre. Pour ce qui est du *changement climatique*, la réduction de la consommation de carburant restera l'objectif premier parce que les taxes assises sur la distance parcourue constituent un moyen d'action trop indirect.

D'aucuns avancent qu'il est besoin de normes plus sévères pour élargir la place occupée par les véhicules moins gourmands en carburant dans le parc automobile parce que le marché n'incite guère à réduire la consommation. Si les consommateurs ne sont pas disposés à payer cher maintenant des améliorations de l'efficience énergétique dont les avantages économiques ne se manifestent qu'à long terme, les constructeurs pourraient de leur côté ne pas incliner à construire des véhicules qui consomment peu. Les pouvoirs publics pourraient, pour résoudre ce problème, contraindre le marché à exiger une réduction de la consommation de carburant en fixant des normes de consommation. L'imposition de telles normes se justifie le mieux là où les carburants sont peu taxés et les revenus élevés (circonstances dans lesquelles les conducteurs se préoccupent encore moins de la consommation de leur véhicule), mais il pourrait alors être plus économique de relever les taxes sur les carburants.

Chapitre 1

Introduction et principales conclusions

1.1. Introduction

L'OCDE et le Forum international des transports (FIT) ont organisé un *Forum mondial sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation*, du 10 au 12 novembre 2008 à Guadalajara au Mexique.* Le Forum a réuni quelque 200 participants de 23 pays représentant entre autres des autorités nationales et locales, des universités, des entreprises et des organisations environnementales. Il avait, comme la présente publication, pour objectif premier de réfléchir à l'impact de la mondialisation sur le volume de transport, aux retombées sur l'environnement et aux mesures envisageables pour limiter l'impact négatif sur l'environnement. La présente publication se fonde sur les rapports relatifs aux problèmes posés par la mondialisation qui ont été présentés au cours du Forum. Ces rapports ont été quelque peu retravaillés afin d'assurer la continuité du texte et d'en gommer les assez nombreuses redites. Le texte incorpore quelques données supplémentaires et quelques mises à jour, mais les études *systématiques* dont les différents chapitres tirent leur substance se sont terminées au cours de l'automne 2008.

Encadré 1.1. **Qu'est-ce que la mondialisation ?**

La « mondialisation » est un terme souvent utilisé pour décrire l'augmentation des échanges internationaux de connaissances, de ressources, de biens et de services. Elle se définit parfois comme étant « une intégration progressive d'une économie mondiale marquée au coin de la liberté des échanges, de la libre circulation des capitaux et du recours à une main-d'œuvre étrangère moins chère »*.

On peut aussi la décrire comme un processus par lequel les habitants de la planète sont réunis au sein d'une société unique et fonctionnent ensemble. Ce processus est une combinaison de forces économiques, technologiques, socio-culturelles et politiques. Toutefois, le terme mondialisation est aussi fréquemment utilisé dans le sens plus étroit de mondialisation économique, englobant l'intégration des économies nationales au sein d'une économie internationale par le biais des échanges, de l'investissement direct étranger, des flux de capitaux, des migrations et de la diffusion de la technologie.

L'OCDE (2005) observe que les trois grandes forces qui ont le plus contribué à la mondialisation sont: *i)* la libéralisation accrue des mouvements de capitaux et la déréglementation des services financiers en particulier; *ii)* l'ouverture plus large des marchés aux échanges et aux investissements qui a stimulé la concurrence internationale et *iii)* le rôle clé joué par les technologies de l'information et des communications dans l'économie.

* *www.merriam-webster.com/dictionary/globalization*

* *www.oecd.org/env/transport/GFSD*

1.2. Principales conclusions

Incidence de la mondialisation sur l'environnement – Impacts globaux

L'ouverture de l'économie (concrétisée pour l'essentiel par la libéralisation des échanges et des investissements) semble avoir eu, au pire, un impact minime sur les émissions de *polluants locaux*. D'aucuns observent ainsi qu'une augmentation de 10 % de l'intensité des échanges (d'un pays statistiquement moyen) se traduit par une diminution d'environ 4 à 9 % des concentrations de SO_2 (Antweiler, Copeland et Taylor, 2000). D'autres constatent que l'ouverture semble avoir un effet positif sur le SO_2 et le NO_2, mais aucune incidence significative d'un point de vue statistique sur les émissions de particules. D'autres encore avancent que l'intensité du commerce *augmente* les émissions terrestres, mais réduit les rejets dans l'atmosphère, l'eau et le sous-sol ou n'a aucun effet statistiquement significatif sur ces rejets (Chintrakarn et Millimet, 2006).

Les faits révèlent que l'incidence de l'évolution des prix induite par l'ouverture sur la *composition* environnementale de l'activité économique est difficile à déterminer en ce sens que certains pays vont produire davantage de biens à forte intensité environnementale et d'autres moins. Par ailleurs, la libéralisation va faire augmenter les revenus et, peut-être, la disposition à payer pour les améliorations environnementales à tel point que l'*effet de revenu* en arrive à plus que contrebalancer les *effets d'échelle* négatifs de l'intensification de l'activité économique. Si l'on ajoute à cela les effets positifs des transferts de t*echnologie*, l'effet net de la mondialisation sur les polluants locaux est très vraisemblablement positif.

Les faits portent toutefois moins à l'optimisme en matière d'*émissions de dioxyde de carbone* et *autres gaz à effet de serre* : ils donnent à penser que l'effet net de la libéralisation des échanges pourrait être négatif. Une étude de données relatives à 63 pays (corrigées de l'intensité des échanges et des revenus) conclut qu'une hausse de 1 % du commerce se traduit par une augmentation de 0.58 % des émissions de CO_2 dans le pays moyen de son échantillon (Magani, 2004). D'autres études constatent également que l'ouverture s'accompagne d'une augmentation des émissions de CO_2, mais aussi que l'impact cesse d'être négatif s'il est tenu compte notamment des niveaux de revenus.

L'une des explications des évaluations systématiquement pessimistes des effets du commerce sur les émissions de gaz à effet de serre est leur caractère mondial. Non seulement le coût des émissions de CO_2 est partagé avec les citoyens des pays étrangers, mais aussi de nombreuses émissions de gaz à effet de serre sont liées à l'utilisation de combustibles fossiles, pour lesquels peu de sources d'énergie de remplacement économiquement viables ont été trouvées jusqu'à présent. L'effet de *revenu* et d'autres effets *techniques* qui ont largement contribué à réduire les polluants atmosphériques locaux ne semblent pas avoir autant de force lorsque les polluants en question affectent la population mondiale (et exigent des solutions mondiales) plutôt qu'uniquement des citoyens qui résident sur le territoire d'un État donné.

A la différence des émissions produites par des sources installées sur le territoire national, les émissions liées au transport international mettent souvent en cause des tiers. En effet, de nombreuses marchandises sont transportées par des navires qui ne sont pas tenus de respecter des règles opérationnelles, que ce soit dans le pays importateur ou dans le pays exportateur. Ce problème se pose en particulier pour le transport maritime. Par conséquent, même si les électeurs des pays à revenu élevé souhaitent que les marchandises transportées qu'ils consomment soient soumises à des normes environnementales sévères, les émissions liées au transport ne relèvent pas

nécessairement de la compétence de leur pays. L'approche internationale pourrait être la seule solution pratique possible de ce problème.

Mondialisation et transport international

Le XXIe siècle voit l'économie mondiale poursuivre son internationalisation pendant que la culture et la politique tendent à se mondialiser davantage. La mondialisation permet, sur le plan économique, de pousser la division du travail plus avant et de mieux en exploiter l'avantage comparatif. Sur le long terme, la mondialisation stimule en outre les transferts de technologie et de main-d'œuvre et permet au dynamisme associé à l'activité entrepreneuriale de stimuler le développement de technologies et de procédés nouveaux, ce qui se traduit par une amélioration du bien-être à l'échelle mondiale.

Les progrès de la mondialisation ont débouché sur un développement considérable du *transportmaritime international*. Le commerce et le transport maritime sont étroitement liés, mais la relation entre la consommation d'énergie du transport maritime et le volume des échanges acheminés par la voie maritime reste sujet à controverse. L'estimation varie entre autres en fonction du nombre de jours passés en mer et dans les ports pris en compte dans l'analyse. Les données disponibles montrent que la quantité d'énergie consommée par tous les navires du monde est égale à la somme des ventes internationales et intérieures de combustible. L'estimation de la consommation mondiale de combustible continue à faire débat, mais les principaux éléments des inventaires fondés sur les activités sont très largement acceptés. Les calculs effectués au départ de paramètres liés aux activités permettent d'avancer que les navires de haute mer consomment aujourd'hui 2 à 3 % (si ce n'est 4 %) des combustibles fossiles mondiaux (voir chapitre 3).

Le transport aérien contribue lui aussi fortement à animer la mondialisation. Les compagnies aériennes (et plus encore les infrastructures qu'elles utilisent) doivent toutefois s'adapter à une modification de la demande dont leurs services font l'objet, cette demande mettant désormais l'accent sur l'amélioration de la qualité et le relèvement de la vitesse et du niveau de fiabilité des transports internationaux. La mondialisation s'accompagne, presque par définition, de besoins accrus de mobilité et d'accès, mais, de plus en plus, ces besoins ne portent plus sur les mêmes types de passagers ou de cargaisons, sur les mêmes destinations et sur les mêmes distances que par le passé.

La mondialisation a donné naissance à de multiples mutations structurelles dans le secteur aérien : les marchés aériens se sont libéralisés, les réseaux exploités par les compagnies aériennes ont changé (pour se transformer souvent en réseaux en étoile), beaucoup de nouvelles compagnies (souvent bon marché) ont envahi le marché et beaucoup de compagnies ont soit cessé leurs activités, soit fusionné (la majorité des compagnies restantes ont déjà rejoint les rangs de trois grandes alliances).

Le transport aérien international est devenu un ingrédient majeur de la mondialisation et ne cesse d'évoluer pour répondre aux besoins d'intégration économique et sociale qu'engendre la mondialisation. Quelque 40 % (en valeur) des échanges mondiaux s'effectuent aujourd'hui par air (voir chapitre 4). Historiquement, le transport aérien a toujours joué un rôle crucial dans la circulation des idées, des biens et des personnes, améliorant l'efficience statique et dynamique à l'échelle mondiale, et a tout pour continuer à jouer ce rôle dans l'avenir. Étant donné toutefois que le développement soutenu du transport aérien pèse lourdement sur les infrastructures (notamment aéroportuaires) qu'il

utilise, la croissance économique future du secteur pourrait fort bien buter sur des limites de capacité.

La suppression des goulets d'étranglement et les améliorations opérationnelles devraient doper l'efficience du fret *routier et ferroviaire* international dans de nombreuses régions. Bien sûr, il ne s'agit pas que d'un problème de durée de transport et de fiabilité (même si ces deux facteurs sont importants), il s'agit aussi d'un problème de coût.

Une étude comparative du coût et de la durée des transports de porte à porte effectués entre l'Asie et l'Europe par les différents modes de transport (Chambre du commerce des États-Unis, 2006) révèle que le transport aérien est le plus coûteux, mais très rapide, que le transport maritime est le moins coûteux, mais très lent, que le transport routier se situe entre les deux précédents tant en termes de prix que de durée de transport et que le transport par chemin de fer se distingue par sa très large gamme de coûts et de durées ainsi que par ses différences majeures entre les durées de transport officiellement prévues et celles qui s'observent dans la réalité.

Au cours des 15 prochaines années, il est peu probable que la vitesse des avions ou des navires augmente sensiblement. En outre, les préoccupations concernant les émissions de CO_2 pourraient modifier l'image du transport aérien dans la chaîne d'approvisionnement, voire conduire la communauté internationale à demander aux transporteurs maritimes d'opérer à des vitesses plus lentes, afin d'économiser le combustible. Compte tenu de ces incertitudes, il est intéressant de noter le potentiel particulier du rail, en termes de réduction des temps de trajet, mais aussi, peut-être, des coûts. Il n'est pas envisageable d'obtenir *pour la route* des raccourcissements des délais aussi remarquables. Le franchissement des frontières constitue un obstacle de taille pour le transport tant routier que ferroviaire de marchandises. La sécurité des conducteurs et des marchandises est un autre problème important, surtout dans le transport par route.

L'augmentation massive des transports par chemin de fer entre l'Extrême Orient et l'Europe requiert d'importants investissements en infrastructures, routières en particulier. La ligne de chemin de fer du Transsibérien existe certes déjà, mais les chemins de fer des pays concernés ont toujours des écartements différents.

Il reste un large éventail d'opportunités d'amélioration de l'efficience et de réduction de l'impact environnemental du transport routier et ferroviaire international de marchandises. La concrétisation de bon nombre d'entre elles requiert de la puissance publique qu'elle modifie des règlements existants, améliore les infrastructures, démantèle des monopoles publics prestataires de services aujourd'hui inadaptés ou intervienne d'autres façons encore. Le champ d'action, déjà complexe à l'échelle d'un pays, l'est encore plus à l'échelle internationale.

Il importe d'attirer l'attention sur le rôle croissant que les *grandes entreprises logistiques* vont jouer dans le transport international au cours des 15 années à venir. Le processus de consolidation auquel on assiste signifie que des entreprises sont désormais capables de fournir à elles seules des services véritablement intégrés d'une manière encore impossible il y a quelques années.

Impacts environnementaux du développement du transport international

Transport maritime

Les *émissions de* CO_2 produites par les navires (estimées sur la base des ventes de soutages) ont presque triplé (Endresen *et al.*, 2007) et les *émissions de*SO_2 plus que triplé

entre 1925 et 2002. La majorité des émissions actuelles des navires s'observent dans l'hémisphère nord, à l'intérieur d'un réseau bien défini de liaisons maritimes internationales.

La modélisation basée sur l'activité pour la période 1970-2000 indique que la *taille* et le *taux d'utilisation* de la flotte ont, avec la *diésélisation*, été les facteurs majeurs conditionnant la consommation annuelle d'énergie. Une étude indique que l'extension de la flotte (observée après 1973) ne s'est pas nécessairement accompagnée d'une augmentation de la consommation d'énergie (Endresen *et al.*, 2007). La grande variabilité des estimations des émissions fondées sur l'activité s'explique une fois de plus par l'inégalité des hypothèses relatives au nombre de jours passés en mer. Les données font apparaître une forte dépendance à l'égard du type et de la taille des navires: les études basées sur l'activité n'ont pas pris en compte les navires de moins de 100 tonnes de jauge brute (on compte quelque 1.3 million de navires de pêche) alors qu'ils pourraient être responsables d'une très forte consommation additionnelle de combustible.

Des études récentes indiquent que les émissions de CO_2, de NO_x et de SO_2 des navires représentent respectivement environ 2 à 3 % (sinon 4 %), 10 à 15 % et 4 à 9 % des émissions anthropogéniques mondiales. Les émissions de NO_2, CO, COVNM, SO_2, particules primaires, métaux lourds et déchets produites par les navires créent des problèmes dans les zones côtières et les ports à fort trafic. Des augmentations particulièrement élevées en surface de polluants à courte durée de vie, comme le NO_2, sont observées à proximité des régions à fort trafic autour de la mer du Nord et de la Manche. Les études sur modèles font en général apparaître que les concentrations de NO_2 ont plus que doublé le long des principaux axes maritimes mondiaux. Les augmentations absolues de l'ozone de surface (O_3) imputables aux émissions des navires sont particulièrement marquées durant les mois d'été, mais l'augmentation était dans ce cas aussi importante dans les régions à fort trafic. L'augmentation des niveaux d'ozone dans l'atmosphère est également préoccupante du point de vue du changement climatique, car l'ozone est un important gaz à effet de serre.

La formation de sulfates et de nitrates induite par les émissions de soufre et d'azote provoque une acidification qui pourrait être préjudiciable aux écosystèmes dans les régions à faible capacité d'absorption et avoir des effets préjudiciables sur la santé. Les pays côtiers d'Europe occidentale, d'Amérique du nord-ouest et de la Méditerranée sont sensiblement affectés par ces émissions des navires.

Les importantes émissions de NO_x produites par le trafic maritime conduisent à des augmentations significatives d'OH, le principal oxydant de la basse atmosphère. Comme la réaction avec l'OH est le principal facteur d'élimination du méthane dans l'atmosphère, les émissions des navires diminuent les concentrations de méthane. (Les réductions de la durée de vie du méthane dues aux émissions de NO_x produites par le transport maritime varient entre 1.5 % et 5 %, selon les calculs, voir chapitre 6.) Les effets sur les concentrations de gaz à effet de serre (CO_2, CH_4 et O_3) et les aérosols ont différents impacts sur le bilan radiatif du système terre-atmosphère. Les aérosols rejetés par les navires ont également un impact indirect significatif parce qu'ils modifient la microphysique des nuages.

En résumé, la plupart des études réalisées à ce jour indiquent que les émissions des navires conduisent effectivement à un *refroidissement mondial net*. Cet effet réfrigérant mondial net ne se retrouve pas dans les autres modes de transport. Il faut toutefois

souligner que de fortes incertitudes planent sur cette conclusion, en ce qui concerne en particulier les effets indirects, et que la température mondiale n'est en tout état de cause qu'un premier indicateur de l'ampleur du changement climatique.

La contribution des différents composants au changement climatique varie aussi dans la durée et selon les lieux. Un composé bien mélangé à longue durée de vie, comme le CO_2, a des effets *globaux* qui durent pendant des siècles. Des espèces à plus courte durée de vie comme l'ozone et les aérosols pourraient avoir des effets qui sont fortement localisés au plan *régional* et ne durent que quelques jours à quelques semaines. L'effet réfrigérant net observé à ce jour affecte principalement les *océans* et ne contribue donc pas à tempérer l'impact négatif du réchauffement de la planète sur l'habitat humain.

Les projections à l'horizon 2020 indiquent une augmentation de la consommation de combustible maritime et des émissions de l'ordre de 30 %. S'il est en revanche tenu compte de l'augmentation considérable des émissions intervenue ces quelques dernières années, l'augmentation des émissions des navires pourrait encore être plus importante au cours des prochaines décennies. Les émissions de CO_2 produites par le transport maritime pourraient être, en 2050, de deux à trois fois supérieures à ce qu'elles sont aujourd'hui (Eyring *et al.*, 2005).

La plupart des scénarios imaginés pour les 10 à 20 prochaines années partent de l'hypothèse que les règles et autres mesures mises en œuvre ne suffiront pas à empêcher qu'une augmentation du trafic conduise à une augmentation significative globale des émissions produites par le transport maritime. Les scénarios mondiaux pour les émissions issues de sources terrestres autres que les navires indiquent également que la contribution relative du transport maritime aux concentrations de polluants pourrait augmenter, notamment dans des régions comme l'Arctique et l'Asie du Sud-est, où l'on s'attend à une progression importante du trafic maritime.

La limitation de la teneur en soufre du combustible dans la mer du Nord et la Manche semble être une mesure efficace pour réduire les dépôts de sulfate dans les régions côtières proches. Plusieurs technologies existantes (dispositifs d'épuration, filtres capteurs de polluants contenus dans les gaz d'échappement, moteurs émettant peu de NO_x, etc.) permettent également de réduire les émissions des navires au-delà de ce qu'impose actuellement la réglementation.

Transport aérien

Les innovations technologiques prévues ne peuvent pas non plus, eu égard à l'augmentation prévisible de la demande, empêcher une hausse des émissions de CO_2 dues à l'aviation. Selon la technologie et le scénario utilisés, les coûts externes (c'est-à-dire environnementaux) moyens du transport aérien oscillent entre 0.01 et 0.05 EUR par passager/kilomètre (Dings *et al.*, 2003).

Les principales compagnies aériennes utilisent des réseaux en étoile, ce qui implique une concentration d'un grand nombre d'atterrissages et de décollages sur certains aéroports du réseau. Il en résulte une pollution sonore relativement élevée dans la zone avoisinante et des escales pour les passagers obligés d'effectuer des trajets indirects (ce qui ne fait qu'augmenter le volume total des émissions générées par leurs déplacements). Mais les réseaux en étoile peuvent également présenter des *avantages* environnementaux en raison des économies d'échelle réalisables sur le plan de l'environnement : les flux de passagers étant regroupés sur quelques liaisons, il est possible d'utiliser des avions de plus

grande capacité, dont les émissions par siège sont moindres. La littérature disponible suggère toutefois que les incidences environnementales négatives des réseaux en étoile tendent à être plus importantes que les effets positifs. Si les grandes compagnies aériennes concentrent leurs réseaux sur quelques aéroports-pivots intercontinentaux, les niveaux de trafic vont augmenter sur ces plaques tournantes en raison de la hausse générale prévue de la demande, mais aussi parce que de plus en plus de voyageurs auront des trajets avec transferts.

Le transport aérien relie les régions à l'économie mondiale et donne à chaque citoyen la possibilité d'explorer la planète. Les dommages environnementaux causés par l'aviation continueront toutefois à atteindre des niveaux socialement sub-optimaux tant que les coûts externes ne seront pas intégralement couverts par le prix du billet.

Transport routier et ferroviaire

Le transport international de marchandises par route et par chemin de fer ne produit qu'une partie réduite, mais croissante, de tous les polluants atmosphériques (par exemple le NO_x) émis et de tout le bruit généré par les transports. La contribution de ces émissions à la pollution locale de l'air *diminue* en fait un peu partout dans le monde, essentiellement parce que des normes d'émission (dont le degré de sévérité est régulièrement revu à la hausse) s'y appliquent aux véhicules. Les pays où le volume de trafic croît à une vitesse exponentielle sont les seuls où les émissions de polluants atmosphériques locaux n'ont pas encore diminué.

Les émissions de CO_2 produites par le transport international routier de marchandises augmentent en revanche partout dans le monde (et pourraient même plus ou moins doubler d'ici 2050) et rien ne donne à penser que l'augmentation va bientôt s'arrêter. Il n'y a pas de solution unique à ce problème difficile et les effets d'échelle vont probablement l'emporter sur les options technologiques. Il sera nécessaire, pour renverser cette tendance, de conjuguer plusieurs mesures, par exemple améliorer l'efficience énergétique et dans le même temps, utiliser d'autres carburants et améliorer la logistique.

Mesures à prendre

La théorie enseigne que *tous* les moyens d'action bien conçus témoignent d'un niveau approprié d'ambition politique (en alignant les avantages marginaux très exactement sur les coûts marginaux), mais aussi que le rapport coûts/efficience des instruments qui obéissent aux lois du marché (tels que les taxes et les permis négociables) sera sans doute meilleur que celui d'instruments d'ordre réglementaire ou mis en œuvre à titre volontaire.

Il n'y a par ailleurs pas de solution unique qui puisse résoudre tous les problèmes environnementaux créés par les transports. Les normes pourraient ainsi être la solution la plus efficace et efficiente dans certains cas, par exemple pour les émissions de polluants locaux, mais il sera, dans beaucoup d'autres cas, nécessaire d'*user de plusieurs instruments à la fois*. Il importe toutefois d'évaluer avec soin ce que chacun de ces instruments ajoute aux autres et d'analyser leurs interactions. Comme les mesures dont les pays de l'OCDE ont besoin différeront sans doute de celles qui sont nécessaires aux pays en développement, la panoplie optimale variera d'une situation à l'autre.

Une *approchemultilatérale* pourrait par ailleurs être préférable pour des raisons tant d'efficience que d'efficacité (à long terme en particulier), à condition que la communauté internationale témoigne d'une volonté de coopération suffisante pour résoudre les

problèmes environnementaux sous-jacents. Le cadre réglementaire international n'impose pas aux États de gérer les émissions de gaz à effet de serre des navires et des avions. Les réglementations internationales peuvent certes limiter parfois le pouvoir qu'ont les États de réglementer des activités néfastes à l'environnement, mais le droit international offre *vraiment* de nombreuses possibilités de réglementer autrement l'impact environnemental du développement du transport international.

Les obstacles à surmonter pour mener des négociations internationales vers une issue heureuse sont toutefois parfois assez impressionnants. Les accords internationaux sont longs à conclure et difficiles à faire respecter. Ils peuvent aussi pâtir de problèmes de « fuite » sérieux donnant aux producteurs d'émissions l'occasion de Parlementer pour obtenir un assouplissement des règles à adopter. Il est possible aussi que le contrôle des émissions se révèle être une approche trop étroite pour un secteur aussi complexe que les transports. En principe, un accord international portant sur les transports et le changement climatique devrait donc pour bien faire aborder aussi les questions d'adaptation et de développement technologique au lieu de se limiter au contrôle des émissions.

Il pourrait être besoin de remonter du bas vers le haut pour bâtir le consensus international nécessaire. Une telle approche verrait des pays de même sensibilité ou en butte à des problèmes environnementaux identiques (par exemple le SO_x) conclure des *accords régionaux* qui pourraient ensuite servir d'assise ou de modèle de démonstration à une action plus largement internationale à long terme (qui, par exemple, relierait entre eux les systèmes d'échange de droits d'émission mis en place dans différentes régions). Il convient évidemment de rappeler à ce stade que certains systèmes régionaux peinent à inclure des émetteurs importants (notamment la Chine et l'Inde dans le cas des émissions de gaz à effet de serre) et qu'une approche régionale est, partant, inévitablement moins efficace qu'une approche globale.

Les *actions unilatérales* ont aussi un rôle à jouer, même au niveau international, non seulement parce qu'elles sont souvent les plus appropriées (notamment quand la pollution ne touche qu'un pays, comme c'est le plus souvent le cas pour la plupart des transports terrestres), mais aussi parce qu'elles peuvent parfois aider à imposer une modification d'une réglementation internationale (les normes communautaires de bruit applicables aux avions ont ainsi fini par être entérinées par l'OACI). Ce pouvoir des actions unilatérales pourrait également jouer un rôle important dans la lutte future contre le changement climatique dans la mesure où l'Union européenne s'apprête à étendre, unilatéralement, le champ d'application de son système d'échange de quotas d'émissions de gaz à effet de serre au transport aérien (et peut-être même maritime) international. Il ne faut donc pas sous-estimer la capacité qu'ont les actions unilatérales de donner des résultats positifs à l'échelon international à moyen terme.

Le droit international des transports s'est jusqu'ici toujours appliqué à les *protéger*, mais les États commencent à reconnaître que ce droit doit aussi se préoccuper de problèmes environnementaux. Deux organisations internationales, à savoir l'OACI et l'OMI, ont ainsi été explicitement invitées à s'intéresser au changement climatique et aux autres problèmes environnementaux soulevés par le transport international. L'évolution est encourageante.

L'*interfaçage des règles internationales et locales* revêt une importance cruciale. Elles trouvent les unes comme les autres leur pleine légitimité dans leur contexte propre, mais

il faudrait s'appliquer plus énergiquement à en assurer la compatibilité. Il conviendrait en particulier que:

- Les réglementations internationales ne donnent pas l'impression de limiter les possibilités de mise en œuvre d'actions nationales intelligentes. Les actions nationales sont depuis toujours la pierre angulaire de la politique environnementale et l'importance de ce rôle mérite d'être explicitement mise en avant pendant la négociation d'accords internationaux.
- Les actions nationales envisagées respectent par ailleurs scrupuleusement les principes fondamentaux de la non-discrimination et du traitement national qui sont systématiquement intégrés dans toutes les réglementations internationales pour prévenir les discriminations économiques.

Le recours à l'article XX du GATT semble bien être le moyen d'action internationale le moins prioritaire. L'utilisation de règles de nature commerciale comme moyen de résolution des problèmes environnementaux du secteur des transports est une méthode très indirecte d'intégration de l'environnement dans la politique des transports.

Mesures prioritaires

Le *changement climatique* est manifestement destiné à devenir une préoccupation majeure des mesures qui seront prises pour résoudre les problèmes environnementaux soulevés par les transports du fait de la mondialisation. Aucun autre problème environnemental n'est aussi lourd d'implications pour la politique des transports d'aujourd'hui. Les estimations varient certes, mais les émissions de CO_2 produites par les transports vont vraisemblablement augmenter nettement au cours des années à venir. Les véhicules utilitaires légers circulant sur les routes resteront la principale cause du problème, mais les émissions d'origine aérienne augmenteront encore plus rapidement. Les prévisionnistes tablent sur une certaine conversion vers des technologies à moindre intensité de carbone, mais ne prévoient dans leur majorité pas de transfert significatif vers des technologies à intensité réellement faible de carbone. Le changement technologique prévu sera, en d'autres termes, progressif plutôt que radical.

Les modes pour lesquels les politiques existantes sont relativement faibles, tels que le transport maritime et l'aviation, semblent être en voie d'être intégrés aux efforts plus larges visant à mettre en place des cadres d'action pour lutter contre le changement climatique. Les règles qui régissent les transports de surface étant en revanche plus rigoureuses, l'intégration de ces transports dans ces cadres plus larges semble par contre moins facile à réaliser.

La mondialisation de l'activité économique soulève aussi d'*autres* problèmes que *le changementclimatique* (polluants atmosphériques locaux tels que les NO_x et les SO_x, bruit, particules) auxquels il faudra aussi s'attaquer.

Le transport routier est déjà régi par tout un arsenal de règles nationales ou locales de formes diverses (normes, taxes, etc.), de sorte qu'une réduction supplémentaire des émissions routières ne pourra qu'être assez coûteuse. Les moyens de réduction exploitables dans d'autres secteurs des transports (notamment dans les transports maritimes et aériens) pourraient présenter un meilleur rapport coûts/efficience, mais leur impact se fera sentir principalement à proximité des aéroports, des ports et des grandes voies maritimes.

Il est sans doute possible de fixer des normes internationales communes de consommation, mais l'exercice n'a rien de simple. La réglementation internationale qui s'appliquera par exemple au secteur maritime n'en est encore qu'à ses premières phases d'élaboration et il est donc encore possible de peser sur sa teneur. Le MEPC de l'OMI s'applique à élaborer des mesures de réduction efficaces et efficientes pour le transport maritime, ce qui veut dire que diverses initiatives ont déjà été lancées en vue d'atteindre cet objectif.

- Les transports de *marchandises très dangereuses* devraient pour l'essentiel rester soumis à des régimes réglementaires qui, par exemple, prévoient des interdictions ou imposent l'obtention d'autorisations spéciales (cas de la Convention de Rotterdam). Si ces transports présentent des risques sérieux pour la santé, l'objectif d'efficience environnementale doit toujours l'emporter sur l'objectif d'efficience économique. L'interdiction pure et simple, alliée à une transparence totale, est ce qu'il y a de mieux dans de telles circonstances.
- Certains vecteurs d'impacts environnementaux tels que les gaz d'échappement peuvent être bridés efficacement par des normes, mais ces normes doivent laisser aux constructeurs une marge de manœuvre suffisamment large pour qu'ils puissent trouver des solutions peu coûteuses à leurs problèmes.
- L'essentiel des mesures « lourdes » devrait, comme il l'a été souligné précédemment, se présenter sous la forme d'instruments obéissant aux lois du marché (taxes et permis échangeables).

La rentabilité militerait plus particulièrement en faveur de l'inclusion des transports aériens et maritimes dans les systèmes de plafonnement et d'échange. Dans les deux modes, les possibilités de réduction offertes par la technologie sont limitées à court terme en raison de la lenteur du renouvellement des flottes. Dans le transport maritime, les mesures opérationnelles semblent capables de réduire les émissions de CO_2 à court terme et au moindre coût. Dans le transport aérien, il existe également certaines possibilités de réduction liées à l'amélioration du contrôle de la circulation aérienne et à la gestion de la congestion aéroportuaire, mais la principale réduction viendra vraisemblablement d'une baisse de la demande. Selon les estimations disponibles, la réduction de la demande plafonnerait à environ 5 %, à des prix d'environ 20 EUR/tonne de CO_2. Une concurrence imparfaite et la congestion aéroportuaire limitent les possibilités de répercuter les hausses de coût sur les tarifs, ce qui limite d'autant la réaction de la demande. Le secteur de l'aviation sera donc probablement un acheteur net de quotas d'émissions. Dans le transport aérien comme dans le transport maritime, les possibilités de transfert d'émissions de carbone sont considérables dès lors que les systèmes d'échange ne sont pas très étendus. Néanmoins, l'inclusion de ces modes dans les systèmes d'échange est souhaitable pour que la réduction globale soit rentable à long terme.

En ce qui concerne le *transport routier*, les taxes et les permis échangeables posent un problème particulier. Les meilleurs correcteurs des externalités *liées au carburant* (telles que le changement climatique) diffèrent des meilleurs correcteurs des externalités *liées à* la *distance* (telles que la congestion, les accidents et la pollution de l'air). La taxation du carburant peut avoir un *certain* effet bénéfique sur les distances parcourues et l'efficience énergétique, mais ne réduit pas de beaucoup les externalités liées à la distance qui sont, d'après la plupart des études, nettement plus importantes que les externalités liées au carburant dans le transport par route.

Il semblerait donc plus indiqué de s'en remettre à un régime de *taxes assises sur la distance parcourue*, mais cette approche pèche par le fait que la distance parcourue n'est pas le principal facteur causal des émissions de gaz à effet de serre qui constituent la cible prioritaire des politiques climatiques. Pour ce qui est du *changement climatique***,** la réduction de la consommation de carburant restera l'objectif premier parce que les taxes assises sur la distance parcourue constituent un moyen d'action trop indirect.

Par exemple, l'Union européenne applique des taxes élevées sur les carburants et pourrait bientôt introduire des normes de consommation. Les États-Unis taxent relativement peu les carburants, mais les consommations y sont régies par une norme qui est actuellement rendue plus sévère. Dans l'Union européenne, le transport routier est laissé en dehors du champ d'application du système d'échange de quotas d'émission de CO_2. Plusieurs projets de loi américains visent à intégrer à terme le secteur dans le système d'échange de droits d'émission, éventuellement par un système d'échange en amont. Étant donné que les politiques déjà en vigueur sont relativement sévères, les coûts de réduction des émissions de CO_2 dans le transport routier sont également relativement élevés et dépassent les prix actuels et prévus des permis d'émission de carbone. Il semblerait donc inopportun de durcir encore les règles en vigueur sous le seul angle du changement climatique, mais étant donné que les politiques en vigueur ont d'autres finalités que la seule réduction des émissions de gaz à effet de serre, il n'est pas évident que le coût en bien-être lié au durcissement soit très élevé. Il semblerait ainsi judicieux de majorer les taxes américaines sur les carburants si l'objectif premier poursuivi est de réduire la *congestion,* mais ce genre de mesure a aussi pour effet de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Les arguments qui plaident en faveur d'un durcissement des normes de consommation applicables aux véhicules routiers comme moyen de réduction des *émissions de gaz à effet de serre* sont peu convaincants, du moins si l'on se place dans le cadre économique statique du bien-être utilisé ci-dessus. Cependant, il est parfois avancé que ces mesures sont nécessaires pour accroître la diffusion des véhicules plus économes en carburant dans l'ensemble du parc. La raison en serait que le marché n'incite guère à réduire la consommation, si l'on en juge d'après la réponse des consommateurs aux incertitudes qui planent sur les investissements dans la réduction des consommations. Si les consommateurs ne sont pas disposés à payer cher maintenant des améliorations de l'efficience énergétique dont les avantages économiques ne se manifestent qu'à long terme, les constructeurs pourraient de leur côté ne pas incliner à construire des véhicules qui consomment peu. Si le but est d'améliorer la technologie des moteurs, les pouvoirs publics pourraient contraindre le marché à exiger une réduction de la consommation de carburant en fixant des normes de consommation. L'imposition de telles normes se justifie le mieux là où les carburants sont peu taxés et les revenus élevés (circonstances dans lesquelles les conducteurs se préoccupent encore moins de la consommation de leurs véhicules), mais il pourrait alors être plus économique de relever les taxes sur les carburants.

L'OMI et l'OACI peuvent trouver des nouveaux modes de réglementation des émissions de gaz à effet de serre (voir chapitre 10) en s'inspirant des mesures assez fructueuses qu'elles ont imaginées pour réduire les quantités de NO_x *et de* SO_x émises et le *bruit* causé par les transports maritimes et aériens.

Une stratégie agressive de réduction des émissions de gaz à effet de serre rend certains *changementstechnologiques* inévitables. Étant donné que, comme il l'a été souligné

précédemment, le marché du transport routier ne va pas inciter suffisamment à réduire la consommation de carburant, les pouvoirs publics devront agir sur le plan technologique pour pallier cette inaction. Les pouvoirs publics devraient peut-être aussi user de mécanismes à connotation technologique pour accélérer le rythme de renouvellement des flottes aériennes et maritimes. Comme la carotte est pour ce faire toujours plus facile à manier que le bâton, il se pourrait que des *régimes d'aide* bien conçus tracent la voie à suivre à l'avenir.

Quelques autres approches semblent ne pas aller sans problèmes:

- la réglementation des *marchés publics* peut engendrer des problèmes de concurrence; et
- le *marquage* risque de ne rien ajouter aux avancées environnementales qui auraient de toute façon été réalisées (problème de la « ligne de référence »).

Il devrait, plus généralement, être possible de mieux tirer avantage de l'intérêt que tous les *ports de mer* accordent à la lutte contre la pollution de leur environnement. Les ports s'inscrivent dans un contexte régional (et pas seulement local ou intérieur) sur lequel la définition des stratégies à suivre pourrait s'appuyer de façon plus créative. La plupart des navires passent par un port d'un pays de l'OCDE à un moment ou un autre au cours de leur périple et ces passages ouvrent une voie royale vers l'amélioration de la concertation des actions.

Il conviendrait aussi de mieux exploiter le *sens des responsabilités des entreprises*. Quoique 75 % de tous les navires marchands du monde soient immatriculés dans des pays qui ne figurent pas dans l'Annexe 1, la plupart de ces navires appartiennent à des armements établis dans des pays de l'Annexe 1. Il y a donc là une possibilité intéressante d'encourager ces *armements à se réunir* pour élaborer ensemble des règles communes de protection de l'environnement.

Des programmes d'information expliquant aux États du port que leur compétitivité n'aurait pas à souffrir d'une approche plus respectueuse de l'environnement pourraient, enfin, servir aussi leurs intérêts commerciaux à long terme.

Bibliographie

Antweiler, Werner, Brian R. Copeland et M. Scott Taylor (2000), « Is Free Trade Good for the Environment? », *American Economic Review*, 91(4), pp. 877-908.

Chambre de commerce des États-Unis (2006), *Land Transport Options between Europe and Asia: Commercial Feasibility Study*, Chambre de commerce des États-Unis.

Chintrakarn, P. et D.L. Millimet (2006), « The environmental consequences of trade: Evidence from subnational trade flows », *Journal of Environmental Economics and Management*, 52(1), pp. 430-453.

Dings, J.M.W. *et al.* (2003), *External costs of aviation*, Environmental research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Research Report 299 96 106, UBA-FB 000411.

Endresen, Ø. *et al.* (2007), « A historical reconstruction of ships' fuel consumption and emissions », *Journal of Geophysical Research*, 112(D12301).

Eyring, V. *et al.* (2005), « Impact of Future Technologies on Scenarios Until 2050 », *Journal of Geophysical Research*, 110, (D17306), doi : *http:dx.doi.org/10.1029/2004JD005620*.

Magani, S. (2004), « Trade Liberalisation and the Environment: Carbon Dioxide for 1960-1999 », *Economics Bulletin*, 17 (1), pp. 1-5.

OCDE (2005), *Mesurer la mondialisation : Manuel de l'OCDE sur les indicateurs de la mondialisation économique 2005*, OCDE, Paris.

Chapitre 2

Mondialisation : Effets directs et indirects sur l'environnement

par
Carol McAusland[1]

Le présent chapitre analyse les études antérieures des interrelations entre la mondialisation et l'environnement, en s'intéressant plus particulièrement à la structure et au taux de croissance du commerce international et de l'investissement étranger direct. Il fait la synthèse des informations dont on dispose sur les effets indirects de la mondialisation en mettant principalement l'accent sur les estimations actuelles de l'effet d'échelle, de l'effet de composition et de l'effet technique de la mondialisation. Ce chapitre se termine par une brève analyse des effets directs de la mondialisation, en particulier les émissions liées aux transports et les invasions biologiques et tente modestement de les placer dans le contexte plus vaste des conséquences globales. Ce chapitre conclut que, bien que les données récentes sur le commerce et la pollution locale soient encourageantes, celles qui concernent les émissions de carbone et d'autres gaz à effet de serre le sont moins. L'une des explications des évaluations systématiquement pessimistes des effets du commerce sur les émissions de gaz à effet de serre est leur caractère mondial. Non seulement le coût des émissions de CO_2 est partagé avec les citoyens des pays étrangers (qui n'ont pas de moyens politiques de s'exprimer en dehors de leur pays), mais aussi de nombreuses émissions de gaz à effet de serre sont liées à l'utilisation de combustibles fossiles, pour lesquels peu de sources d'énergie de remplacement économiquement viables ont été trouvées jusqu'à présent. L'effet de revenu et les effets techniques qui sont largement responsables de la réduction des polluants atmosphériques locaux ne semblent pas avoir autant de force lorsque les polluants en question affectent la population mondiale.

2.1. Introduction

Les chercheurs ont, depuis plus d'un quart de siècle, conscience que l'augmentation des échanges peut avoir un impact négatif sur l'environnement. Des événements qui ont défrayé la chronique comme la mésaventure du Khian Sea[2], la divulgation d'une note interne de la Banque mondiale signée par Lawrence Summers, économiste en chef (dans laquelle il semblait inciter les économistes de la Banque mondiale à encourager les industries très polluantes à migrer vers les pays en développement[3]) et les émeutes de 1999 à l'occasion des réunions de l'Organisation mondiale du commerce à Seattle ont amené l'opinion internationale à se demander si l'essor du commerce international est une bonne chose pour l'environnement.

Des recherches plus approfondies ont été menées sur l'effet net de la mondialisation sur l'environnement, mais de nombreuses questions restent en suspens. De plus, peu de chercheurs, voire aucun, ont tenté d'établir un lien entre les deux grandes écoles de pensée sur les effets directs et indirects de la mondialisation sur notre milieu naturel. Parmi les *effets directs*, on peut citer les émissions et les atteintes à l'environnement provoquées par le mouvement physique des marchandises entre exportateurs et importateurs. Il s'agit notamment des émissions des combustibles fossiles, des rejets d'hydrocarbures et de l'introduction d'espèces exotiques. Dans le même temps, le développement du commerce et de l'investissement direct étranger a de nombreuses *répercussions indirectes*. Elles appartiennent souvent à trois catégories : *l'effet d'échelle*, *l'effet de composition* et *l'effet technique*.

2.2. Développement du commerce et de l'investissement direct étranger

Le commerce s'est considérablement développé au cours des 50 dernières années, aussi bien en termes de valeur que de volume. Entre 1951 et 2004, le taux de croissance annuel moyen du commerce mondial (en tonnage) était de 5.7 % et de 7.4 % en valeur actualisée (Hummels, 2007)[4]. D'après les projections, cette croissance devrait se maintenir à un taux élevé pendant longtemps. À l'aide d'un modèle gravitationnel du commerce et à partir de variables économiques, géographiques, politiques et culturelles sur la période comprise entre 1948 et 1999, l'Institut hambourgeois d'économie internationale (HWWI) prévoit que la valeur des échanges entre les pays industrialisés augmentera de 5.7 % par an jusqu'en 2030, tandis que les échanges en Asie du Sud, en Asie de l'Est et dans le Pacifique et en Amérique latine devraient progresser de respectivement 10.9, 12.6 et 8.5 % par an (Berenburg Bank et HWWI, 2006).

L'investissement direct étranger s'est lui aussi développé rapidement. Entre 1986 et 2000, 65 pays ont vu leurs entrées d'investissements directs étrangers augmenter de 30 % ou davantage. Le taux de croissance dans 29 autres pays se situait entre 20 % et 29 % (CNUCED, 2003). C'est dans les pays industrialisés que l'investissement direct étranger a progressé le plus vite. Entre 1998 et 2000, trois régions totalisaient à elles seules plus de 75 % de l'ensemble des entrées d'investissements directs étrangers et 85 % de l'ensemble

des sorties d'investissements directs étrangers : l'Union européenne, les États-Unis et le Japon. Globalement, les pays développés comptent pour plus de 75 % de l'ensemble des entrées d'investissements directs étrangers (CNUCED, 2003).

Plusieurs facteurs expliquent l'augmentation des échanges et de l'investissement direct étranger. Les négociations bilatérales et multilatérales ont ramené les droits de douane moyens sur les produits manufacturés à 1.8 % dans les pays à revenu élevé, à 5.5 % dans les pays à revenu intermédiaire et à 14.2 % dans les pays à faible revenu[5] (Banque mondiale, 2007). Dans le même temps, les progrès technologiques ont réduit les frais de transport et de communication.

2.3. Premiers travaux

Les premières recherches empiriques sur les conséquences de la mondialisation sur l'environnement posaient généralement la question inverse : quel est l'effet sur le commerce de la réglementation en matière d'environnement? Il était alors généralement admis que si le commerce avait une incidence sur l'environnement, alors la réglementation devait agir sur les courants d'échanges. C'est uniquement dans ces conditions que l'argument selon lequel le commerce porte atteinte à l'environnement en déplaçant les productions très polluantes vers les pays peu réglementés (qui sont souvent ceux à faible revenu) peut tenir. Cette vision des choses qui fait de la mondialisation un facteur de relocalisation des industries polluantes dans les pays pauvres est connue sous le nom d'hypothèse du « refuge » pour pollueurs. Les premiers travaux empiriques ont recueilli peu de données étayant cette hypothèse. À vrai dire, en 1997, lorsque Levinson a réalisé son enquête, on s'accordait à reconnaître que si cette hypothèse était convaincante, elle n'était tout simplement pas confirmée par les faits.

Des recherches empiriques menées par la suite ont néanmoins permis d'établir un lien plus faible entre les contraintes réglementaires et la structure et le volume des échanges. C'est ce qu'on a appelé l'effet du « refuge » pour pollueurs. D'après cette hypothèse, une réglementation contraignante influe sur l'avantage comparatif *à la marge,* mais ne se traduit pas nécessairement par une migration globale des industries vers des régions plus permissives. Ces recherches se sont principalement attachées à donner des solutions économétriques aux problèmes dont souffraient les études précédentes, en particulier l'endogénéité de la réglementation, des courants d'échange et surtout des investissements. Ainsi, Levinson et Taylor (2008) ont étudié les rapports entre les dépenses que le secteur industriel consacre à la lutte contre la pollution, d'une part, et la pénétration des importations (mesurée comme étant le ratio de la somme des importations et des exportations à la production intérieure totale) aux États-Unis, d'autre part. Ils ont notamment observé que les entreprises dont ces dépenses ont le plus augmenté sont aussi celles dont les importations nettes ont le plus augmenté et que dans les 20 secteurs industriels engageant le plus de dépenses de lutte contre la pollution, plus de la moitié de la hausse du volume des échanges peut s'expliquer par des réformes de la réglementation nationale. De même, Ederington *et al.* (2005) observent que cette pénétration est plus élevée dans les secteurs industriels qui supportent le plus de dépenses de lutte contre la pollution par rapport à leurs dépenses totales. Cette corrélation est plus étroite dans les secteurs protégés par des tarifs douaniers sur les importations. Ils ont également constaté que les réductions des droits de douane favorisent davantage les importations des industries propres que des industries polluantes. Ils concluent que la libéralisation du commerce a tout au plus modifié le tissu industriel des États-Unis en donnant une plus grande place

aux industries les plus polluantes, les importations de marchandises polluantes augmentant moins que celles de marchandises non polluantes. Cette constatation va à l'encontre de l'idée reçue selon laquelle la libéralisation du commerce a déplacé les industries polluantes des États-Unis vers ses partenaires commerciaux moins développés, mais est conforme à la théorie qui veut que les États-Unis possèdent un avantage comparatif dans le domaine des marchandises polluantes (cette question sera examinée plus avant ci-après).

2.4. Effets indirects

Dans leur analyse des travaux sur l'hypothèse du refuge pour pollueurs et l'effet de ce refuge, Copeland et Taylor (2004) avancent que si des travaux récents sont parvenus à percer à jour les effets de la mondialisation sur l'environnement, c'est qu'ils ont associé des approches théoriques et empiriques. Au début des années 90, les chercheurs ont découvert que la mondialisation pouvait avoir des conséquences sur l'environnement par le biais de l'*effet de composition*, de l'*effet d'échelle* et de l'*effet technique*.

- L'effet de composition mesure la modification des émissions induite par le changement de la composition du secteur industriel d'un pays provoqué par la libéralisation du commerce[6]. Si par exemple la libéralisation incite le secteur des services à se développer et celui de l'industrie lourde à se contracter, le volume total d'émissions du pays va vraisemblablement diminuer, car le secteur qui se développe engendre moins d'émissions.
- L'effet d'échelle se concrétise par le fait qu'une affectation des ressources plus efficiente au sein des pays repousse les limites de la production mondiale et élargit les sources de la pollution industrielle, ce qui se traduit par une augmentation des émissions mondiales.
- L'effet technique désigne les très nombreux moyens par lesquels la libéralisation du commerce influe sur le degré de pollution des industries et des ménages. Il s'agit notamment de l'évolution des contraintes réglementaires en matière d'environnement pour faire face à la croissance des revenus ou du contexte politique de la réglementation. L'effet technique concerne également les transferts de technologie facilités par le commerce.

2.5. Effet de composition

La libéralisation du commerce change les prix relatifs : l'élimination des barrières tarifaires et non tarifaires diminue le prix relatif des marchandises en concurrence avec les produits importés. Supposons que cela se traduise par une hausse de la production du secteur E (en expansion) et une réduction de la production du secteur C (en contraction). Cette évolution provient par exemple du déplacement du capital et de la main-d'œuvre du secteur en recul vers le secteur en expansion en raison d'un changement du prix relatif des marchandises. Cette réaffectation des ressources réduira le volume total des émissions du pays considéré si le secteur en expansion est moins polluant que le secteur en contraction. Plus précisément, si l'échelle de l'activité économique et les techniques de production restent constantes, l'effet de composition peut être représenté par l'équation Z: $\Delta Z = eE\Delta QE+eC\Delta QC$ dans laquelle Δ indique le changement des émissions totales du pays, e_i l'intensité des émissions du secteur i et Q_i la production. Si par exemple les prix sont égaux dans tous les secteurs, alors pour redistribuer les ressources entre les différents

secteurs de façon à maintenir le revenu et l'échelle, il faudrait que $\Delta QE = -\Delta QC$, de sorte que le changement des émissions puisse être noté $\Delta Z = [eE\text{-}eC]\Delta QE$. En d'autres termes, le commerce réduira les émissions du pays si et seulement si le secteur en expansion est relativement moins polluant.

Il faut alors se demander quels secteurs se développeront grâce à la libéralisation du commerce. D'après la théorie du commerce de Heckscher-Ohlin, les industries les plus susceptibles d'être confrontées à la concurrence des importations (et par conséquent de se contracter après une libéralisation des droits de douane) sont celles qui sont relativement très dépendantes du facteur rare du pays. Un bon exemple est celui des secteurs du textile et des vêtements, qui comptent parmi les plus protégés aux États-Unis. Ce pays est doté d'une main-d'œuvre non qualifiée relativement peu nombreuse par rapport à sa dotation en capital et à ses ressources foncières (si on le compare à des moyennes internationales). De plus, au moins dans le cas de certains polluants, il existe une forte corrélation entre les émissions d'un secteur industriel et son intensité de capital. À l'aide du Compendium de données sur l'environnement de l'OCDE de 1999, Cole et Elliot (2003) ont calculé qu'il existe une corrélation de 0.42 entre l'intensité d'émission de SO_2 et l'intensité de capital, que la corrélation pour les émissions de NO_x est 0.44 et que ces deux corrélations sont statistiquement significatives[7]. De même, Cole et Elliot (2005) ont calculé une corrélation entre les coûts d'exploitation et de lutte contre la pollution (par dollar de valeur ajoutée) et le capital physique par actif de 0.69 et 0.53, respectivement, dans les catégories à 2 et 3 chiffres de la classification des activités économiques.

Étant donné qu'il existe souvent une forte corrélation entre l'intensité des émissions et l'intensité de capital, Antweiler *et al.* (2001) ont retenu l'hypothèse de la dotation en facteurs, qui prévoit que la libéralisation du commerce se traduira par une augmentation des émissions dans les pays où le capital est abondant et par une réduction dans ceux où il est rare. Ils ont vérifié cette hypothèse, ainsi que plusieurs autres avancées dans les publications spécialisées, à l'aide de données de panel sur les concentrations de SO_2 présentes dans le milieu ambiant urbain et trouvé des éléments qui prouvent que ces concentrations augmentent avec le ratio capital-travail d'un pays. Ils ont calculé l'élasticité par rapport à la composition et conclu que pour la plupart des spécifications, une hausse de 1 % du ratio capital-travail (l'échelle, le revenu et d'autres facteurs déterminants restant constants) aboutit sans doute à une augmentation d'un point de pourcentage de la pollution. Cole et Elliot (2003) ont repris l'étude d'Antweiler *et al.* (2001) sur le SO_2 et élargi l'analyse pour prendre aussi en considération le CO_2, les NO_x et la demande biologique en oxygène (DBO); ils ont estimé que les élasticités par rapport à la composition sont de 2.3 et 0.45 pour le SO_2 et le CO_2 et statistiquement impossibles à distinguer de zéro pour les NO_x et la demande biologique en oxygène. À l'aide de données chinoises, Shen (2007) a calculé les effets de composition du SO_2, des retombées de poussières, de la demande chimique en oxygène (DCO), de l'arsenic et du cadmium et observé dans chaque cas qu'une plus grande abondance de capital/de travail correspond à davantage de pollution (les élasticités étant de 3.025, 1.079, 0.788, 1.325 et 2.416, respectivement).

Les contraintes réglementaires sont une autre source d'avantage comparatif. Les nombreuses études au niveau microéconomique sur les relations entre les revenus et la disposition à payer pour les aménités environnementales permettent de penser que la *demande* de qualité environnementale augmente avec les revenus. Ceci concorde avec la logique selon laquelle les aménités environnementales sont des biens « normaux » : nous en voulons davantage à mesure que nous devenons plus riches. Dans la mesure où la

demande d'aménités environnementales influe sur les réglementations environnementales, les pays riches tendent à adopter une réglementation environnementale plus sévère que les pays pauvres et à acquérir ainsi un avantage comparatif dans les industries relativement propres. Par conséquent, la libéralisation du commerce qui amène le secteur secondaire à se restructurer en fonction de ses avantages comparatifs devrait conduire les secteurs propres (les services par exemple) à se développer dans les pays riches et les industries polluantes à se développer dans les pays pauvres. Ce phénomène peut produire l'effet de refuge pour pollueurs décrit plus haut, suivant lequel une réglementation stricte met les pays dans une situation défavorable dans le domaine des marchandises polluantes. Il *existe* une corrélation étroite entre les revenus et les contraintes réglementaires. Par conséquent, selon l'une des interprétations de l'effet du refuge pour pollueurs, les pays pauvres possèdent un avantage comparatif dans le domaine des marchandises polluantes, toutes autres choses étant égales par ailleurs (en particulier l'abondance du capital).

La corrélation entre le revenu par habitant et l'abondance du capital par habitant étant en théorie forte (Welsch [2002] a calculé une corrélation brute de 0.95), nous prévoyons que l'effet du refuge pour pollueurs et l'hypothèse de la dotation en facteurs se neutralisent dans des essais empiriques qui tiennent compte uniquement soit du revenu national, soit de l'abondance des facteurs, mais pas des deux à la fois. Conscients de cette situation, Antweiler *et al.* (2001) et Cole et Elliot (2003) ont construit des indices « d'avantage comparatif ». L'indice d'avantage comparatif est la somme de fonctions quadratiques du produit intérieur brut (PIB) par habitant et des ratios capital-travail, chacun étant mesuré par rapport à une moyenne mondiale. Ils ont ensuite établi un lien entre ces indices et des indicateurs de l'ouverture sur l'extérieur pour calculer les élasticités par rapport à la composition induites par le commerce. Dans l'échantillon d'Antweiler *et al.* (2001), le pays qui se situe statistiquement dans la moyenne possède un avantage comparatif dans le domaine des marchandises non polluantes et une élasticité par rapport à la composition induite par le commerce correspondante située entre –0.4 et –0.9. Dans la ville moyenne de leur échantillon, Antweiler *et al.* (2001) ont également calculé qu'une augmentation de 1 % de l'ouverture vers l'extérieur se traduit par une réduction des concentrations de SO_2 comprise entre 0.4 % et 0.9 %, les revenus et l'échelle restant constants.

Santos-Pinto (2002) a estimé lui aussi une élasticité par rapport à la composition induite par le commerce, en s'intéressant exclusivement aux émissions de CO_2 (chiffrées à l'aide des données des Nations Unies sur l'utilisation des combustibles fossiles). Dans le pays moyen de son échantillon, Santos-Pinto (2002) a estimé qu'une augmentation de 1 % du degré d'ouverture sur l'extérieur (division de la somme des exportations et des importations par le produit national brut, PNB) entraîne une réduction de 0.1 % des émissions de CO_2, les revenus et l'échelle restant constants. Santos-Pinto fait observer que cet effet de composition induit par le commerce, bien qu'il soit favorable à l'environnement dans le pays moyen de son échantillon, ne représente que ?^{e} environ de l'effet d'échelle (négatif) et des effets purement de composition. Par comparaison, dans l'échantillon de Cole et Elliot (2003), le pays statistiquement médian possède un avantage comparatif dans le domaine des marchandises polluantes. Plus précisément, dans ce pays médian, une augmentation de 1 % du commerce (les revenus et l'échelle restant constants) relève les niveaux de SO_2, de CO_2 et de DBO respectivement de 0.3 %, 0.049 % et 0.05 %[8]. Shen (2007) utilise des données sur les concentrations de la Chine et obtient des effets contrastés. Ses estimations de l'élasticité par rapport à la composition induite par le commerce sont les

suivantes : 1.556, 1.962, –2.148, –0.236 et –3.884 pour le SO_2, les retombées de poussières, la DCO, l'arsenic et le cadmium, respectivement, de sorte que si les revenus/l'échelle et la composition restent fixes, une augmentation de l'intensité des échanges relève les concentrations de SO_2 et de poussières, mais diminue celles de DCO, d'arsenic et de cadmium dans la province moyenne de Chine.

De même, Frankel et Rose (2002, 2005) ont déterminé si l'ouverture sur l'extérieur avait davantage d'effets sur l'environnement lorsque le ratio capital-travail d'un pays est supérieur ou le revenu par habitant inférieur à la moyenne mondiale. Ils ont évalué l'effet de l'ouverture sur les concentrations de NO_2, de SO_2 et de particules, les émissions de CO_2, la déforestation, la raréfaction des sources d'énergie et l'accès à l'eau pure en zone rurale. Leur approche diffère des précédentes par leur utilisation de variables instrumentales pour tenir compte de l'endogénéité du volume du commerce et des niveaux des revenus. Étant donné que leur instrument sur le volume du commerce connaissait peu de variations, ils ont limité leur étude à des données obtenues par coupes transversales. Ils ont inclus un terme d'interaction entre l'abondance relative du capital et l'ouverture pour voir si les pays dotés d'un capital abondant possèdent un avantage comparatif dans le domaine des marchandises polluantes et ont constaté que les signes sont variables et que l'importance des écarts types rend le terme d'interaction statistiquement insignifiant.

Pour vérifier l'effet du refuge pour pollueurs, Frankel et Rose (2002, 2005) ont effectué des régressions distinctes qui comprennent une interaction entre le revenu et l'ouverture sur l'extérieur. Leurs résultats sont statistiquement insignifiants, sauf pour les particules et le SO_2, pour lesquels ils ont constaté que le revenu a un effet nuisible sur les concentrations dans les économies les plus ouvertes. Ils ont conclu que « *rien ne permet de penser que les pays pauvres (…) ou riches utilisent le commerce pour exploiter un 'avantage comparatif' en matière de pollution* » (Frankel et Rose, 2005). Quoique les données sur lesquelles ils fondent leur argumentation soient intéressantes, il faut hésiter à conclure qu'elles réfutent l'hypothèse de la dotation en facteurs et l'effet du refuge pour pollueurs. Comme on l'a vu plus haut, il existe une très forte corrélation entre les revenus et l'abondance de capital. Si une seule variable est incluse dans l'interaction, le coefficient ajusté peut très bien refléter l'effet de la variable exclue. Étant donné que la dotation en facteurs et l'effet du refuge pour pollueurs ont des effets inverses sur le niveau de la pollution, une interaction statistiquement insignifiante entre l'abondance de capital et l'ouverture vers l'extérieur, par exemple, peut simplement refléter deux effets qui se neutralisent plutôt que l'absence d'un effet de dotation en facteurs.

La majorité des données empiriques tend à démontrer qu'il existe une interaction économiquement et statistiquement significative entre l'intensité des échanges et l'abondance relative du capital pour les polluants atmosphériques locaux. L'effet favorable ou nocif sur l'environnement varie en fonction des pays selon qu'ils disposent d'un capital rare ou abondant par rapport au reste de l'économie mondiale.

Les mesures de l'offre globale de capital et de travail sont des mesures brutes de l'avantage comparatif. D'autres caractéristiques de l'industrie comme le rôle du coût et de la ponctualité des transports peuvent être tout aussi importantes. Hummels (2007) estime que le coût et la durée des transports constituent aujourd'hui un plus grand obstacle au commerce que les droits de douane[9] dans les pays industrialisés : « pour une cargaison médiane d'importations américaines en 2004, les exportateurs ont payé neuf dollars de frais de transport pour chaque dollar de droits de douane ». Une réduction de la durée des

transports favorise de façon disproportionnée les secteurs dont les produits sont sensibles au temps, mais aucune enquête empirique ne semble avoir été réalisée sur l'intensité de pollution relative des produits sensibles et non sensibles au temps. De même, une diminution des frais de transport favorisera les secteurs dans lesquels ces frais représentent une grande partie des coûts à la livraison (Hummels, 2007). En étudiant les relations entre la pénétration des importations et le coût de la lutte contre la pollution au niveau de l'industrie aux États-Unis, Ederington *et al.* (2005) prouvent que les secteurs dont les coûts de transport sont élevés sont relativement insensibles aux changements de la réglementation environnementale.

Les données empiriques sur les effets de composition du commerce font aussi défaut dans un autre domaine, celui des consommateurs et de l'agriculture. C'est ainsi que Costello et McAusland (2003) ont affirmé qu'une augmentation du volume du commerce développe la base à partir de laquelle les invasions biologiques peuvent survenir (lorsque davantage de marchandises arrivent sur des navires plus nombreux, les espèces exotiques s'introduisent plus facilement), mais que les dégâts causés par les espèces exotiques aux cultures peuvent néanmoins diminuer grâce au commerce si le secteur agricole se contracte des suites de la libéralisation du commerce. Ils donnent comme exemple l'industrie sucrière des États-Unis dans laquelle le protectionnisme a pu accroître les dommages provoqués par les espèces envahissantes. Le prix du sucre aux États-Unis étant environ le double de celui pratiqué sur les marchés internationaux, les plantations de sucre se sont développées alors que les superficies consacrées à toutes les autres cultures ont reculé. L'introduction accidentelle de la pyrale du riz du Mexique provoque actuellement entre 10 et 20 millions USD de dégâts rien que dans le secteur du sucre du Texas, alors que les recettes annuelles de la culture de la canne à sucre de cet État s'élèvent à 64 millions USD (Costello et McAusland, 2003).

La libéralisation des échanges modifie les prix payés par les ménages et pousse les consommateurs à changer la composition des produits consommés. Dans la mesure où les consommateurs produisent des émissions ou épuisent les ressources lorsque les produits sont *consommés*, la libéralisation du commerce devrait avoir des conséquences sur l'intensité des émissions de chaque dollar de produit consommé. À titre d'exemple, la plupart des pays subventionnent (du moins implicitement) la consommation de combustibles fossiles soit en taxant implicitement les produits énergétiques exportés, soit en subventionnant implicitement la consommation. Le Venezuela est un exemple extrême puisqu'en 2006, le gallon d'essence ne coûtait que 0.05 USD[10].

2.6. Effet net de composition à l'échelle mondiale

L'analyse qui précède porte essentiellement sur l'effet de la libéralisation du commerce sur le tissu industriel national. Si l'échelle et les techniques de production restent constantes, le commerce entraîne une réduction des émissions nationales si le secteur en recul est plus polluant que le secteur en développement, c'est-à-dire si $e_E<e_C$. On peut faire une analyse analogue des émissions à l'échelle mondiale. Supposons que la baisse de la production dans le secteur C d'un pays corresponde exactement à l'augmentation de la production de ce secteur dans les autres pays. Le fait de savoir si une libéralisation du commerce neutre du point de vue de l'échelle et des revenus diminue ou augmente les émissions à l'échelle mondiale dépend de l'intensité relative des émissions de chaque partenaire commercial. Plus précisément, si les astérisques représentent les changements dans le reste du monde, le changement des émissions mondiales Z^G sera

$\Delta Z^G = [e_E - e_C - (e_E^* - - e_C^*) + 2e_T]\Delta Q_E$, où e_T représente les émissions par unité échangée[11]. Les émissions totales augmentent donc à moins que les techniques de production du reste du monde ne soient relativement propres avec une marge non négligeable. Les données disponibles révèlent toutefois que, pour certains produits du moins, les pays qui possèdent un avantage comparatif naturel dans la production de denrées agricoles par exemple emploient des techniques à moindre intensité énergétique.

Une bonne illustration est la distinction entre les kilomètres alimentaires et l'empreinte carbone. Depuis les années 90, les entreprises du secteur de la distribution du Royaume-Uni et d'Europe indiquent sur les étiquettes le nombre de kilomètres que les produits alimentaires ont parcouru, l'hypothèse étant que les produits transportés sur de plus courtes distances sont moins polluants. Saunders, Barber et Taylor (2006) montrent toutefois que si le Royaume-Uni importait des produits laitiers et de la viande de Nouvelle-Zélande, cela provoquerait non pas plus, mais moins d'émissions de carbone que si l'on produisait les mêmes denrées localement, même en tenant compte des émissions liées au transport. Ils calculent en effet que pour élever une tonne de carcasse d'agneau en Nouvelle-Zélande (et la transporter vers le Royaume-Uni), on émet 688 kilogrammes de CO_2 alors qu'en produisant la même quantité d'agneau au Royaume-Uni, sans la transporter, on émet 2 849 kilogrammes de CO_2[12]. On réalise des économies analogues en important des produits laitiers et des pommes (de contre-saison) au Royaume-Uni : 1422.5 contre 2902.7 par tonne de matière sèche lactique et 185 contre 271.8 par tonne de pommes (Saunders *et al.*, 2006). Dans certains cas, les différences d'intensité des émissions s'expliquent par des raisons très simples, des différences de sources d'énergie par exemple. À partir de prévisions de l'approvisionnement total en énergie primaire, l'AIE (2007) estime que les émissions de carbone par million de tonnes d'équivalent pétrole (Mtep) peuvent varier dans un rapport de un à cent selon les pays : les émissions de CO_2 par Mtep sont de 0.13 en République du Congo et de 0.15 au Mozambique, contre 3.46 en Corée du Nord et 3.75 en Mongolie[13].

2.7. Effet technique

Le volume des émissions par unité de bien produit ou consommé varie selon les « techniques » de production ou de consommation. Dans la mesure où la mondialisation modifie ces techniques, soit du fait de l'action des pouvoirs publics, soit en raison de l'évolution technologique, elle a un effet sur l'environnement proprement dit. Les études sur les effets techniques ont surtout porté sur les réformes de la politique de l'environnement liées à une augmentation des revenus induite par le commerce. Une grande partie de l'argumentation développée ci-dessous porte en conséquence sur des estimations empiriques des effets du revenu. Les paragraphes qui suivent traitent toutefois aussi des données sur les autres moyens par lesquels la mondialisation influe sur les « techniques » comme les changements du contexte politique qui oriente la réglementation, la capacité des responsables de la réglementation à évaluer les possibilités de réduire la pollution et, surtout, la capacité des producteurs à réduire la pollution.

Effet technique – revenu

La libéralisation influe sur l'intensité des émissions par plusieurs moyens, dont le plus étudié est la hausse des revenus liée à la libéralisation du commerce. D'après les prévisions, le commerce peut avoir des effets considérables sur les revenus. À l'aide de données sur le revenu par habitant dans plusieurs pays, de mesures instrumentées de la

part des échanges (plus précisément, la valeur des importations et des exportations d'un pays divisée par la valeur de sa production nationale) et d'autres variables de contrôle, Frankel et Romer (1999) ont conclu qu'une progression d'un point de pourcentage de la part des échanges augmente de 2.0 % le revenu par habitant[14, 15]. De même, Frankel et Rose (2002, 2005) ont estimé le revenu par habitant comme une fonction (instrumentée) de la part des échanges, de la population (nombre d'habitants et taux de croissance), du revenu par habitant (mesuré avec un décalage de 20 ans), de l'investissement par habitant et du taux de scolarisation. Ils n'ont toutefois pas étudié les liens entre le commerce et l'abondance des facteurs. Frankel et Rose ont constaté qu'une augmentation d'un point de pourcentage du ratio du commerce au PIB relevait les revenus de 1.6 %[16].

Toute hausse du revenu générée par le commerce est importante pour l'environnement, car les études au niveau microéconomique s'accordent à reconnaître que *l'augmentation du revenu stimule la demande d'aménités environnementales*. En réalité, bien que quelques études établissent une relation négative entre le revenu et la demande environnementale, la question qui se pose est plutôt de savoir si la demande d'aménités environnementales augmente plus ou moins que les revenus, au lieu d'évoluer dans les mêmes proportions[17]. Cela revient à se demander si l'élasticité de la demande de qualité environnementale par rapport au revenu est supérieure ou inférieure à l'unité. En étudiant les zones aménagées en parcs et les forêts, Antle et Heidebrink (1995) constatent que l'élasticité de la demande de services environnementaux par rapport au revenu (…) [dans les pays à revenu élevé est] positive et généralement supérieure à un. Shafik (1994) observe une élasticité de la demande par rapport au revenu supérieure à un pour toute une gamme d'aménités environnementales, notamment l'accès à l'eau pure et aux installations sanitaires, ainsi que la qualité de l'air ambiant. Boercherding et Deacon (1972) et Bergstrom et Goodman(1973) constatent que la disposition à payer des améliorations de l'environnement augmente plus vite que les revenus. McFadden et Leonard (1992) et Kriström et Riera (1996) estiment en revanche que la disposition à payer, en part du revenu, diminue au même rythme que les revenus (ce qui semble montrer que l'élasticité de la disposition à payer par rapport au revenu est inférieure à l'unité).

Une autre série d'informations qui utilise des données macroéconomiques et des résultats obtenus au plan de l'environnement établit une relation en forme du U inversé entre les concentrations de pollution (en ordonnée) et le revenu par habitant (en abscisse). C'est ce qu'on appelle la courbe environnementale de Kuznets. Dans l'une des premières publications à ce sujet, Grossman et Krueger (1995) utilisent des données du Système mondial de surveillance continue de l'environnement (GEMS) pour estimer la relation cubique entre la croissance économique (comme mesure indirecte du revenu par habitant) et les concentrations de polluants atmosphériques urbains et d'autres contaminants. Ils constatent que la relation négative entre la croissance et la pollution s'inverse à certains « tournants ». Ainsi, dans le cas du SO_2, de la fumée, de la DBO, de l'arsenic et du mercure, les concentrations diminuent avec les revenus lorsque le revenu par habitant est supérieur à 4 053 USD, 6 151 USD, 7 263 USD, 4 900 USD et 5 247 USD, respectivement. D'autres auteurs pointent du doigt plusieurs problèmes posés par les estimations à l'aide de la courbe environnementale de Kuznets. Holtz-Eakin et Selden (1995) concluent que bien que la propension marginale à émettre finisse par baisser avec le revenu, la croissance rapide des pays en développement est telle que les émissions de CO_2 à l'échelle mondiale devraient augmenter de 1.8 % par an environ dans un avenir prévisible.

En théorie, la courbe de Kuznets peut s'expliquer à l'aide des courbes d'Engel ou par les changements des types de facteurs qui s'accumulent (voir Copeland et Taylor, 2003). Or si l'on décompose les émissions en intensités d'émissions et utilisation des apports (énergétiques par exemple), on est amené à penser que la réglementation joue vraisemblablement un rôle important. Hilton et Levinson (1998) examinent la relation entre les émissions de plomb des véhicules à moteur et les revenus et ont effectivement pu tracer une courbe de Kuznets. Cependant, ils décomposent les émissions de plomb en intensité d'émissions et consommation d'énergie. Étant donné que la part de la consommation d'énergie augmente régulièrement avec le revenu par habitant, toute réduction d'émissions doit être obtenue en diminuant l'intensité des émissions, ce que l'on ne peut faire sans réglementation. Ils montrent également que l'intensité des émissions baisse, même lorsque les revenus restent constants, dans les pays situés sur la partie ascendante de la courbe de Kuznets. Ils y voient la preuve que des mutations technologiques inexplicables par les revenus se sont produites durant la période qu'ils ont étudiée.

D'autres critiquent l'économétrie sur laquelle reposent les recherches qui aboutissent à une courbe de Kuznets. Harbaugh *et al.* (2002) montrent que les données du Système mondial de surveillance continue de l'environnement qui permettent de tracer une courbe en U inversé sont beaucoup moins robustes qu'on le pensait auparavant. (…), que l'emplacement des tournants, ainsi que leur existence même, peuvent être influencés par de légères variations des données et des permutations raisonnables des spécifications économétriques et qu'il suffirait d'épurer les données, ou d'inclure des observations nouvellement disponibles, pour faire disparaître le U inversé.

L'interprétation des résultats des analyses fondées sur la courbe de Kuznets qui mesurent un lien de cause à effet entre la hausse des revenus et la qualité de l'environnement pose un autre problème, à savoir que la plupart de ces analyses ne recherchent pas les causes premières de la hausse des revenus. Frankel et Rose (2002, 2005) constituent une exception. À l'aide de variables instrumentales pour tenir compte de l'endogénéité des revenus et de l'intensité du commerce, ces auteurs mesurent la relation entre le revenu par habitant prévu et les concentrations de pollution. Leurs estimations confirment une relation en forme de U inversé entre le revenu par habitant (instrumenté) et les concentrations de polluants atmosphériques. À partir des estimations ponctuelles de l'une de leurs estimations, les particules atteignent leur plus haut niveau lorsque le revenu s'élève à 3 217 USD par habitant, le SO_2 à 5 710 USD par habitant et le NO_2 à 8 134 USD par habitant[18]. En revanche, pour le CO_2, Frankel et Rose ne remarquent pas de tournant[19, 20].

Frankel (2009a) met les études de Frankel et Rose (2002, 2005) à jour en y incluant des données plus récentes que 1990. Les conclusions sont légèrement en retrait par rapport à celles d'avant, en particulier pour les particules[21], et sont intéressantes dans le cas du CO_2. La mise à jour trace une courbe environnementale de Kuznets qui donne à penser que les émissions pourraient quand même diminuer quand les revenus augmentent[22], sous l'effet peut-être des mesures prises par les pays à hauts revenus depuis que le Protocole de Kyoto de 1997 a donné naissance à un embryon de gouvernance multilatérale. Les échanges n'en continuent pas moins à exercer un effet amplificateur sur les émissions de CO_2.

Compte tenu des données microéconomiques et macroéconomiques (ces dernières étant discutables) qui montrent qu'il existe une corrélation positive entre les revenus et la qualité de l'environnement, il semble logique de conclure qu'une hausse des revenus

induite par le commerce se traduira par une augmentation de la demande de qualité environnementale. Les consommateurs expriment cette demande notamment en exigeant une réglementation environnementale plus stricte. À l'aide de données de panel sur les concentrations de SO_2 dans 108 villes de 43 pays, Antweiler, Copeland et Taylor (2001) ont obtenu des estimations ponctuelles de l'élasticité par rapport aux techniques située entre –1.577 et –0.905. Ils affirment donc que si le commerce relève les revenus de 1 %, l'effet technique réduira les concentrations de SO_2 de 0.9 à 1.6 % environ. En étudiant les relations entre les restrictions au commerce, la hausse des revenus et la demande chimique en oxygène en Chine, Dean (2002) trouve lui aussi des indications de l'existence d'un effet technique : « *une réduction de 1 % des restrictions au commerce se traduit par une augmentation de 0.09 % du taux de croissance des revenus … [qui] entraîne une diminution du taux de croissance des émissions … de 0.03 %* ».

Il va de soi que la mondialisation peut faire progresser les revenus par d'autres moyens que le développement du commerce. L'investissement direct étranger a lui aussi considérablement augmenté au cours des 25 dernières années puisqu'il représente aujourd'hui plus de 60 % des mouvements de capitaux privés (Carkovic et Levine, 2005) et est quatre fois plus important que ne l'étaient les prêts à des conditions commerciales dans les pays en développement dans les années 70. Alors que les entrées d'investissements directs étrangers devraient produire en grande partie les mêmes effets de composition, de revenu et d'échelle que le commerce, les chercheurs se sont plutôt demandé si des réglementations environnementales strictes attirent ou au contraire découragent les entrées d'investissements directs étrangers. Tout comme dans les premières recherches sur l'effet du refuge pour pollueurs, les données sont mitigées. Certaines des premières critiques de l'investissement direct étranger (du moins sur le plan de l'environnement) ont concerné l'hypothèse du refuge pour pollueurs, qui supposait que la libéralisation du commerce et l'assouplissement des règles en matière d'investissement inciteraient les multinationales à transférer leurs activités de production vers les pays en développement à faible revenu (et dotés d'une réglementation inadéquate). Peu d'informations prouvent toutefois qu'une fuite des capitaux a effectivement eu lieu. L'une des raisons en est la disparité importante entre les dépenses de lutte contre la pollution, d'une part, et le coût du capital et de la main-d'œuvre, d'autre part. Ainsi, aux États-Unis, le ratio des dépenses de lutte contre la pollution et des coûts d'exploitation à la valeur ajoutée est de 9.9 % dans le secteur des produits du pétrole et du charbon, mais ne dépasse 3.5 % dans aucun autre secteur (métaux de base : 3.5 %, papier et produits assimilés : 2.7 %, produits chimiques et assimilés : 2.4 %, produits du tabac : 2.3 %) (Cole et Elliot, 2005). Au niveau national, Jaffe *et al.* (1995) ont calculé les dépenses de lutte contre la pollution en pourcentage du PIB dans les années 80 et trouvé qu'elles atteignaient au maximum 1.6 % en Allemagne de l'Ouest et 1.5 % aux États-Unis[23], aux Pays-Bas et au Royaume-Uni. En termes de paiements, la part du lion revient plutôt au travail et au capital : aux États-Unis, la proportion du travail dans le revenu national se maintient aux alentours des deux tiers (Pakko, 2004).

Par la suite, des chercheurs (Becker et Henderson, 2000[24], List et Co, 2000[25], Keller et Levinson, 2002[26] et Fredriksson, List et Millimet, 2003[27]) se sont demandé si les différences entre pays, provinces ou États pouvaient avoir une influence sur les caractéristiques des entrées ou des sorties d'investissements directs étrangers. Brunnermeier et Levinson (2004) ont passé toutes ces études en revue. La plupart d'entre elles tiennent les résultats sur le plan de l'environnement pour donnés et se demandent quelles sont les

conséquences des réformes de la réglementation sur les flux d'investissement. Ce chapitre s'intéresse à l'autre aspect de cette question : quelles sont les conséquences de l'investissement direct étranger sur les résultats au plan de l'environnement? Cette question semble ne pas encore avoir reçu de réponse empirique[28]. Il est toutefois raisonnable de penser que l'élimination des obstacles aux investissements internationaux pourrait augmenter le PIB dans les pays bénéficiaires, essentiellement grâce aux transferts de technologie intégrés dans l'investissement direct étranger. Borensztein, De Gregorio et Lee (1998) examinent l'effet de l'investissement direct étranger sur le revenu par habitant dans les pays en développement et concluent que dans le pays statistiquement moyen de leur échantillon, une hausse de 0.005 du ratio investissement direct étranger/PIB (équivalent à un écart-type) relève le taux de croissance de l'économie hôte de 0.3 point de pourcentage par an.

Si ce lien de cause à effet est établi, il est permis de penser que la hausse des revenus provoquée par les entrées d'investissements directs étrangers a des effets bénéfiques sur l'environnement, analogues à ceux du commerce. Dans le même ordre d'idées, certains défenseurs de l'investissement direct étranger considèrent que les sorties d'investissements directs étrangers peuvent également augmenter les revenus dans le pays d'origine (en augmentant la demande de cols blancs au siège des multinationales par exemple), ce qui peut avoir des conséquences sur l'environnement par l'effet de revenu, mais les preuves empiriques font défaut. De même, les effets d'échelle et de composition des entrées et des sorties d'investissements directs étrangers ne semblent guère avoir été examinés.

Effet technique – politiques environnementales

Les recherches sur l'effet de revenu partent le plus souvent du principe que les ménages parviennent bien à concrétiser leurs préférences en contraignant les pouvoirs publics à agir. L'hypothèse habituelle est que les responsables de la réglementation et les politiciens sont sensibles aux goûts des électeurs et vont donc durcir les réglementations environnementales si la demande augmente. Bien entendu, dans la pratique, les électeurs ne constituent qu'un élément du processus politique. Le secteur industriel et les détenteurs de facteurs peuvent tout autant souhaiter infléchir une politique dans un sens qui leur est favorable. De plus, la libéralisation du commerce peut *faire évoluer* l'économie politique qui encadre la réglementation. McAusland (2003) a montré que l'ouverture d'un pays au commerce change l'incidence de la réglementation des émissions industrielles : dans une économie fermée, le poids de la réglementation est réparti entre les producteurs de marchandises polluantes et les consommateurs au moyen de la variation des prix. En revanche, dans une économie ouverte, les consommateurs sont isolés de l'effet de la réglementation industrielle locale sur les prix puisqu'ils peuvent acheter des produits de substitution auprès de concurrents non réglementés. D'après McAusland (2003), même si la libéralisation du commerce n'a aucun effet sur le prix des produits polluants (de sorte qu'il n'existe aucun effet de composition, de revenu et d'échelle), ce changement d'incidence entraîne une plus forte opposition à la politique environnementale de la part du secteur industriel et un affaiblissement de la politique environnementale si le secteur industriel exerce une influence excessive sur les responsables de la réglementation. A l'inverse, si la réglementation en question concerne une *pollution provoquée par les consommateurs*, l'ouverture déplace l'incidence dans la direction opposée : ce sont les producteurs qui voient leurs avantages isolés dans les économies ouvertes, ce qui réduit l'opposition du secteur

industriel à des normes de portée environnementale (McAusland 2008). De même, Gulati et Roy (2007) estiment que la libéralisation du commerce peut amener un secteur industriel en concurrence avec des produits importés à préférer des réglementations environnementales plus strictes lorsqu'il affronte la concurrence internationale. Ils montrent qu'une industrie nationale peut devenir plus respectueuse de l'environnement dès lors que les entreprises nationales ont avantage, en termes de coût, à respecter la réglementation, de sorte que des normes strictes ont pour effet d'alourdir les coûts des concurrents. McAusland (2004) avance lui aussi que l'industrie peut souhaiter que des normes locales strictes régissent les produits intermédiaires qu'ils utilisent (même si ces normes ne sont pas juridiquement contraignantes sur leurs concurrents étrangers) s'il existe un « effet californien » grâce aux marchés internationaux des intrants.

Si la libéralisation du commerce change donc l'incidence de la réglementation, elle peut aussi faire monter les enjeux au niveau des groupes de pression. Fredriksson (1999) considère qu'une hausse du prix des produits polluants (entraînée par la libéralisation des échanges dans un pays qui possède un avantage comparatif dans le domaine des produits industriels polluants) fait monter les enjeux pour les groupes de pression qui interviennent aussi bien en faveur des milieux industriels qu'environnementaux, ce qui peut avoir des effets ambigus sur les réglementations environnementales.

La libéralisation du commerce suscite une autre préoccupation, à savoir qu'elle facilitera la concurrence interétatique : si les entreprises mobiles peuvent desservir leurs marchés à partir de plusieurs sites, cela peut inciter les pouvoirs publics à assouplir leur réglementation environnementale de façon à attirer les industriels. Oates et Schwab (1998) avancent que les pouvoirs publics peuvent mettre en place une réglementation faible et inefficiente de façon à attirer des capitaux qui complètent des facteurs fixes locaux. Markusen *et al.* (1995) affirment que les pouvoirs publics qui tentent d'attirer de gros investissements concentrés peuvent eux aussi assouplir leur réglementation environnementale. Levinson (2003) montre que les pouvoirs publics se font effectivement concurrence dans ce domaine. Il considère que la décision de 1992 de la Cour suprême des États-Unis interdisant les discriminations fiscales a marqué un tournant puisque la pente des fonctions de réaction des administrations des États (qui établit une correspondance entre la réglementation locale et celle des États voisins) n'est pas statistiquement significative avant la décision de 1992, mais devient statistiquement significative et positive après cette date.

Effet technique – transferts de technologie

La mondialisation peut faciliter les transferts de technologie entre les pays par plusieurs voies. Le commerce est un moyen évident : les sociétés d'ingénierie qui mettent au point des technologies propres se lancent dans la vente directe de leurs technologies à des entreprises à l'étranger (et dans l'assistance dans ce domaine). Par ailleurs, la technologie peut être intégrée dans les biens d'équipement échangés. En outre, l'ingénierie de ces produits peut être reconstituée, ce qui permet aux concurrents dans les pays importateurs d'incorporer les technologies nouvelles dans les biens d'équipement produits localement.

Les transferts de technologie peuvent également se réaliser par l'intermédiaire des filiales de multinationales. Des données concrètes montrent que la technologie liée aux entrées d'investissements directs étrangers est plus verte que la technologie locale. Eskeland et Harrison (2003) ont étudié la consommation d'énergie des usines au Mexique,

au Venezuela et en Côte d'Ivoire. À partir du ratio des apports énergétiques à la production, ils concluent que :

> « les participations étrangères sont liées à une consommation moindre d'énergie dans les trois pays. Dans la mesure où la consommation d'énergie est une bonne mesure indirecte des émissions de polluants atmosphériques, cela porte à croire que les usines sous contrôle étranger produisent moins d'émissions que les usines comparables à capitaux nationaux. Les résultats ne changent pas si l'on fait entrer l'âge des usines, le nombre d'employés et l'intensité de capital en ligne de compte, ce qui tend à démontrer que les usines étrangères sont plus économes en combustible, même si l'on tient compte du fait qu'elles sont généralement plus récentes, plus grandes et à plus forte intensité de capital » (Eskeland et Harrison, 2003).

Blackman et Wu (1998) indiquent eux aussi que la technologie incorporée explique pourquoi, en Chine, les centrales de production d'énergie à capitaux étrangers ont un rendement énergétique élevé (par rapport à celles à capitaux nationaux) et observent que 52 % du capital de production utilisé dans les centrales à capitaux étrangers de leur échantillon venaient de l'étranger, alors que dans les centrales nationales, 24 % seulement de l'équipement était produit à l'étranger. Les observations selon lesquelles les entrées d'investissement direct étranger ont généralement un meilleur rendement énergétique que les entreprises nationales concordent avec les résultats d'une enquête de 1990 sur 169 entreprises multinationales. La plupart avaient indiqué que leurs pratiques à l'étranger en matière de santé, de sécurité et d'environnement respectaient la réglementation de leur pays d'origine (Brunnermeier et Levinson, 2004, CNUCED, 1993).

Si l'investissement direct étranger fait disparaître des producteurs locaux, ce transfert de technologie incorporée peut réduire les émissions nationales. À l'inverse, même si l'investissement direct étranger ne se substitue pas à la production locale, les producteurs locaux peuvent bénéficier de retombées. Les recherches sur la force des retombées technologiques sont généralement axées sur les salaires et la production. Pour l'essentiel, les premières études à ce sujet font apparaître des retombées positives (Caves, 1974; Globerman, 1979; Blomström et Persson, 1983; Blomström, 1986). Des travaux ultérieurs portant sur des données au niveau des usines (qui tenaient compte de l'endogénéité du site d'implantation et de la répartition sectorielle des entrées d'investissements directs étrangers) révèlent cependant des retombées négatives. Ainsi, Aitken et Harrison (1999) étudient les effets secondaires sur la productivité au Venezuela et observent que ces entrées ont des conséquences négatives sur la productivité nationale. Ils calculent que lorsque la participation étrangère dans un secteur est portée de 0 à 10 %, la diminution de la productivité globale de ce secteur peut atteindre 3 %. Görg et Strobl (2001) font une synthèse des recherches sur les retombées des investissements directs étrangers.

Même si la technologie qui accompagne les entrées d'investissements directs étrangers n'est pas partagée avec les entreprises nationales, on peut observer des effets secondaires grâce à la concurrence par comparaison, l'organisme de réglementation fixant des règles pour une région ou une entreprise en fonction de ce que font les voisins. Fredriksson et Millimet (2002) analysent les relations entre la sévérité des réglementations environnementales d'un État américain et de celles de ses voisins et constatent que dans le nord-est des États-Unis, une augmentation de 10 % des coûts relatifs de lutte contre la pollution (pondérés en fonction des revenus) dans un État voisin augmente la rigueur de la réglementation de l'État considéré de plus de 30 %. De plus, l'effet d'entraînement est

asymétrique : alors que des normes plus strictes des pays voisins améliorent les normes locales, Fredriksson et Millimet (2002) constatent que des normes relativement souples d'un pays voisin n'ont aucun effet statistiquement significatif sur la réglementation locale. Quoique les données montrent que les organismes de réglementation utilisent la concurrence par comparaison à l'échelle des entreprises, Bhaskar *et al.* (2001) trouvent des éléments qui montrent que les administrations locales emploient la concurrence par comparaison entre les entreprises pour réduire les rentes que reçoivent les dirigeants du secteur public au Bangladesh. Estache *et al.* (2002) estiment que la concurrence par comparaison dans la réglementation des opérateurs des infrastructures portuaires au Mexique est de nature à améliorer l'efficience. La concurrence par comparaison au niveau des entreprises ne semble pas encore avoir été étudiée dans le contexte de l'environnement.

Effet technique – innovation induite par le commerce

La mondialisation peut aussi affecter l'environnement par le biais d'un changement technologique qu'elle induit. Un exemple en est la conteneurisation, qui réduit le temps que les navires doivent passer dans les ports pour charger et décharger les marchandises, augmente le taux de rendement des investissements en capital et débouche sur des investissements dans des navires plus grands et plus rapides (Hummels, 2007). L'une des conséquences de la conteneurisation a été l'émergence d'un système en étoile, qui peut avoir deux effets sur l'environnement. Premièrement, il peut augmenter la distance effective entre un couple exportateur-importateur donné, ce qui risque d'accroître le volume des émissions générées par les navires pour chaque dollar de marchandise échangée. En outre, ce système ouvre la porte aux invasions biologiques : si les exportations de la région A vers la région B passent par une plaque tournante dans la région C, la région B est exposée à l'ensemble des espèces de la région A et de *toutes les autres régions dont les marchandises exportées transitent par la plaque tournante de la région C*. Drake et Lodge (2004) simulent un modèle de réseau qui montre que sept grands ports servent de goulets d'étranglement des voies d'invasions marines : Chiba (Japon), Durban (Afrique du Sud), Las Palmas de la Grande Canarie (Espagne), Long Beach (États-Unis), Le Pirée (Grèce), Singapour (Singapour) et Tubarao (Brésil). Ils concluent néanmoins qu'il serait plus efficace de changer la technologie qui réduit la pression des propagules par navire pour faire reculer les invasions marines dans le monde que de détourner le commerce maritime de ces sept zones sensibles. Fernandez (2007) a recueilli des données sur le transport maritime et les invasions biologiques dans les ports de la côte du Pacifique au Mexique, aux États-Unis et au Canada et a considéré que des stratégies préventives et concertées dominaient les stratégies correctives pour toutes les parties.

2.8. Effet d'échelle

Bien que l'effet d'échelle et l'effet technique soient assez différents sur le plan théorique, ils sont difficiles à distinguer dans de nombreuses applications empiriques. En utilisant le PIB/km2 comme mesure indirecte de l'échelle, Antweiler *et al.* (2001) estiment une élasticité par rapport à l'échelle située entre 0.112 et 0.398 pour le SO_2. En d'autres termes, si le revenu et le capital par habitant restent constants, une hausse de 1 % de la densité de l'activité économique correspond à une augmentation du SO_2 de 0.1 à 0.4 %. Cole et Elliot (2003) utilisent des données au niveau national et ne peuvent donc pas les effets d'échelle et de technique indépendamment l'un de l'autre. En utilisant le revenu

national par habitant comme variable indépendante, Cole et Elliot (2003) constatent que dans un pays statistiquement médian de leur échantillon, une augmentation de 1 % de la production nationale/du revenu national induite par le commerce diminue le SO_2 et le DBO de 1.7 % et 0.06 %, respectivement. En somme, dans le cas du SO_2 et du DBO, l'effet technique semble dominer. Leurs résultats semblent cependant montrer qu'en ce qui concerne les NO_x et le CO_2, c'est l'effet d'échelle qui domine : une hausse de 1 % de la production nationale/du revenu national correspond à une augmentation de 1 % et 0.46 % des émissions de NO_x et de CO_2 par l'effet d'échelle conjugué à l'effet technique (à titre de comparaison, d'après Antweiler *et al.*, l'élasticité par rapport à la fois à l'échelle et à la technique est approximativement de 1.0.). À partir de données chinoises, Shen (2007) calcule les élasticités nettes par rapport à l'échelle et la technique et observe un effet environnemental net négatif du revenu par rapport à l'échelle pour le SO_2 et les retombées de poussières, alors que pour la DCO, l'arsenic et le cadmium, l'effet net est bénéfique pour l'environnement (les élasticités étant de respectivement 4.0, 2.4, –0.982, –1.659 et –3.039).

2.9. Mondialisation et environnement – effets directs

L'effet d'échelle, l'effet de composition et l'effet technique examinés plus haut sont considérés comme les effets *indirects* de la mondialisation. Ils sont tous dus à l'évolution des prix relatifs qui découle de l'intégration à l'économie mondiale. Curieusement, la plupart des études économiques ne tiennent pas compte des effets directs du développement du commerce, en particulier de l'augmentation des émissions et d'autres externalités du secteur des transports chargé de déplacer les marchandises et d'assurer des services intégrés (personnel et touristes) entre les pays. La section ci-dessous fait un bref tour d'horizon des atteintes à l'environnement et d'autres conséquences du secteur des transports. Ces atteintes et ces conséquences seront analysées plus en détail dans d'autres chapitres.

Transports de surface

À peine moins d'un quart du commerce mondial (mesuré en *valeur*) s'écoule entre des pays qui partagent une frontière terrestre. Toutefois, cette moyenne reflète essentiellement la structure des échanges en Amérique du Nord et en Europe, où le commerce entre pays voisins représente entre 25 et 35 % du commerce. En Afrique, en Asie et au Moyen-Orient, la part du commerce entre pays voisins oscille en revanche entre 1 % et 5 %. En Amérique latine, entre 10 % et 20 % du commerce se fait entre pays qui partagent une frontière terrestre (Hummels, 2007). On ne dispose pas de données sur les modes de commerce entre pays voisins au niveau mondial, mais Hummels (2007) avance que les données sur les États-Unis et l'Amérique latine permettent de penser que le commerce entre pays qui partagent une frontière terrestre est dominé par des modes de surface tels que la route, le rail et les oléoducs et que quelque 10 % du commerce se fait par voie aérienne ou maritime. Fernandez (2008) calcule que 90 % du commerce entre les États-Unis et le Mexique et 66 % du commerce entre les États-Unis et le Canada est acheminé par la route.

Les dégâts que les transports terrestres causent à l'environnement varient considérablement en fonction notamment de la densité de la zone que traversent les marchandises[29]. Forkenbrock (2001) estime le coût du transport ferroviaire d'une tonne/mille dans les comtés ruraux (à partir des estimations des intensités d'émission de composés organiques volatils, de NO_x et de particules de diamètre inférieur à 10 microns) à 0.009 pour un train complet lourd, 0.011 pour un train mixte de marchandises, 0.020 pour

un train intermodal, 0.013 pour un train à double niveau de chargement (tous les chiffres sont exprimés en cents de 1994 par tonne-mille). Forkenbrock (2001) compare ces données avec des estimations des dommages provoqués par les camions, soit 0.23 cent par tonne-mille. Il convient de noter qu'il s'agit d'estimations de dommages moyens provoqués par les transports aux États-Unis[30]. À titre de comparaison, Parry et Small (2002, 2005) chiffrent à 2.0 cents par mille environ le coût des dégâts causés à l'environnement par un voyageur/véhicule dans une zone urbaine. Pour l'Europe, Bickel *et al.* (2005) calculent les dommages marginaux provoqués par les transports en prêtant une attention particulière à la façon dont ils varient selon le mode de transport, la source d'énergie et le lieu. Ils constatent que les dommages provoqués par la pollution atmosphérique générée par les transports routiers interurbains de marchandises allaient de 2.09 à 7.46 centimes d'euro par véhicule-km (voir Bickel *et al.* 2005, tableau 4, p. 196), alors que les dommages provoqués par le réchauffement de la planète (liés aux gaz à effet de serre dégagés par les véhicules) dû aux poids lourds vont de 2.03 à 3.28 centimes d'euro par véhicule-km.

Le rendement énergétique des transports de surface, tout comme celui des autres modes de transport, continue d'augmenter. Ainsi, le ministère de l'Énergie des États-Unis indique qu'entre 1992 et 2002, la consommation moyenne de carburant a diminué de 3.2 % pour les utilitaires légers, de 9.6 % pour les camions moyens et de 3.6 % pour les poids lourds (Davis et Diegel, 2007).

Les analyses des émissions générées par les transports dans le cadre du commerce négligent souvent la question des temps d'attente aux frontières. Fernandez (2008) signale qu'à la frontière entre les États-Unis et le Mexique, ces temps sont souvent deux fois plus longs pour le trafic commercial en direction du nord que pour le trafic en direction du sud. Dans la région d'El Paso-Ciudad Juarez, 22 % des émissions peuvent être attribuées aux véhicules qui roulent au ralenti aux postes frontières (Fernandez 2008).

Émissions liées à la navigation

Le commerce de marchandises entre pays qui ne partagent pas une frontière terrestre se fait en grande majorité par voie maritime ou aérienne. Le nombre de tonnes/mille transportées par mer est 100 fois supérieur à celui qui est transporté par air. Ainsi, en 2004, 8 335 milliards de tonnes/mille de cargaisons autres que des vracs ont été transportées à l'échelle internationale par mer, contre 79.2 milliards de tonnes/mille seulement par air. Les taux de croissance sont cependant plus élevés pour le transport aérien : s'agissant des cargaisons autres que les vracs, le taux de croissance annuel des tonnes/mille était de 11.7 % pour les transports aériens et de 4.4 % pour les transports maritimes (Hummels, 2007). Une augmentation du volume du commerce ne se traduit évidemment pas nécessairement par une hausse des émissions si l'intensité des émissions d'une tonne/mille diminue. C'est effectivement plausible puisque les navires sont devenus plus économes en carburant (et plus rapides) au cours des 50 dernières années, en grande partie grâce à la conteneurisation (Hummels, 2007).

Toutefois, d'après certaines projections, les émissions vont augmenter plus rapidement que la consommation de carburant. L'Organisation maritime internationale prévoit que la consommation de combustible des navires va s'accroître d'environ un tiers entre 2007 et 2020, ce qui va se traduire par une augmentation d'environ un tiers des émissions maritimes de CO_2, de NO_x et de particules de diamètre inférieur à 10 microns et de 40 % des émissions maritimes de SO_x (Organisation maritime internationale, 2007). Corbett *et al.* (2007) prévoient que le nombre de décès dus aux émissions de particules de

diamètre inférieur à 10 microns produites par le transport maritime va augmenter de 40 % d'ici à 2012[31], la plupart des décès survenant dans les régions côtières d'Europe et d'Asie de l'Est et du Sud. La majorité de ces décès seront dus à des maladies cardio-pulmonaires et des cancers du poumon.

Une autre externalité négative du transport maritime est le risque de rejets d'hydrocarbures. Ces rejets ont totalisé en moyenne 314 200 tonnes par an dans les années 70, 117 600 tonnes par an dans les années 80 et 113 800 tonnes par an dans les années 90. Entre 2000 et 2008, ce chiffre n'a été que de 21 778 tonnes. De même, le nombre de rejets supérieurs à 7 tonnes a diminué puisqu'on en comptait 25.2, 9.3, 7.8 et 3.4 par an respectivement durant les périodes 1970-79, 1980-89, 1990-99 et 2000-2008 (ITOPF, non daté).

Aviation

Le secteur mondial des transports est responsable d'environ 14 % des émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Sur ce pourcentage, les camions représentent 23 %, les navires 10 % et l'aviation internationale 7 % (Stern, 2007). Bien que les émissions directes de gaz à effet de serre du secteur aérien soient les plus faibles, les émissions de gaz à effet de serre ne représentent pas tout le rôle que ce secteur joue dans le changement climatique. « À titre d'exemple, la vapeur d'eau émise à haute altitude provoque souvent la formation de traînées de condensation, qui ont tendance à réchauffer la surface de la Terre. Il existe également un effet de réchauffement de la planète très incertain qui provient des cirrus (nuages de cristaux de glace) que peuvent créer les aéronefs » (Stern, 2007). Bien qu'il n'existe pas de taux de conversion communément admis, on pense que le taux de réchauffement se situe entre 2 et 4, ce qui porte la part de l'aviation dans les émissions mondiales de gaz à effet de serre de 1.7 % à plus de 3 %.

De plus, le taux de croissance du transport aérien est près du double de celui du transport maritime. Entre 1975 et 2004, le taux de croissance annualisé du transport maritime était de 3.8 % alors qu'il était de 8.4 % pour le transport aérien (Hummels, 2007). Compte tenu des disparités entre les taux de croissance du transport aérien et d'autres modes de transport, Stern (2007) prévoit qu'entre 2005 et 2050, les émissions vont augmenter le plus, en l'occurrence tripler, dans le secteur de l'aviation (alors qu'elles doubleront dans le secteur des transports routiers).

2.10. Conclusions

Comme dans tous les domaines de recherche, il y a toujours des exceptions à la règle. Il semble que la règle générale sur les effets indirects du commerce sur l'environnement soit qu'une ouverture accrue est inoffensive ou a un effet bénéfique pour l'environnement au niveau local. Antweiler *et al.* (2001) concluent que pour un pays statistiquement moyen de leur échantillon, une augmentation de 1 % du commerce se traduit par une baisse des concentrations de SO_2 de 1 % environ. L'un des problèmes que pose l'approche adoptée par Antweiler *et al.* (2001) est qu'elle ne tient pas compte de l'endogénéité potentielle des volumes du commerce. Frankel et Rose (2002, 2005) emploient des instruments pour le volume du commerce et observent que l'ouverture semble néanmoins avoir un effet positif (à savoir des concentrations plus faibles) sur le SO_2 et le NO_2, mais aucune incidence significative d'un point de vue statistique sur les particules. De même, Chintrakarn et Millimet (2006) utilisent des variables instrumentales pour tenir compte de l'endogénéité et s'intéressent plutôt aux relations entre le commerce infranational et les rejets toxiques.

Ils concluent que l'intensité du commerce augmente les émissions terrestres, mais réduit les rejets dans l'atmosphère, l'eau et le sous-sol, ou n'a aucun effet statistiquement significatif sur ces rejets. L'un des avantages de la méthode de Chintrakarn et Millimet (2006) est que les instruments qu'ils emploient tiennent compte de l'endogénéité, tandis que l'utilisation de données sur un seul territoire fédéral permet de faire certaines comparaisons entre des unités différentes. L'inconvénient est qu'il n'existe aucune raison *a priori* de prévoir que les courants d'échanges internationaux et infranationaux ont des répercussions analogues sur l'environnement. McAusland et Millimet (2008) ont construit un modèle théorique selon lequel les effets favorables à l'environnement du commerce infranational devraient en réalité être moindres que ceux du commerce international. D'après eux, une augmentation de 10 % de l'intensité du commerce international de la province ou de l'État moyen sur le plan statistique réduit les rejets toxiques de 9 % environ, alors que les changements de l'intensité du commerce infranational, toutes autres choses étant égales par ailleurs, n'ont pas d'effet statistiquement significatif sur le volume total des rejets toxiques.

Bien que les données récentes sur le commerce et la pollution locale soient encourageantes, celles concernant les émissions de carbone et d'autres gaz à effet de serre le sont moins. À partir d'une analyse transversale de 63 pays et d'instruments mesurant l'intensité du commerce et les revenus, Magani (2004) a calculé l'effet d'échelle, l'effet technique et l'effet de composition du commerce et conclu que l'effet conjugué d'une hausse de 1 % du commerce se traduit par une augmentation de 0.58 % des émissions de CO_2 dans le pays moyen de son échantillon. Frankel (2009a) avance que les émissions de CO_2 pourraient commencer à diminuer avec les revenus à partir d'un certain point (qui reste encore à préciser), mais aussi que les échanges tendent à faire augmenter ces mêmes émissions. En utilisant la courbe environnementale de Kuznets, Neumayer (2004), Holtz-Eakin et Selden (1995) et Schmalensee *et al.* (1998) observent également qu'il existe une relation positive entre les revenus et les émissions de carbone.

L'une des explications les plus plausibles des évaluations systématiquement pessimistes des effets du commerce sur les émissions de gaz à effet de serre est leur caractère mondial. Non seulement le coût des émissions de CO_2 est partagé avec les citoyens des pays étrangers (qui n'ont pas de moyens politiques de s'exprimer en dehors de leur pays), mais aussi de nombreuses émissions de gaz à effet de serre sont liées à l'utilisation de combustibles fossiles, pour lesquels peu de sources d'énergie de remplacement économiquement viables ont été trouvées jusqu'à présent (toujours, sans doute, à cause du problème des comportements opportunistes au niveau international). L'effet de revenu et d'autres effets techniques qui sont largement responsables des réductions des polluants atmosphériques locaux ne semblent pas avoir autant de force lorsque les polluants en question affectent la population mondiale – et exigent des solutions mondiales – plutôt qu'uniquement des citoyens qui résident sur le territoire d'un État donné.

Aucun chercheur ne s'est de même intéressé à la façon dont l'augmentation des revenus induite par le commerce aura un effet sur la demande d'externalités liées aux transports et, en définitive, sur leur réglementation. Cela étant, il est difficile d'imaginer que des citoyens qui subissent les dommages liés aux transports comme les décès dus aux particules de diamètre inférieur à 10 microns le long des axes de transports n'exigeront pas de réglementation plus stricte à mesure qu'ils s'enrichiront. Cependant, comme on l'a noté plus haut, les émissions produites par les transports maritimes et aériens ont un caractère

mondial et/ou transfrontière et risquent donc de connaître le même sort que les émissions de CO_2 si aucune action n'est menée à l'échelle internationale. De plus, à la différence des rejets de sources ponctuelles (comme les centrales électriques et les usines), les émissions liées au transport international mettent souvent en cause des tiers. En effet, de nombreuses marchandises sont transportées par des navires qui ne sont pas tenus de respecter des règles opérationnelles, que ce soit dans le pays importateur ou dans le pays exportateur. Ce problème se pose en particulier pour le transport maritime. Alors que les flottes de libre immatriculation (les navires sous pavillon de complaisance) ne représentaient que 5 % du commerce maritime (en poids) en 1950, leur part était passée à 48.5 % en 2000 (Hummels, 2007). Par conséquent, même si les électeurs des pays à revenu élevé souhaitent que les marchandises transportées qu'ils consomment soient soumises à des normes environnementales sévères, les émissions liées au transport ne relèvent pas nécessairement de la compétence de leur pays.

Notes

1. Le chapitre 2 se fonde presque exclusivement sur le rapport « *Mondialisation : effets directs et indirects sur l'environnement* » que Carol McAusland, de l'Université du Maryland aux États-Unis, a présenté au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008 (*www.oecd.org/dataoecd/10/60/41380703.pdf*). Il ne tient que partiellement compte de la grave détérioration des perspectives économiques à court et moyen terme vécue après la rédaction du rapport.
2. Le Khian Sea était un navire battant pavillon libérien affrété pour transporter des cendres provenant d'un incinérateur de Philadelphie (États-Unis) et les décharger sur une île artificielle des Bahamas. L'administration locale ayant refusé l'autorisation de décharge, le navire a commencé un périple de 16 mois au cours duquel il a demandé des autorisations à la République dominicaine, au Honduras, au Panama, aux Bermudes, à la Guinée-Bissau, aux Antilles néerlandaises, au Sénégal, au Maroc, à la Yougoslavie, au Sri Lanka et à Singapour. Toutes ont été refusées. Une partie des cendres a été déchargée aux Bahamas sous la dénomination, trompeuse, de terre végétale et le reste a été déversé, comme il l'a été admis par la suite, dans l'Atlantique et l'océan Indien. (Sinha, 2004; Wikipedia)
3. Bien que Lawrence Summers ait assumé la responsabilité de cette note, celle-ci avait été initialement rédigée par Lant Pritchett, économiste à la Banque mondiale, qui a soutenu que la révision de cette note avant sa divulgation avait changé sa teneur. On trouvera un entretien avec Lant Pritchett dans le *Harvard Magazine*, mai-juin 2001.
4. Les taux de croissance varient considérablement selon les pays. D'après les Trade Indicators de la Banque mondiale (*http://info.worldbank.org/etools/tradeindicators/*), le commerce de biens et de services a, pendant les années 2005 et 2006, augmenté le plus en Mauritanie (42.3 %), en Iran (38.0 %), en Azerbaïdjan (29.3 %), au Vietnam (22.1 %) et en Chine (20.9 %) et le moins en Nouvelle-Zélande (–10.4 %), au Tchad (–4. 8 %), au Bénin (–0.2 %), au Sénégal (0.0 %), en Tunisie (0.2 %) et dans la République arabe syrienne (0.4 %). Les taux de croissance du commerce des États-Unis, du Canada et du Mexique étaient de 6.9 %, 2.8 % et 11.7 % respectivement.
5. Il s'agit de la moyenne pondérée des droits de douane sur les produits manufacturés. Dans les pays communiquant des informations, les droits de douane moyens appliqués aux produits manufacturés les plus faibles étaient 0.0 % (Singapour) et les plus élevés 76.7 % (Bangladesh). Citons également les droits de douane suivants : Canada (1.0 %), Chine (5.3 %), États-Unis (1.8 %), Japon (1.4 %), Mexique (3.1 %) et Union européenne (1.8 %) (Banque mondiale, 2007).
6. Comme la plupart des données économétriques sur les effets de la mondialisation sur l'environnement portent essentiellement sur la croissance du commerce international des marchandises (par opposition au commerce des services), cette analyse s'attachera elle aussi au commerce des marchandises.
7. La corrélation est moins forte pour les autres indicateurs d'utilisation des ressources. Cole et Elliot (2003) calculent une corrélation entre la demande biologique en oxygène et l'intensité de capital

de 0.12 seulement. Ils supposent que cette faiblesse s'explique par le fait que la principale source de la demande biologique en oxygène est l'agriculture.

8. L'élasticité par rapport au commerce des NO_X est statistiquement insignifiante.

9. Cette analyse ne porte pas sur les barrières non tarifaires au commerce telles que les quotas et les restrictions volontaires à l'exportation.

10. *http://dotstat.oecd.org/wbos/ViewHTML.aspx?Theme=OLADE&DatasetCode=OLADE*.

11. Cette formulation suppose que toute la production réaffectée vers le reste du monde ou en provenance du reste du monde est ensuite échangée.

12. Bien entendu, la production de denrées agricoles à l'étranger n'est pas toujours plus efficiente en terme d'émissions de carbone. Saunders *et al.* (2006) ont calculé que l'empreinte CO_2 d'une tonne d'oignons transportés de la Nouvelle-Zélande vers le Royaume-Uni s'élève à 184.6 kg et que les émissions comparables de la production britannique se limitent à 170 kg.

13. À titre de comparaison, les émissions de CO_2/Mtep dans d'autres grands pays s'élèvent à 2.36 (Allemagne), 1.57 (Brésil), 2.02 (Canada), 2.95 (Chine), 2.49 (États-Unis), 1.41 (France), 3.09 (Grèce), 3.07 (Israël), 2.21 (Mexique), 2.99 (Maroc), 2.27 (Royaume-Uni), 2.39 (Russie) et 3.02 (Serbie-et-Monténégro).

14. Un intervalle de confiance de 95 % pour l'élasticité des revenus par habitant par rapport à la part des échanges se chiffre à [0.03, 3.9104].

15. Ils se sont également appliqués à identifier les origines de cette hausse des revenus en quantifiant la contribution du capital, du facteur travail, de l'éducation et de la productivité à la production. Ils en concluent qu'une progression d'un point de pourcentage de la part des échanges augmente d'environ un demi pour cent la contribution du capital physique et de l'éducation et d'environ 2 % la contribution de la productivité à la production.

16. La hausse du revenu par habitant peut sous-estimer les avantages que les échanges procurent effectivement aux consommateurs. Une grande partie des échanges entre pays développés est *intra*-sectorielle (un pays importe des biens appartenant à la même catégorie de produits que ceux qu'il exporte) parce que les échanges portent souvent sur des variétés distinctes de produits par ailleurs similaires. Certains économistes estiment que les avantages découlant de la variété pourraient être aussi importants que les gains enregistrés au niveau des revenus nominaux. Broda et Weinstein (2006) estiment ainsi que le bien-être américain est majoré de 2.6 % par les avantages procurés par l'importation de nouvelles variétés. Klenow et Rodriguez-Clare (1997) avancent que la non prise en compte des avantages générés par l'élargissement des gammes de produits peut sous-estimer de 33 à 80 % les avantages nés de la libéralisation des échanges.

17. Kahn et Matsusaka (1997) observent par exemple que les électeurs riches tendent moins à voter « oui » aux référendums environnementaux organisés en Californie. McAusland (2003) souligne toutefois que le non des électeurs riches pourrait s'expliquer par une équivalence ricardienne étant donné que bon nombre des mesures envisagées sont financées par des emprunts obligataires.

18. À partir des calculs de Carol McAusland et à l'aide d'estimations ponctuelles indiquées dans Frankel et Rose (2005, tableau 1).

19. Frankel et Rose (2002, 2005) concluent que pour un *niveau de revenu donné*, en moyenne, le commerce a des retombées favorables sur l'environnement. De plus, puisque des données montrent que le commerce fait augmenter les revenus, il a également un effet indirect sur l'environnement, qui est bénéfique pour les hauts revenus, mais négatif pour les revenus faibles.

20. Kellenberg (2008) analyse, sur un échantillon composé de 128 pays, les interrelations entre l'intensité des échanges et les émissions de quatre polluants locaux (SO_2, NO_x, CO et COV). Il conclut que l'effet de l'intensité des échanges est négatif et significatif pour le pays moyen, mais aussi que cet effet n'est pas identique pour des pays dont les niveaux de revenus diffèrent: l'élasticité par rapport à l'intensité des échanges est généralement positive dans les pays dont le revenu mondial relatif est inférieur à 0.5 ou supérieur à 2.5 et négative dans ceux où ce revenu se situe entre 0.5 et 2.5.

21. Alors que Frankel et Rose (2002, 2005) s'étaient intéressés à l'impact sur les *concentrations* de polluants et aux particules de toutes les dimensions, Frankel (2009) traite de l'impact des échanges sur les *émissions* de polluants et se focalise sur les PM_{10}.

22. Frankel (2009b) déclare ne pas encore avoir établi si le tournant du CO_2 implicitement évoqué dans Frankel (2009a) s'opère à un niveau de revenus donné.

23. À partir de données de l'EPA, Jaffe *et al.* (1995) obtiennent un chiffre plus élevé de 2.6 % pour les États-Unis.

24. Becker et Henderson (2000) étudient les effets de la réglementation sur la qualité de l'air sur les créations d'usines dans des comtés des États-Unis entre 1963 et 1992. Ils estiment un modèle poissonien conditionnel et observent qu'au niveau des comtés, le non-respect des normes nationales de qualité de l'air ambiant réduit la création d'usines appartenant à 4 secteurs très polluants de 26 % à 45 % durant cette période. (Brunnermeier et Levinson, 2004).

25. List et Co (2000) utilisent des données obtenues par coupes transversales pour étudier l'effet des dépenses des États en matière de réglementation sur les entrées d'investissements directs étrangers. Ils concluent que les réglementations environnementales ont un effet négatif et statistiquement significatif sur les projets de création de nouvelles entreprises manufacturières sous contrôle étranger, mais que cet effet est plus net dans le cas des industries plus propres.

26. À l'aide de données de panel, Keller et Levinson (2002) étudient les entrées d'investissements directs étrangers aux États-Unis. D'après leurs calculs, un doublement de l'indice des dépenses de lutte contre la pollution pondéré en fonction des secteurs va de pair avec une baisse de moins de 10 % de l'investissement direct étranger. (Brunnermeier et Levinson, 2004).

27. Fredriksson, List et Millimet (2003) utilisent des indicateurs du produit brut des États (GSP) et la part des services juridiques dans le GSP pour créer un instrument de politique environnementale. Ils trouvent des données indiquant l'existence d'une relation en forme de U entre les contraintes réglementaires et les entrées d'IDE. D'après eux, en Californie, une augmentation d'un écart-type des contraintes réglementaires supprime plus de 2 500 emplois, soit 6 % des emplois des filiales étrangères dans le secteur des produits chimiques.

28. Bien que certains auteurs aient employé des variables instrumentales (IV) pour tenir compte de l'endogénéité de la politique de lutte contre la pollution (Xing et Kolstad, 2002, Ederington et Minier, 2003; Levinson et Taylor, 2008), aucun n'a étudié l'élasticité des émissions par rapport à l'investissement direct étranger.

29. La question est abordée plus avant dans le chapitre 8.

30. Ces estimations reposent sur des estimations des dommages obtenues auprès de Cambridge Systematics Incorporated, qui évalue le coût par tonne des émissions de composés organiques volatiles, de NO_X, de SO_X et de particules de diamètre inférieur à 10 microns dans les comtés ruraux des États-Unis à 385 USD, 213 USD, 263 USD et 3943 USD, respectivement, en dollars de 1994.

31. Corbett *et al.* (2007) estiment que les émissions de particules de diamètre inférieur à 10 microns produites par les navires sont aujourd'hui responsables de 60 000 morts par an.

Bibliographie

AIE (Agence internationale de l'énergie) (2007), *Key World Energy Statistics*, OCDE/AIE, Paris.

Aitken, B.J. et A.E. Harrison (1999), « Do Domestic Firms Benefit from Foreign Investment? Evidence from Venezuela », *American Economic Review*, 89(3), pp. 605-618.

Antle, J.M. et G. Heidebrink (1995), « Environment and Development: Theory and International Evidence », Economic Development and Cultural Change, 43, pp. 603-625.

Antweiler, Werner, Brian R. Copeland et M. Scott Taylor (2000), « Is Free Trade Good for the Environment? », *American Economic Review*, 91(4), pp. 877-908.

Banque mondiale (2007), *World Development Indicators*, Banque mondiale, Washington, DC.

Becker, Randy et Vernon Henderson (2000), « Effects of Air Quality Regulations on Polluting Industries », *Journal of Political Economy*, 108(2), pp. 379-421.

Berenberg Bank et HWWI (2006), *Strategy 2030 – Maritime Trade and Transport Logistics*. Berenberg Bank, Hambourg.

Bergstrom, T.C. et R.P. Goodman (1973), « Private Demands for Public Goods », *American Economic Review*, 63(3), pp. 280-296.

Bhaskar, V., Bishnupriya Gupta et Mushtaq Khan (2001), *Privatization, Yardstick Competition and Employment Dynamics: Evidence from Bangladesh*, document interne, Université d'Essex.

Bickel, Peter, Stephan Schmid et Rainer Friedrich (2005), « Environmental Costs », dans Christopher Nash et Bryan Matthews (dir. pub.), *Measuring the Marginal Social Cost of Transport Research in Transportation Economics* V. 14. Elsevier, Oxford.

Blackman, Allen et Xun Wu (1998), *Foreign Direct Investment in China's Power Sector: Trends, Benefits and Barriers*, Resources for the Future Discussion Paper 98-50, Resources for the Future, Washington DC.

Blomström, M. (1986), « Foreign investment and productive efficiency: the case of Mexico », *Journal of Industrial Economics* 35, pp. 97-112.

Blomström, M. et H. Persson (1983), « Foreign Investment and Spillover Efficiency in an Underdeveloped Economy: Evidence from the Mexican Manufacturing Industry », *World Development*, 11, pp. 493-501.

Boercherding, T.E. et R.T. Deacon (1972), « The Demand for the Services of Non-federal Governments », *American Economic Review*, 62, pp. 891-901.

Borensztein, E, J. De Gregoriob, J-W. Lee (1998), « How does Foreign Direct Investment Affect Economic Growth? », *Journal of International Economics*, 45 (1), pp. 115-135.

Broda, C. et D.E. Weinstein (2004), « Globalization and the Gains from Variety », *Quarterly Journal of Economics*, 121, pp. 541-585.

Brunnermeier, Smita B. et Arik Levinson (2004), « Examining the Evidence on Environmental Regulations and Industry Location », *Journal of Economic Development*, 13(1), pp. 6-41.

Carkovic, Maria et Ross Levine (2005), « Does Foreign Direct Investment Accelerate Economic Growth? », chapitre 8 dans Theodore H. Moran, Edward Montgomery Graham, Magnus Blomström (dir. pub.), *Does Foreign Direct Investment Promote Development?*, Peterson Institute, Washington DC.

Caves, R.E (1974), « Multinational Firms, Competition, and Productivity in Host-Country Markets », *Economica 38* (149), pp. 1-27.

Chintrakarn, P. et D.L. Millimet (2006), « The Environmental Consequences of Trade: Evidence from Subnational Trade Flows », *Journal of Environmental Economics and Management*, 52(1), pp. 430-453.

Cole, Matthew A. et Robert J.R. Elliott (2003), « Determining the trade-environment composition effect: the role of capital, labour and environmental regulations », *Journal of Environmental Economics and Management*, 46(3), pp. 363-383.

Cole, Matthew A. et Robert J. R. Elliott (2005), « FDI and the Capital Intensity of 'Dirty' Sectors: A Missing Piece of the Pollution Haven Puzzle », *Review of Development Economics*, 9(4), pp. 530-548.

Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED), Program on Transnational Corporations (1993), *Environmental Management in Transnational Corporations: Report on the Benchmark Environmental Survey*, Organisation des Nations Unies, New York.

Copeland, Brian R. et M. Scott Taylor (2003), *Trade and the Environment: Theory and Evidence*, Princeton University Press, Princeton NJ.

Copeland, Brian R. et M. Scott Taylor (2004), « Trade, Growth, and the Environment », *Journal of Economic Literature*, 42(1), pp. 7-71.

Corbett, James J. *et al.* (2007), « Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment », *Environmental Science and Technology*, 41(24), pp. 8512-8518.

Costello, C. et C. McAusland (2003), « Protectionism, Trade, and Measures of Damage from Exotic Species Introductions », *American Journal of Agricultural Economics*, 85(4), pp. 964-975.

Costello, Christopher, Mike Springborn, Carol McAusland et Andy Solow (2007), « Unintended biological invasions: Does risk vary by trading partner? », *Journal of Environmental Economics and Management*, 54(3), pp. 262-276.

Davis, Stacy C. et Susan W. Diegel (2007), *Transportation Energy Data Book*, 26th Edition, US Department of Energy, Washington DC.

Dean, Judith M. (2002), « Does Trade Liberalization Harm the Environment? A New Test », *Revue canadienne d'économique*, 35(4), pp. 819-842.

Djankov, S. et B. Hoekman (2000), « Foreign Investment and Productivity Growth in Czech Enterprises », *World Bank Economic Review* 14, pp. 49-64.

Drake, J.M. et D.M. Lodge (2004), « Hotspots for Biological Invasions Determined from Global Pathways for Non-indigenous Species in Ballast Water », Proceed. *Royal Society LondonSer.* B 271, pp. 575-580.

Ederington, Josh, Arik Levinson et Jenny Minier (2005), « Footloose and Pollution-Free », *Review of Economics and Statistics*, 87(1), pp. 92-99.

Eskeland, Gunnar S. et Ann E. Harrison (2003), « Moving to Greener Pastures? Multinationals and the Pollution Haven Hypothesis », *Journal of Development Economics*, 70(1), pp. 1-23.

Estache, Antonio, Marianela González et Lourdes Trujillo (2002), « Efficiency Gains from Port Reform and the Potential for Yardstick Competition: Lessons from Mexico », *World Development*, 30(4), pp. 545-560.

Fernandez, L. (2007), « Maritime Trade and Migratory Species Management to Protect Biodiversity », *Environmental and Resource Economics*, octobre.

Fernandez, Linda (2008), *Transportation Services, Air Quality and Trade*, Report for the Environment and Trade Program, Commission on Environmental Cooperation, Montreal.

Forkenbrock David J. (2001), « Comparison of External Costs of Rail and Truck Freight Transportation », *Transportation Research Part A*, 35(4), pp. 321-337.

Frankel, Jeffrey A. (2009a), *Environmental Effects of International Trade*, Rapport n° 31 soumis par des experts au Conseil suédois de la mondialisation, *http://ksghome.harvard.edu/~jfrankel/Swenvirinlaga31proofs.pdf*.

Frankel, Jeffrey A. (2009b), communication personnelle.

Frankel, Jeffrey A. et Andrew K. Rose (2002), *Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting Out the Causality*, NBER Working Paper n° 9210.

Frankel, Jeffrey A. et Andrew K. Rose (2005), « Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting Out the Causality », *Review of Economics and Statistics,* 87(1), pp. 85-91.

Frankel, Jeffrey A. et David Romer (1999), « Does Trade Cause Growth? », *American Economic Review*, 89(3), pp. 379-399.

Fredriksson, P.G. (1999), « The Political Economy of Trade Liberalization and Environmental Policy », *Southern Economic Journal*, 65(3), pp. 513-525.

Fredriksson, P.G. et D.L. Millimet (2002), « Strategic Interaction and the Determination of Environmental Policy across US States », *Journal of Urban Economics*, 51(1), pp. 101-122.

Fredriksson, P.G., J. List et D.L. Millimet (2003), « Bureaucratic Corruption, Environmental Policy and Inbound US FDI: Theory and Evidence », *Journal of Public Economics*, 87(7-8), pp. 1407-1430.

Globerman, S. (1979), « Foreign Direct Investment and 'Spillover' Efficiency Benefits in Canadian Manufacturing Industries », *Canadian Journal of Economics* 12, pp. 42-56.

Görg,H. et E. Strobl (2001), « Multinational Companies and Productivity Spillovers: a Meta-analysis », *Economic Journal* 111, F723-39.

Graham, D.J. et S. Glaister (2002), « The Demand for Automobile Fuel: A Survey of Elasticities », *Journal of Transport Economics and Policy*, 36(1), pp. 1-25.

Grossman, Gene M. et Alan B. Krueger (1995), « Economic Growth and the Environment », *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), pp. 353-377.

Gulati, Sumeet et Devesh Roy (2007), *Free Trade and the Greening of Domestic Industry*, Food and Resource Economics Working Paper, University of British Columbia.

Harbaugh, William T., Arik Levinson et David M.Wilson (2002), « Re-examining Empirical Evidence for an Environmental Kuznets Curve », *Review of Economics and Statistics*, 84(3), pp. 541-51.

Hilton, F. G. Hank et Arik Levinson (1998), « Factoring the Environmental Kuznets Curve: Evidence from Automotive Lead Emissions », *Journal of Environmental Economics and Management*, 35(2), pp. 126-141.

Holtz-Eakin, Douglas et Thomas M. Selden (1995), « Stoking the Fires? CO_2 Emissions and Economic Growth », *Journal of Public Economics*, 57(1), pp. 85-101.

Hummels, David (2007), « Transportation Costs and International Trade in the Second Era of Globalization? », *Journal of Economic Perspectives*, 21(3), pp. 131-154.

International Tanker Owners Pollution Federation Limited (ITOPF) (Pas date), site web : *www.itopf.com/information-services/data-and-statistics/statistics/*.

Jaffe, A., S. Peterson, P. Portney et R. Stavins (1995), « Environmental Regulations and the Competitiveness of US Manufacturing: What does the Evidence Tell us? », *Journal of Economic Literature*, 33(1), pp. 132-163.

Jenkins, P. (1996), « Free Trade and Exotic Species Introductions », *Conservation Biology* 10(1), pp. 300-302.

Kahn, M.E. et J.G. Matsusaka (1997), « Demand for Environmental Goods: Evidence from Voting Patterns on California Initiatives », *Journal of Law and Economics* 40, pp. 137-173.

Kellenberg, Derek K. (2008), « A reexamination of the role of income for the trade and environment debate », *Ecological Economics*, vol. 68, pp. 106-115.

Klenow, P.J. et A. Rodríguez-Clare (1997), *Quantifying Variety Gains from Trade Liberalization*, mimeo, University of Chicago.

Kriström, B. et P. Riera (1996), « Is the Income Elasticity of Environmental Improvements Less Than One? », *Environmental and Resource Economics* 7, pp. 45-55.

Keller, W., et A. Levinson (2002), « Environmental Regulations and FDI to US States », *Review of Economics and Statistics*, 84(4), pp. 691-703.

Levinson, Arik (1997), « Environmental Regulations and Industry Location: International and Domestic Evidence », dans Jagdish Bhagwati and Robert E. Hudec (dir. pub.), *Fair Trade and Harmonization: Prerequisites for Free Trade?, Vol. 1*. MIT Press, Cambridge, MA.

Levinson, Arik (2003), « Environmental Regulatory Competition: A Status Report and Some New Evidence », *National Tax Journal*, 56(1), pp. 91-106.

Levinson, Arik et M. Scott Taylor (2008), « Unmasking the Pollution Haven Effect », *International Economic Review*, 49(1), pp. 223-254.

List, J. A. et Co, C.Y (2000), « The Effects of Environmental Regulations on Foreign Direct Investment », *Journal of Environmental Economics and Management*, 40(1), pp. 1-20.

Magani, S. (2004), « Trade Liberalization and the Environment: Carbon Dioxide for 1960-1999 », *Economics Bulletin*, 17(1), pp. 1-5.

Markusen, James, Edward Morey et Nancy Olewiler (1995), « Competition in Regional Environmental Policies When Plant Locations are Endogenous », *Journal of Public Economics* 56(1), pp. 55-77.

Mattoo, Aadity A., Randeep Rathindran et Arvind Subrananian (2001), *Measuring Services Trade Liberalization and its Impact on Economic Growth: An Illustration*, World Bank Working Paper.

McAusland, Carol (2003), « Voting for Pollution Policy: The Importance of Income Inequality and Openness to Trade », *Journal of International Economics*, 61(2), pp. 425-451.

McAusland, Carol (2004), « Environmental Regulation as Export Promotion: Product Standards for Dirty Intermediate Goods », *Contributions to Economic Analysis and Policy*, 3(2).

McAusland, Carol (2008), « Trade, Politics, and the Environment: Tailpipe *vs*. Smokestack », *Journal of Environmental Economics and Management*, 55(1), pp. 52-71.

McFadden, D.L. et G.K. Leonard (1992), « Issues in the Contingent Valuation of Environmental Goods: Methodologies for Data Collection and Analysis », dans *Contingent Valuation: A Critical Assessment*, Cambridge Economics, Inc.

Neumayer, E. (2004), « National Carbon Dioxide Emissions: Geography Matters », *Area*, 36(1), pp. 33-40.

Oates, Wallace et Robert M. Schwab (1988), « Economic Competition Among Jurisdictions: Efficiency Enhancing or Distortion Inducing? », *Journal of Public Economics* 35(3), pp. 333-354.

OCDE (1999), *Données OCDE sur l'environnement: Compendium Edition 1999*, OCDE, Paris.

OMI (Organisation maritime internationale (2007), Sous-comité des liquides et gaz en vrac, 12e session, point 6 de l'ordre du jour, *Examen de l'Annexe VI de MARPOL et du Code technique sur les NO_x : Rapport sur les résultats des travaux du Groupe scientifique informel d'experts gouvernements/secteur industriel chargé d'évaluer les effets des différentes options concernant les combustibles proposées dans le cadre de la révision de l'Annexe VI de MARPOL*.

Pakko, Michael R. (2004), « Labor's Share », *National Economic Trends*, août 2004, Federal Reserve of Saint Louis.

Parry, Ian W.H. et Kenneth A. Small (2002), « Does Britain or the United States Have the Right Gasoline Tax? », mars 2002 (rév. septembre 2004) RFF Discussion Paper 02-12 rev, Resources for the Future, Washington DC.

Parry, Ian W.H. et Kenneth A. Small (2005), « Does Britain or the United States Have the Right Gasoline Tax? », *American Economic Review*, 95 (4), pp. 1276-1289.

Santos-Pinto, L. (2002), *The Relation Between Openness to International Trade and Carbon Dioxide Emissions*, UC San Diego Department of Economics Working Paper.

Saunders, Caroline, Andrew Barber et Greg Taylor (2006), *Food Miles: Comparative Energy/Emissions Performance of New Zealand's Agriculture Industry*, Lincoln University Research Report, n° 285.

Schmalensee, R., T.M. Stoker et R.A. Judson (1998), « World Carbon Dioxide Emissions: 1950-2050 », *Review of Economics and Statistics*, 80(1), pp. 15-27.

Shafik, Nemat (1994), « Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis », *Oxford Economic Papers*, 46, pp. 757-773.

Shen, J. (2007), « Trade Liberalization and Environmental Degradation in China », *Applied Economics*, pp. 1-8.

Sinha, P.C. (ed.) (2004), *Toxic and Hazardous Wastes*, Anmol Publications Pvt. Ltd., New Delhi.

Stern, Nicholas (2007), *Report on the Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

USBC (2001), *Statistical Abstract of the United States 2001*, US Bureau of the Census, US Government Printing Office, Washington, DC.

Welsch, Heinz (2002), *Corruption, Growth, and the Environment: A Cross-country Analysis*, German Institute for Economic Research Discussion Paper no 357, German Institute for Economic Research, Berlin.

Xing, Y. et C.D. Kolstad (2002), « Do Lax Environmental Regulations Attract Foreign Investment? », *Environmental and Resource Economics*, 21(1), pp. 1-22.

Chapitre 3

Impact de la mondialisation sur le niveau d'activité du transport maritime international

par
James J. Corbett, James Winebrake, Øyvind Endresen, Magnus Eide, Stig Dalsøren, Ivar S. Isaksen *et* Eirik Sørgård[1]

Le présent chapitre examine comment le secteur maritime a modifié ces dernières années ses technologies, ses registres nationaux et ses ressources en main-d'œuvre pour répondre aux défis de la mondialisation. Il décrit le rôle économique du transport maritime et présente le système de transport par mer sous la forme d'un réseau de navires spécialisés, de ports et d'infrastructures assurant la liaison entre les usines, les terminaux, les centres de distribution et les marchés.

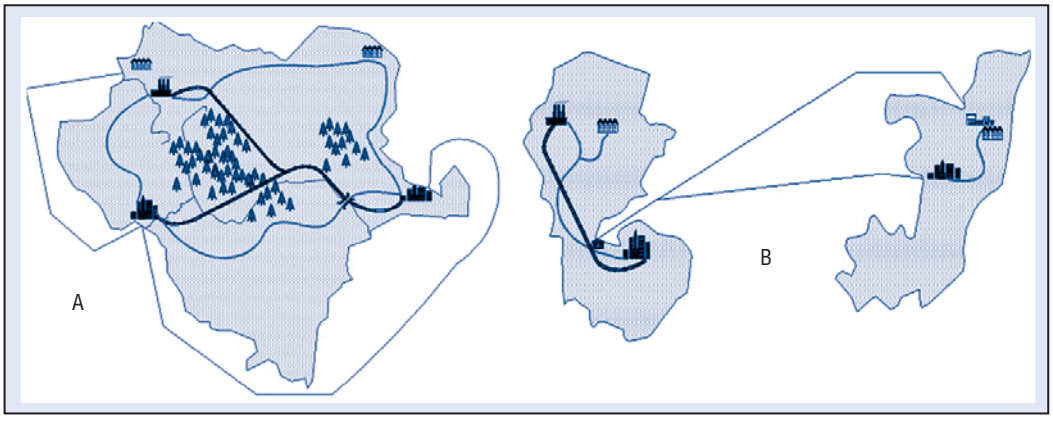
Il montre que le transport maritime est un complément nécessaire, et un substitut occasionnel, des autres modes de transport de marchandises. Pour de nombreuses marchandises et voies d'écoulement des échanges, le transport par eau n'a pas de substitut direct. Dans d'autres cas, ceux par exemple de certaines liaisons côtières ou maritimes à courte distance ou encore fluviales, le transport maritime peut se substituer à la route ou au rail là où les questions de coût et de temps ainsi que les capacités des infrastructures s'y prêtent. Le chapitre brosse un tableau des transformations du secteur induites par la mondialisation depuis le passage de la rame à la voile et de la voile au moteur à combustion. Les deux principaux facteurs de cette évolution vers des technologies énergétiques nouvelles sont l'aspiration à l'amélioration des performances et la volonté de réduction des coûts. Le chapitre analyse les transports maritimes d'aujourd'hui pour expliquer pourquoi les navires de haute mer ont un niveau d'activité qui leur fait consommer quelques 2 à 3 %, si ce n'est 4 %, de tous les combustibles fossiles du monde. Il s'essaie à prévoir de quoi demain sera fait en extrapolant les taux de croissance observés jusqu'ici et en s'appuyant sur des estimations tirées de certains scénarios.

3.1. Introduction

Le présent chapitre montre que le transport (en général) et le transport maritime (en particulier) ont été et sont toujours des moteurs clés de la mondialisation. Le secteur maritime a modifié ces dernières décennies ses technologies, ses registres nationaux et ses ressources en main-d'œuvre pour répondre aux défis de la mondialisation.

La circulation mondiale des marchandises est un élément clé d'un système mondial de transport de marchandises composé de liaisons transocéaniques et côtières, de voies navigables intérieures, de lignes de chemin de fer, de routes et de lignes aériennes. Le réseau de transport de marchandises relie des lieux entre eux par des voies empruntées par divers modes de transport substituables les uns aux autres (voir graphique 3.1A). Cette substituabilité est bien illustrée par le transport maritime à courte distance de conteneurs qui laisse au chargeur ou au fournisseur de services logistiques la faculté de choisir dans une certaine mesure le mode de transport utilisé pour acheminer des marchandises d'un lieu vers un autre. Le transport maritime international est toutefois plus communément complémentaire d'autres modes de transport (voir graphique 3.1B). Cette complémentarité est particulièrement évidente dans le cas des marchandises conteneurisées intercontinentales et des vracs secs et liquides tels que les céréales et le pétrole. Le transport maritime international établit dans ce cas une liaison transocéanique ou côtière entre des routes, des lignes de chemin de fer et des voies navigables.

Graphique 3.1. **Transport maritime transocéanique en tant que (A) substitut et (B) complément d'autres modes**



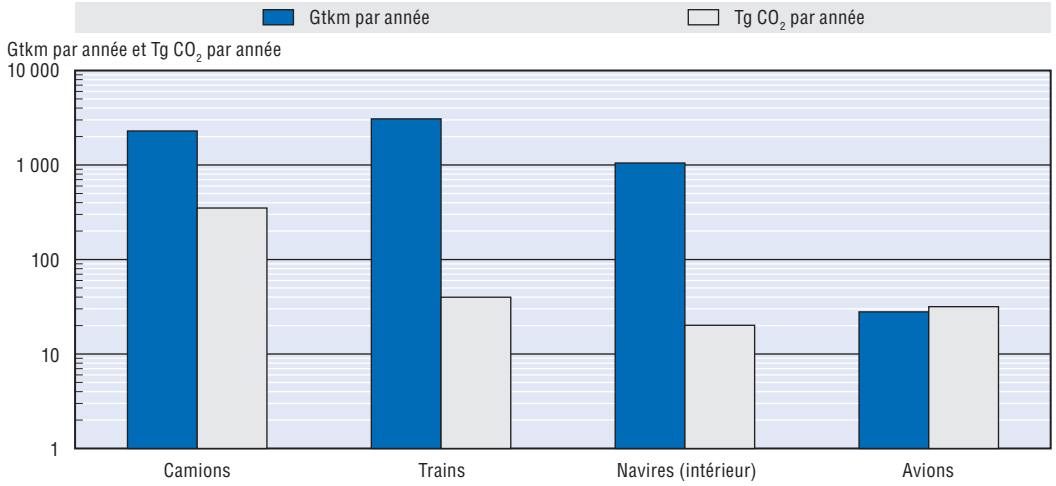
Source : Graphique publié dans l'étude « Study of Greenhouse Gases from Ships » de l'OMI (Skjølsvik *et al.*, 2000).

Le choix modal (dans le cas plus particulièrement du transport de conteneurs) oblige à opérer des arbitrages entre les facteurs temps, coût et fiabilité des livraisons pour faciliter les échanges entre multinationales et États. Les modes peu coûteux peuvent recueillir

moins de suffrages quand les marchandises sont très sensibles au temps, mais ces modes peu coûteux et plus lents transportent souvent plus de marchandises et peuvent, sous réserve de planification soigneuse, assurer la livraison ponctuelle de grandes quantités de marchandises requise par une gestion de stocks en flux tendus. Tous les modes doivent, comme dans une course de relais, participer à l'acheminement des conteneurs depuis la ligne de départ jusqu'à la ligne d'arrivée.

La répartition modale du transport de marchandises peut s'exprimer de plusieurs façons différentes, mais le plus couramment en tonnes/kilomètre (tkm). La route assure une part presque égale, en l'occurrence 40 à 45 % environ, du trafic total de marchandises dans l'Union européenne et aux États-Unis (Environmental Protection Agency, 2005a; Commission européenne *et al.*, 2006b). Il importe toutefois de souligner qu'en Europe, le transport par eau (c'est-à-dire le transport fluvial et le transport maritime à courte distance) se classe au second rang sur l'échelle des parts modales puisque sa part des tkm est passée d'environ 40 % à 44 % ces dernières années (Commission européenne *et al.*, 2006a et 2006b). Aux États-Unis, les tkm des chemins de fer l'emportent de peu sur celles de la route. Ces chiffres ne tiennent toutefois pas compte des quelque 40 000 giga-tkm (une Gtkm = 10^9tkm) auxquelles se chiffrent les transports effectués par mer entre toutes les nations commerçantes du monde sur des distance supérieures à celles qui font l'objet des statistiques nationales. Le graphique 3.2 schématise la répartition modale observée aux États-Unis en 2005.

Graphique 3.2. **Répartition modale de la demande et des émissions de carbone dans les transports américains de marchandises**



Note : Les unités s'inscrivent sur une échelle logarithmique.

Source : Bureau of Transportation Statistics (2007); Energy Information Administration (2007).

3.2. Rôle économique mondial du transport maritime

Le transport maritime fait partie intégrante, quoique parfois peu visible, de l'économie mondiale. Le système de transport maritime est un réseau de navires spécialisés, de ports et d'infrastructures assurant la liaison entre les usines, les terminaux, les centres de distribution et les marchés. Le transport maritime est un complément nécessaire, et un substitut occasionnel, des autres modes de transport de marchandises. Pour de

nombreuses marchandises et voies d'écoulement des échanges, le transport par eau n'a pas de substitut direct. L'avion s'est substitué au paquebot pour la plus grande part du transport transocéanique de passagers. Il transporte aussi beaucoup de marchandises de valeur qui ne représentent toutefois en volume qu'une fraction réduite du fret léger de haute valeur. L'avion est un mode important sur le plan de la valeur des échanges, mais ne prend à son compte qu'une part en volume beaucoup plus réduite du trafic mondial de marchandises pour laquelle il consomme beaucoup d'énergie par unité transportée. Dans d'autres cas, ceux par exemple de certaines liaisons côtières ou maritimes à courte distance ou encore fluviales, le transport maritime peut se substituer à la route ou au rail là où les questions de coût et de temps ainsi que les capacités des infrastructures s'y prêtent. Les autres champs d'activité importants du transport maritime sont le transport de passagers (transbordeurs et navires de croisière), la défense nationale (navires de guerre), la pêche, l'extraction des ressources et les services d'aide aux navires (remorqueurs, bateaux d'entretien des ports, etc.).

La mondialisation est née de la reconnaissance du fait que les ressources et les biens ne sont pas toujours proches des populations qui les désirent et qu'il est par conséquent besoin de services mondiaux de transport (économiquement justifiés si la demande des consommateurs est suffisante). Jusque pendant les années 50 par exemple, le pétrole brut était plutôt raffiné à la source et les produits raffinés étaient acheminés vers les marchés par une multitude de petits navires-citernes de 12 000 à 30 000 tonnes. Les possibilités de réalisation d'économies d'échelle ont toutefois rapidement fait comprendre aux compagnies pétrolières qu'elles avaient avantage à transporter des plus grandes quantités de brut depuis des lieux éloignés jusqu'à des raffineries plus proches des marchés sur lesquels les produits raffinés sont écoulés parce que ces produits pourraient alors être acheminés avec plus d'efficience jusqu'aux points de communication par plusieurs modes de transport différents. La prise de conscience de ces possibilités a débouché sur la mise en service de grands navires-citernes de plus de 200 000 tonnes et une diminution du coût unitaire du transport intercontinental d'énergie.

Il a de même semblé judicieux de préférer à la palettisation des céréales, des minerais et d'autres marchandises la construction de navires transporteurs de vracs secs destinés à transporter des matières premières et des produits semi-finis depuis leur lieu de provenance jusqu'à des installations de transformation (par exemple des minoteries et des boulangeries) plus proches des marchés finaux. Ces mesures ont, avec la conteneurisation et l'amélioration des techniques de manutention et des technologies embarquées, permis de réduire la taille des équipages et les besoins en main-d'œuvre au long cours ainsi que, partant, le coût unitaire du transport transocéanique de marchandises.

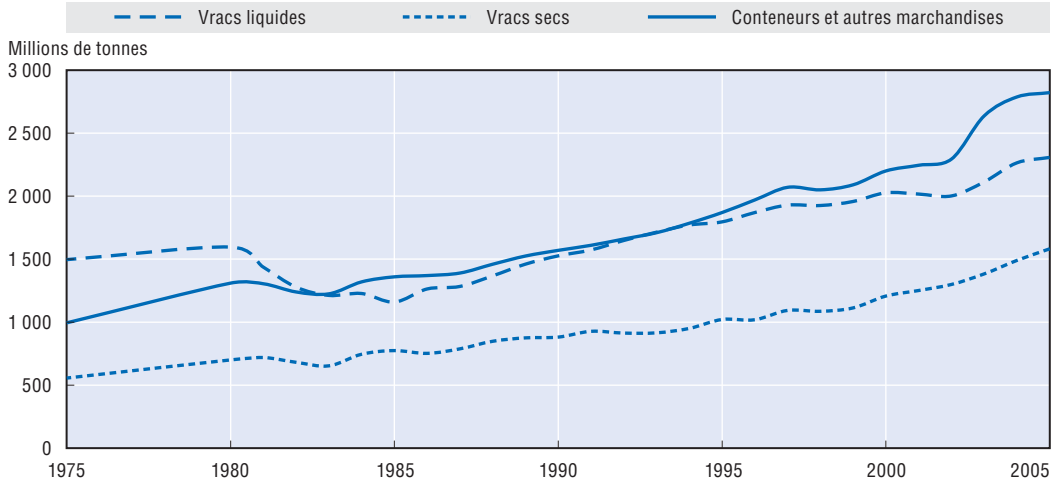
La mondialisation a, enfin, permis de découvrir par delà les mers des marchés du travail qui incitent au transport de produits semi-finis et intermédiaires vers des lieux où les coûts de production sont moins élevés. Le coût peu élevé des produits pétroliers utilisés pour la propulsion des navires et les économies d'échelle réalisées au niveau de ces navires ont permis à des chaînes multicontinentales d'approvisionnement de réduire le coût unitaire des produits semi-finis et des produits du commerce de détail. Il est aujourd'hui courant que des produits agricoles récoltés sur un continent soient transportés vers un autre pour y être transformés et acheminés vers un troisième où ils sont assemblés et commercialisés. Le coton cultivé en Amérique du nord peut ainsi être filé en Afrique et transformé en vêtements en Asie avant de revenir en Amérique pour y être vendu au détail. Le jus d'orange, le vin et d'autres produits ont également trouvé des marchés sur des

continents où soit les conditions climatiques ou saisonnières obligent à rechercher des sources d'approvisionnement à l'étranger, soit les coûts de main-d'œuvre de la production locale avec laquelle ils entrent en concurrence sont plus élevés.

La mondialisation se répercute aussi sur le rythme d'écoulement des échanges parce qu'elle pousse au transport de quantités moindres de biens et de services livrées au moment précis où elles sont nécessaires. Elle a ainsi « accéléré le fret » et motivé la construction de petits porte-conteneurs rapides pendant les années 70 et de grands porte-conteneurs rapides pendant les deux dernières décennies. Dans une économie mondialisée, la conteneurisation offre l'avantage de mobiliser tous les modes pour le transport des marchandises. La conteneurisation a normalisé, comme cela s'est fait pour le transport du pétrole brut ou des céréales non transformées, le volume de transport et réduit le coût unitaire du transport de la plupart des produits finis.

Les données relatives à l'impact de la mondialisation sur l'unitarisation du fret réunies dans le graphique 3.3 montrent que les porte-conteneurs assurent une part nettement croissante des transports de produits finis et semi-finis depuis des régions riches d'une main-d'œuvre qualifiée bon marché vers les marchés où ils sont consommés. Le fait qu'il se transporte aujourd'hui plus de conteneurs que de vracs témoigne de l'impact du commerce mondialisé de biens de consommation produits par une main-d'œuvre internationale (plutôt que de simples matières premières).

Graphique 3.3. **Impact de la mondialisation sur les charges unitaires**



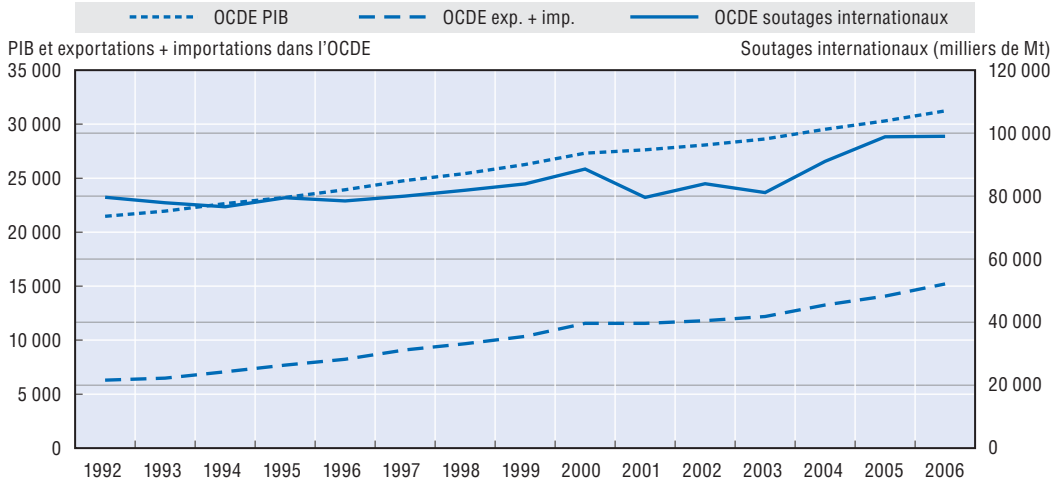
Source : Shipping Statistics Yearbook 2006, p. 103.

Le graphique 3.4 illustre les interrelations entre le transport maritime, la croissance économique et les échanges. Elle schématise l'évolution du produit intérieur brut (PIB exprimé en USD de 2000), des échanges (somme des exportations et des importations exprimée en USD de 2000) et des soutages des navires de haute mer (en milliers de tonnes) observée pendant 16 années dans des pays de l'OCDE. Le graphique 3.5 illustre le taux de croissance annuelle du rapport échanges/PIB enregistré dans ces pays de l'OCDE entre 1992 et 2006. Le graphique et l'équation de régression linéaire montrent que dans les pays de l'OCDE, une augmentation de 1 % du PIB s'est toujours accompagnée d'une augmentation

de ~4 % des échanges[2]. Les deux graphiques 3.6 donnent les valeurs correspondantes pour les États-Unis. Ils présentent des graphiques de dispersion du PIB et des mouvements de marchandises (exprimés en tonnes/mille et, pour les conteneurs, en équivalents vingt pieds ou EVP) de ce pays.

Graphique 3.4. **Évolution du PIB, des exportations et importations et des soutages internationaux dans les pays de l'OCDE de 1992 à 2006**

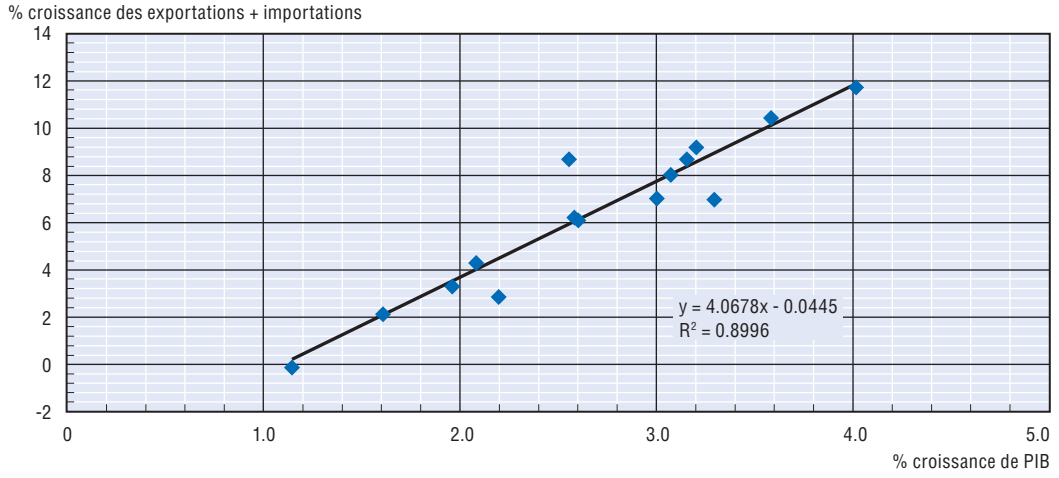
Milliards de USD de 2000



Source : Perspectives économiques de l'OCDE, n° 82.

Graphique 3.5. **Interrelations entre la croissance économique et l'augmentation des exportations et des exportations des pays de l'OCDE,**

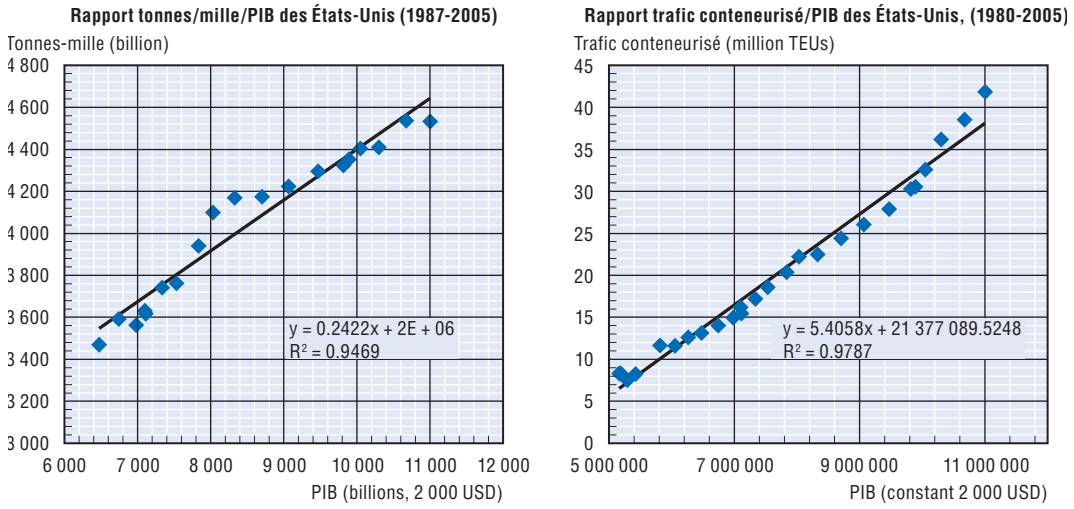
1992-2006



Source : Perspectives économiques de l'OCDE, n° 82.

Graphique 3.6. **Interrelations entre le trafic marchandises, le trafic conteneurisé et le PIB des États-Unis**

Tonnes/mille et millions EVP



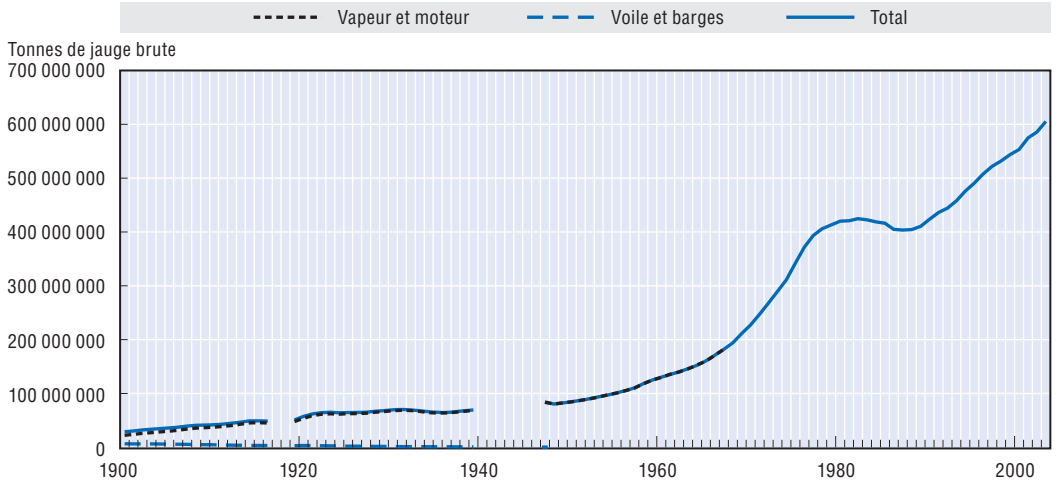
Note : Les tonnes-mille sont exprimées en tonnes de 907.18474 kg.

Source : Gauche : US Department of Transport, Bureau of Transportation Statistics, tabulation special; *www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/*. Droite : Bureau of Transportation Statistics (2007); et Bureau of Economic Analysis. National Income and Product Accounts Table 2007. Disponible à *www.bea.gov/bea/dn/nipaweb/index.asp*.

3.3. Mutations du transport maritime induites par la mondialisation

La première conversion énergétique moderne du transport maritime, abstraction faite de celle qui l'a fait passer de l'énergie humaine (rame) à l'énergie éolienne (voile), a été marquée par le passage de la voile au moteur à combustion. Les deux principaux moteurs de ces innovations technologiques sont l'aspiration à l'amélioration des performances et la volonté de réduction des coûts. Les graphiques 3.7 et 3.8 montrent, en s'appuyant sur des données tirées du Lloyds Register Merchant Shipping Return de plusieurs années, que cette conversion s'est achevée pendant la première moitié du XXe siècle, avec la construction de nouveaux navires plus grands intégrant des technologies de combustion comme moyen de réalisation d'économies d'échelle. Ces technologies ont permis de tracer des routes commerciales sous toutes les latitudes en échappant à la sujétion aux vents réguliers au plus grand bénéfice de l'industrialisation internationale et de l'expansion des superpuissances modernes. Les chiffres montrent que la pénétration de la nouvelle technologie a été plus rapide que la mise au rencard des petits navires technologiquement dépassés. Cette montée en puissance du tonnage « moderne » s'explique par le fait que la nouvelle technologie a été installée sur des nouveaux navires plus gros que les autres. Ces navires ont dans un premier temps été propulsés par des chaudières au charbon produisant de la vapeur qui a d'abord alimenté des machines à vapeur « alternatives », puis des turbines rapides entraînant une ou plusieurs hélices. L'introduction ultérieure d'un autre combustible, en l'occurrence le gazole, a permis au secteur de passer au stade des techniques de motorisation modernes. Bon nombre des mutations technologiques du transport maritime ont connu une même histoire : certains armateurs continuent à utiliser des vieux navires achetés d'occasion tandis les progressistes renouvellent leur flotte pour conquérir des nouveaux marchés ou réaliser des économies d'échelle.

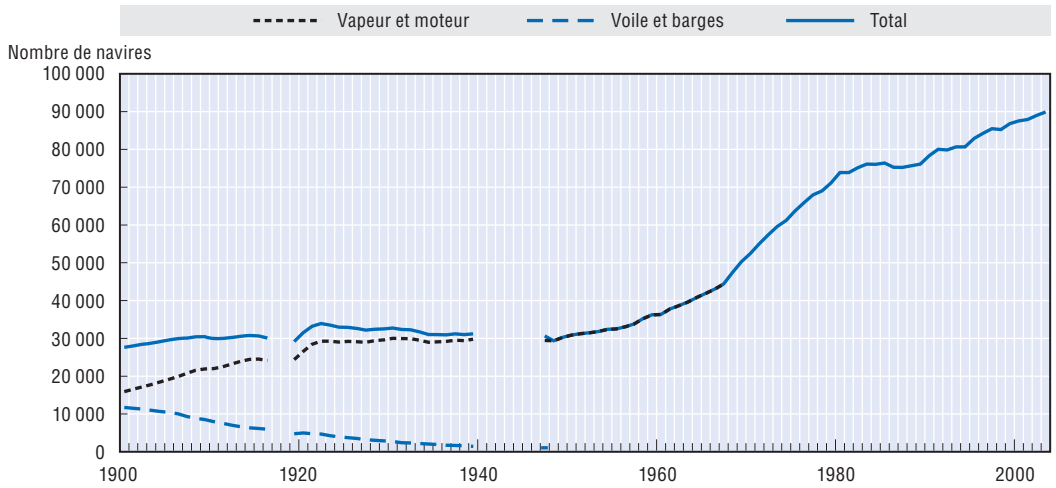
Graphique 3.7. **Répartition du tonnage de jauge brute par type de motorisation**



Source : Colton, T. (2004), « Growth of the World Fleet since WWII ». Accédé 25 mars 2004 à *www.coltoncompany.com*; comme dans Corbett, J.J. (2004), *Marine Transportation and Energy*.

Graphique 3.8. **Nombre de navires par type de motorisation**

1900-2000



Source : Colton, T. (2004), « Growth of the World Fleet since WWII ». Accédé 25 mars 2004 à *www.coltoncompany.com*; comme dans Corbett, J.J. (2004), *Marine Transportation and Energy*.

Le passage du charbon au gazole est né d'une volonté de réduction des coûts et d'amélioration des performances des navires. L'amiral britannique Fisher a ainsi déclaré à Winston Churchill en 1911 (la déclaration est reproduite à la page 155 du livre intitulé « *The Prize* » publié par Yergin en 1991) qu'un cargo à vapeur peut consommer 78 % de combustible de moins et gagner 30 % en volume de chargement en se faisant propulser par un moteur à combustion interne qui lui permettrait de se passer presque entièrement de chauffeurs et de mécaniciens. La marine marchande (suivie de près par la marine nationale) s'est convertie aux chaudières au gazole et aux moteurs au gazole à combustion interne et à allumage par compression afin de gagner de l'argent et d'améliorer ses performances.

La course à la réduction des coûts unitaires du transport maritime inhérente à la mondialisation est, plutôt que l'aspiration aux économies d'énergie ou même à la réduction des coûts de carburant, le motif premier de la conversion au combustible alternatif observée au début des années 1900. Les navires marchands équipés de moteurs au gazole se contentent d'un équipage moins nombreux et peuvent naviguer plus longtemps avant de se réapprovisionner en combustible. Ces facteurs n'intéressent pas que les seuls navires marchands et les navires de guerre les apprécient aussi, de même que la faculté de refaire le plein de carburant en mer plus rapidement et plus facilement. Les navires équipés de moteurs au gazole peuvent aussi accélérer plus vite et naviguer à plus grande vitesse que les navires qui brûlent du charbon. Cela étant, la quasi totalité de la flotte de haute mer s'est convertie du charbon au gazole en cinq décennies.

Les graphiques 3.7 et 3.8 illustrent également le cours de cette conversion. En 1948, les navires à vapeur représentaient 68 % du nombre total de navires et 79 % du tonnage de la flotte tandis que les navires à moteur en représentaient respectivement 29 et à peine 20 %, les 4 % des navires qui naviguaient encore à la voile ne totalisant que 1 % du tonnage enregistré. Les navires à moteur représentaient 52 % du nombre de navires et 39 % du tonnage enregistré en 1959, 69 % du nombre de navires et 49 % du tonnage enregistré en1963 et 85 % du nombre de navires et 64 % du tonnage enregistré en 1970, date à laquelle ils occupaient donc une position dominante dans la flotte sur ce double plan.

Après le changement de type de combustible, une seconde conversion importante à mené à l'utilisation de moteurs diesels marins que l'amélioration de l'efficience thermique de la transformation du potentiel énergétique du combustible en énergie mécanique rend plus économes en combustible. L'efficience des moteurs, qui oscillait entre 35 et 40 % en 1975, est supérieure à 50 % aujourd'hui (Corbett, 2004). Cette avancée technologique a, avec d'autres, permis au transport maritime de satisfaire les besoins d'une économie qui se mondialise.

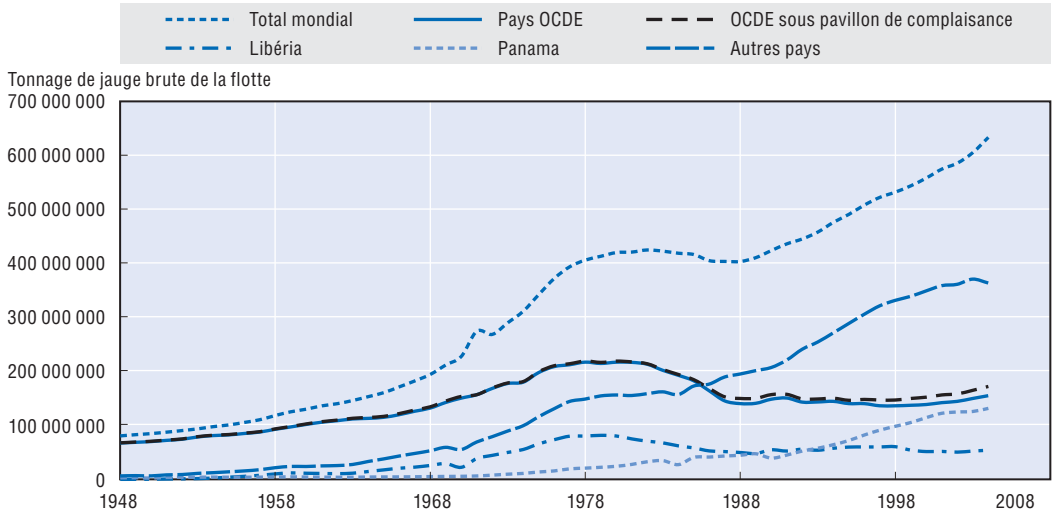
Le graphique 3.9 ventile l'augmentation du tonnage de jauge brute de la flotte mondiale observée depuis 1948 par pavillon. Elle montre que ce tonnage a augmenté rapidement et qu'une grande partie des navires ont troqué le pavillon d'un pays de l'OCDE pour celui d'autres pays.

Le transfert vers les pavillons de complaisance fait suite, et reste associé, à une internationalisation accrue de la main-d'œuvre marine, quoiqu'il convienne de souligner que les marins viennent depuis toujours d'horizons les plus divers. Les équipages sont donc devenus internationaux (avec des officiers originaires pour la plupart d'un groupe de pays et les matelots d'ailleurs). Les normes internationales très explicites de qualification, la formation des équipages et le contrôle des navires par les États du port se traduisent par le fait que la plupart des navires modernes sont servis par des équipages internationaux talentueux. Les marins qualifiés sont en règle générale recrutés sur la base de critères économiques plutôt que géographiques, sauf dans certains pays tels que les États-Unis où l'immatriculation sous pavillon américain est subordonnée au respect de règles de nationalité. Une étude récente du marché mondial du travail a réparti un échantillon de marins par nationalité et pavillon d'emploi (Obando-Rojas, 2001). Le graphique 3.10 montre que la plupart des marins travaillent sur des navires immatriculés dans des pays autres que ceux dont ils sont originaires.

Il reste important, à l'échelon international, de continuer à pouvoir compter sur des marins qualifiés et motivés de tous grades et de toutes nationalités. Le transport maritime mobilise une main-d'œuvre qui réside sur son lieu de travail, s'occupe, en équipes de 10 à 35 personnes, à faire fonctionner les plus grands véhicules jamais construits, travaille

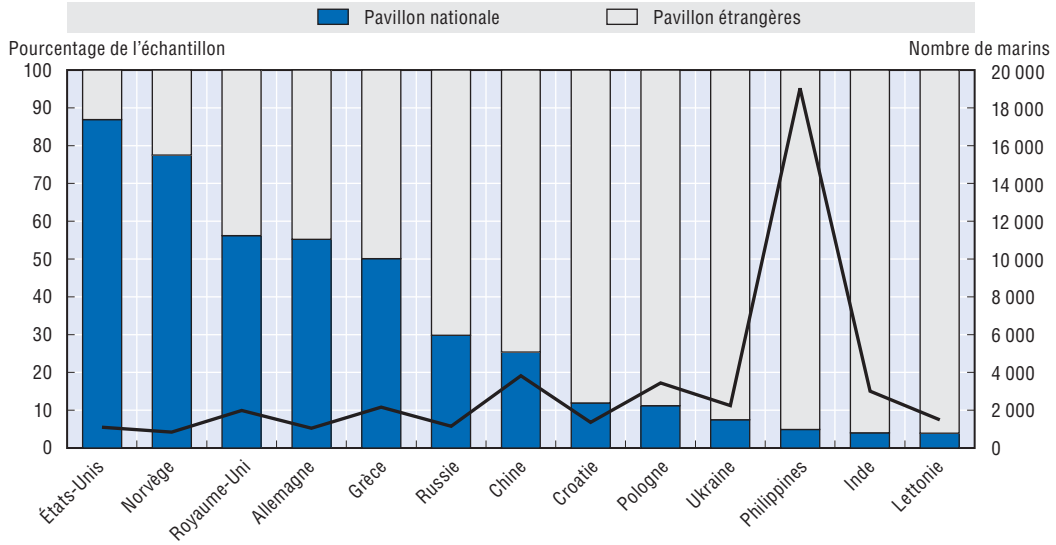
Graphique 3.9. **Ventilation du tonnage de jauge brute par pavillon**

1948-2006



Source : Lloyd's Register of Shipping Statistical Tables; Lloyd's Register of Shipping, Londres, 1947, 1948, 1958, 1963, 1967, 1970; Lloyd's Register Merchant Shipbuilding Return; Lloyd's Register of Shipping, Londres, plusieurs années 1970-1994, Lloyd's Register of Shipping, Extraits du « World merchant fleet database » pour les années 2001 à 2006, Lloyd's Register of Shipping, Londres.

Graphique 3.10. **Nationalité des navires et des membres de leurs équipages**



Source : Obando-Rojas, B. (2001), The Global Labour Market Study (GLMS). Proceedings of SIRC's Second Symposium, Seafarers International Research Centre, Data PG 91 Université de Cardiff.

24 heures par jour pendant la plus grande partie de l'année et doit sans discontinuer s'accommoder de mouvements, de bruits, de vibrations et de l'exécution de tâches hautement techniques qui, en se doublant de la longueur et de la variabilité des horaires de travail, génèrent une fatigue qui aggrave le risque d'erreur humaine cause éventuelle d'accidents et de catastrophes environnementaux. Quoique leur discussion approfondie sorte du cadre du présent chapitre, ces problèmes sont inhérents à la mondialisation et aux performances environnementales du transport maritime.

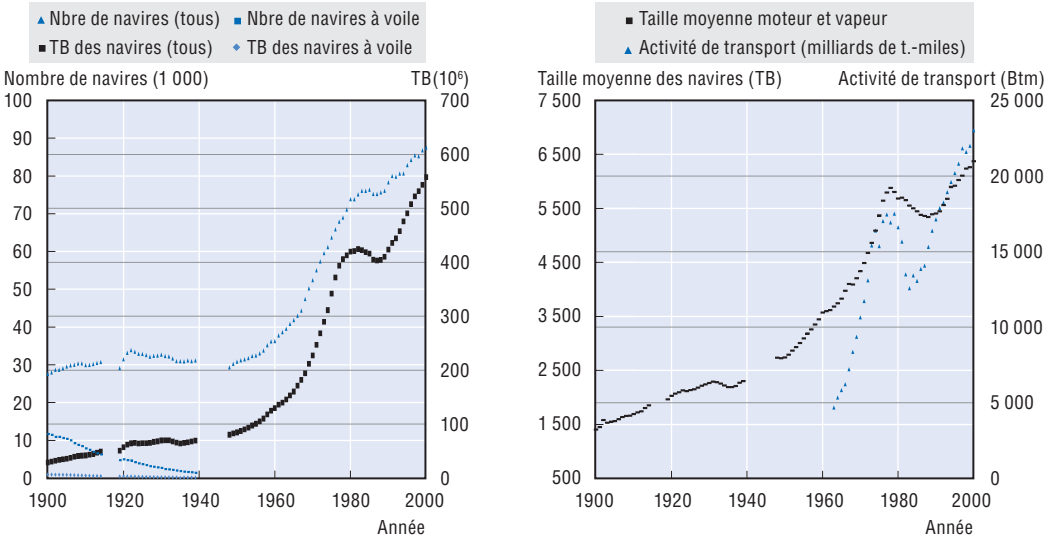
3.4. Niveau d'activité du transport maritime

Les scientifiques débattent toujours et encore du niveau passé et présent d'activité du transport maritime (Buhaug *et al.*, 2008; Corbett et Koehler, 2003; Dalsøren *et al.*, 2009; Endresen *et al.*, 2003; Endresen *et al.*, 2007; Eyring *et al.*, 2005). La présente section passe certaines de ces études en revue.

La consommation annuelle de combustible par la flotte est fortement tributaire de la demande de transports maritimes, des améliorations techniques et opérationnelles ainsi que de l'évolution de la composition de la flotte (Endresen *et al.*, 2007). Pendant le XXe siècle, la consommation totale de combustible et les émissions totales de la flotte civile océanique mondiale ont sensiblement augmenté, la flotte augmentant de 72 000 navires à moteur pour atteindre un total de 88 000 en l'an 2000. Ainsi, le tonnage brut est passé de 22 millions de tonnes brutes à 558 millions de tonnes brutes (graphique 3.11). Cette croissance a été tirée par la demande accrue de transport de passagers et de marchandises, avec 300 millions de tonnes de marchandises transportées en 1920 (Stopford, 1997) et 5 400 millions de tonnes en 2000 (Fearnleys, 2002). Jusqu'aux environs de 1960, la flotte mondiale transportait toujours des nombres importants de passagers et les paquebots étaient les plus importantes unités de la flotte. Ce n'est qu'à partir de 1958 que l'aviation a transporté davantage de passagers sur les liaisons transatlantiques que les grands paquebots (Hansen, 2004). Des navires plus efficients et spécialisés sont également apparus sur le marché. Les navires spécialisés présentent les caractéristiques opérationnelles et technologiques différentes, qui conduisent à une efficience logistique particulière, assortie de profils spécifiques en matière d'énergie et d'émissions. La flotte mondiale actuelle (2007) était principalement mue au diesel et comptait environ 96 000 navires de plus de 100 tonnes brutes (LRF, 2007), dont environ la moitié de cargos (y compris les cargos mixtes transportant des passagers). L'autre moitié était constituée de

Graphique 3.11. **Évolution de la flotte mondiale de haute mer et du trafic maritime**

Navires civil, 100 tjb et plus



Note : Gauche : évolution de la taille et du jaugeage (données du Lloyd's Register of Shipping). Droite : évolution de la taille moyenne (y compris les navires non marchands) et de l'activité de transport (milliards de tonne/milles) (Stopford, 1997 ; Fearnleys, 2002). On notera qu'aucune donnée n'est disponible pour les périodes de Guerre mondiale.

Source : Endresen *et al.* (2007).

navires employés à des activités non liées aux échanges, comme l'approvisionnement offshore, la pêche et les services généraux (par exemple, remorquage, travaux de levée).

La flotte civile océanique mondiale a progressivement abandonné la voile autour de 1870 pour être entièrement motorisée aux environs de 1940 (graphique 3.11) (Stopford, 1997; Lloyd's Register of Shipping, 1961 et 1984). Les navires à vapeur, brûlant du charbon, ont dominé jusque vers 1920. Le charbon a été par la suite progressivement remplacé par des fiouls marins, du fait de la généralisation des moteurs diesel et des chaudières à vapeur alimentées au fioul (tableau 3.1). Le passage aux moteurs diesel marins modernes s'est étalé sur plus de 100 ans. Plus de 10 000 navires équipés de moteurs à vapeur et 3 536 équipés d'une turbine à vapeur (soit 36 % en nombre) naviguaient encore en 1961 (Lloyd's Register of Shipping, 1961). Comme les diesels modernes consomment à peu près moitié moins de combustible que les anciens moteurs à vapeur inefficients, de même puissance, le passage au diesel est important à prendre en compte lorsque l'on élabore des estimations historiques de la consommation de combustible (Endresen *et al.*, 2007).

Tableau 3.1. **Force motrice de la flotte marchande mondiale**

En pour cent, 1914-1935

	Charbon	Chaudières au fioul	Moteurs à combustion interne (diesel)
1914	96.6	2.9	0.5
1922	74.1	23.4	2.5
1924	68.9	27.9	3.2
1927	63.9	29.3	6.8
1929	60.8	29.2	10.0
1935	51.0	31.2	17.8

Source : Fletcher (1997).

Le ferraillage des navires à vapeur peu performants a été motivé par des raisons économiques et politiques. Quand les prix du pétrole étaient bas, on prêtait peu d'attention au coût du combustible et de nombreux grands navires étaient équipés de turbines, car les avantages d'une puissance plus grande et de coûts de maintenance plus faibles semblaient largement compenser leur surcroît de consommation. L'augmentation de 950 % des prix du combustible (Stopford, 1997) observée entre 1970 et 1985 a suscité la construction de navires plus économes en combustible, par amélioration de la machine principale, de la coque et de l'hélice, et l'aménagement des pratiques opérationnelles. Ainsi, entre 1979 et 1983, l'efficience de la conversion énergétique des diesels marins lents a progressé de près de 30 % (Stopford, 1997). Dans ces conditions, les pétroliers équipés de turbines à vapeur inefficientes ont été parmi les premiers à être ferraillés dans les années 70, quand les prix du combustible ont augmenté (Stopford, 1997; Wijnolst et Wergeland, 1997). En 1984, seulement 1 743 navires à turbine demeuraient en service (Lloyd's Register of Shipping, 1984). Ces navires sont en général les unités les plus importantes de la flotte, dans la mesure où la propulsion par turbine a été généralement utilisée pour les puissances les plus élevées (SNAME, 1988).

La consommation annuelle de combustible est aussi fortement conditionnée par les conditions d'exploitation, notamment la situation du marché et le prix des soutes. Les crises économiques mondiales des années 30 et 70 se sont traduites par une mise à la chaîne d'un certain tonnage et une baisse de productivité entraînées par le fléchissement

de la demande de transport par mer. Ainsi, 21 % du tonnage de la flotte étaient inutilisés en 1932 et 13 % en 1983 (Stopford, 1997). De plus, la productivité des pétroliers est passée par un point culminant en 1972 [mesurée en tonne-mille par tonne de port en lourd (charge utile totale)]. En 1985, celle-ci avait pratiquement diminué de moitié et quelques années plus tard elle augmentait de 40 % (Stopford, 1997). Ces variations du niveau d'activité ont eu un impact significatif sur la consommation de combustible.

La vitesse opérationnelle influe sensiblement sur la puissance requise et la consommation de combustible et a également beaucoup varié au fil du temps. Selon la situation du marché et le prix des soutes, les navires opérant sur le marché spot peuvent être amenés à réduire leur vitesse opérationnelle. Lorsque les taux de fret sont bas, il est intéressant de naviguer à faible vitesse, car l'économie de combustible peut être supérieure au manque à gagner. Une forte hausse des prix des soutes modifiera pour les mêmes raisons la vitesse d'exploitation optimale. Ainsi, pour un taux de fret donné et un prix donné des soutes, il existe une vitesse optimale, que les armateurs rechercheront. Ainsi, les pétroliers géants naviguaient à 10 nœuds en général quand les taux de fret étaient bas en 1986, mais cette vitesse est passée à 12 nœuds quand les taux ont augmenté en 1989 (Stopford, 1997). Ces variations dans les vitesses opérationnelles ont une forte incidence sur la consommation de combustible. Ainsi, une réduction de la vitesse opérationnelle moyenne de 2-3 nœuds en dessous de la vitesse nominale d'un cargo peut réduire de moitié sa consommation quotidienne de combustible (Stopford, 1997 ; Wijnolst et Wergeland, 1997). Le perfectionnement technique des systèmes anti-souillure s'est également répercuté sur la consommation de carburant au cours des cent dernières années (Evans, 2000).

1870-1913

Entre 1870 et 1910, la flotte mondiale a doublé, passant de 16.7 millions de tonnes brutes à 34.6 millions de tonnes brutes. Sur cette période, la part du transport par navire à vapeur est passée de 15 % à 75 % du tonnage (Stopford, 1997), avec la disparition progressive des navires à voile. L'estimation de la consommation de combustible sur cette période repose sur des statistiques publiées par Fletcher (1997). Au début du siècle, plus de 50 % du charbon britannique (tableau 3.2) était utilisé comme combustible dans le transport

Tableau 3.2. **Estimations des ventes mondiales de charbon de soute et des émissions de CO_2**

	Exportées comme cargaison	Livrées comme combustible de soute[1]	Total des exportations	Estimations		Emissions CO_2 (Mt)
				Part du R-U dans les ventes de soutes[2]	Total des ventes de soute[3]	
1870	10.2	3.2	13.4	8.6	11.4	30
1880	17.9	4.9	22.8	14.6	19.5	50
1890	28.7	8.1	36.8	23.6	31.4	81
1900	44.1	11.8	55.9	35.8	47.7	123
1913	*73.4*	*21.0*	*94.4*	*60*	*80*[4]	*206*

1. Navires opérant en transport international.
2. On suppose que 64 % des exportations annuelles de charbon du Royaume-Uni étaient consommées par le transport maritime.
3. Dans l'hypothèse que le Royaume-Uni fournissait 75 % du charbon consommé comme combustible par l'ensemble des navires de la flotte mondiale.
4. Chiffre donné par Annin (1920), sur la base d'estimations présentées par le United States Shipping Board.

Source : Fletcher (1997). Estimations basées sur les quantités de charbon (Tm) enlevées dans les ports du Royaume-Uni.

maritime. Les statistiques ne tiennent pas compte du charbon livré aux stations étrangères à l'intérieur de la Grande-Bretagne. Les navires exportant le charbon britannique en ont brûlé eux-mêmes 21 millions de tonnes en 1913. Environ 270 000 tonnes de charbon étaient consommées par les navires de transport pour chaque million de tonne de charbon livrée à l'étranger (Fletcher, 1997). Ces chiffres ne concernent que les quantités totales de charbon britannique consommées par les navires se ravitaillant dans des ports britanniques et non le volume total de charbon britannique consommé par la flotte mondiale. Le Conseil du transport maritime des États-Unis a estimé les consommations annuelles de soutes maritimes avant la Première Guerre mondiale (supposée ici correspondre à l'année 1913). Sur les 80 millions de tonnes de soutes consommés annuellement pour le transport maritime, 60 millions étaient fournies par la Grande-Bretagne et 5 millions par les colonies britanniques (Annin, 1920). En d'autres termes, l'empire britannique fournissait 81 % et la Grande-Bretagne 75 % du charbon consommé sous forme de soutes maritimes par tous les navires du monde. Il en découle que 64 % des exportations de charbon britannique (94.4 millions de tonnes pour 1913) étaient destinés aux soutes maritimes (60 millions de tonnes). Le tableau 3.2 indique les estimations des ventes de charbon (et des émissions de CO_2) (SNAME, 1983; Endresen *et al.*, 2007). Les ventes aux navires ont été multipliées par 7 environ entre 1870 et 1913. Comme le tonnage des navires à vapeur a été multiplié par six entre 1870 et 1910 (voir plus haut), l'estimation semble raisonnable.

1925-2007

Les estimations du niveau d'activité et de la consommation actuels du secteur maritime varient considérablement (voir graphique 3.13). Certaines de ces estimations reposent sur les chiffres annoncés des ventes de combustible tandis que d'autres se fondent sur le calcul de la consommation vraisemblable des navires de différentes tailles et catégories.

Les navires de transport représentent près de 60 % des navires (hors navires de guerre) immatriculés partout dans le monde. Avec les navires de guerre, les cargos représentaient 40 % de la flotte mondiale et ont consommé 66 % du combustible utilisé par cette flotte en 2002 (voir tableau 3.3). La flotte immatriculée est propulsée par quelque 84 000 moteurs à quatre temps totalisant 109 000 MW de puissance installée et par quelque 27 000 moteurs à deux temps totalisant 164 000 MW de puissance installée. Les moteurs de type « inconnu » et les turbines fournissent ensemble 2.5 % de la puissance installée.

Les combustibles marins (soutes) diffèrent de la plupart de ceux qui sont utilisés par les autres modes de transport. Ils se classent en deux catégories, à savoir les combustibles résiduels et les autres combustibles. Les combustibles résiduels, aussi connus sous les noms de gazole lourd (GL) et gazole intermédiaire (GI), sont des mélanges de produits tirés des résidus les plus visqueux de la distillation, ou craquage, du pétrole qui subsistent après extraction des fractions hydrocarbures plus légères (et de plus grande valeur). Depuis la crise pétrolière de 1973, les raffineries utilisent des techniques de raffinage secondaire (appelées craquage thermique) qui permettent de maximiser les quantités de produits raffinés (distillés) tirées du pétrole brut. La concentration de contaminants tels que le soufre, les cendres, les asphaltènes et les métaux dans les combustibles résiduels a par conséquent augmenté.

Afin de réduire les coûts d'exploitation, les moteurs marins ont été conçus pour brûler les produits pétroliers les moins coûteux. Les combustibles résiduels ont donc la préférence là où les moteurs peuvent s'accommoder de leur moindre qualité, à moins que

Tableau 3.3. **Flotte mondiale de 2002, nombre et puissance des moteurs principaux**

Type de navire	Nombre de navires	Pourcentage de la flotte mondiale	Nombre de moteurs principaux	Pourcentage des moteurs principaux	Puissance installée (MW)	Pourcentage de la puissance totale	Pourcentage de la demande d'énergie[1]
Cargos	43 852						
Porte-conteneurs	2 662	2	2 755	2	43 764	10	13
Cargos de diverses	23 739	22	31 331	21	72 314	16	22
Navires-citernes	9 098	8	10 258	7	48 386	11	15
Vraquiers/mixtes	8 353	8	8 781	6	51 251	11	16
Navires autres que les cargos	44 808						
Navires à passagers	8 370	8	15 646	10	19 523	4	6
Bateaux de pêche	23 371	22	24 009	16	18 474	4	6
Remorqueurs	9 348	9	16 000	11	16 116	4	5
Autres (recherche, avitaillement)	3 719	3	7 500	5	10 265	2	3
Navires immatriculés (total)	88 660	82	116 280	77	280 093	62	86
Navires de guerre	19 646	18	34 633	23	172 478	38	14
Flotte mondiale (total)	**108 306**	**100**	**150 913**	**100**	**452 571**	**100**	**100**

1. Le pourcentage de la demande d'énergie n'est pas directement proportionnel à la puissance installée parce que les navires de guerre se maintiennent normalement et, sauf au combat, loin en deçà de leur puissance installée. Le taux moyen de déploiement des navires de guerre est égal à 50 % de leur temps de navigation (Navy, 1996). Plusieurs études avancent que les navires de guerre utilisent en mer 50 % de leur puissance installée pendant 90 % de leur temps (NAVSEA, 1994). La demande d'énergie a donc été ajustée dans ce tableau pour tenir compte de ces circonstances. Les données sur la base desquelles la puissance des navires de guerre a été calculée spécifient le nombre de leurs moteurs.

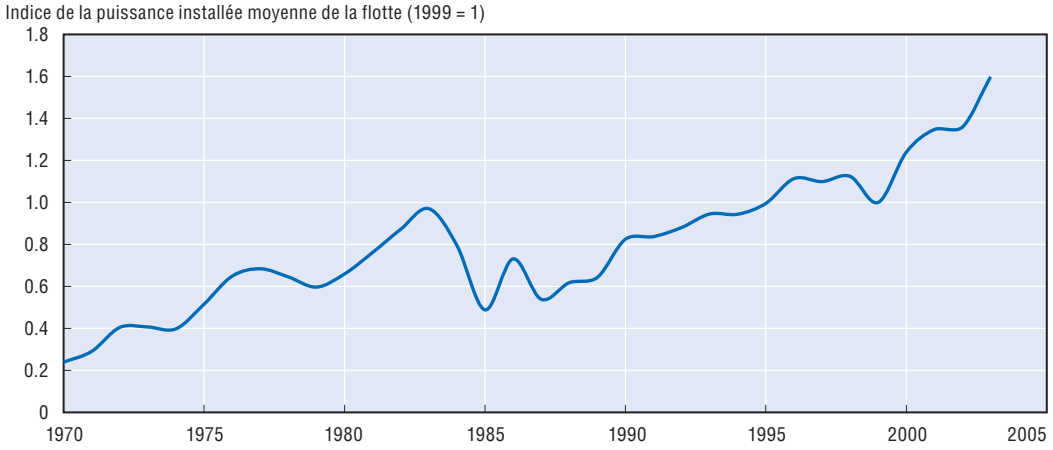
Sources : Corbett et Koehler (2003) et Corbett (2004).

d'autres raisons (notamment le respect de normes environnementales) plaident en faveur de l'utilisation de combustibles plus coûteux. Quelque 95 % des moteurs lents à deux temps brûlent du gazole lourd et 5 autres pour cent du gazole marin (Corbett et Koehler, 2003). Quelque 70 % des moteurs semi-rapides à quatre temps consomment du gazole lourd, les autres brûlant du gazole marin. Tous les moteurs rapides à quatre temps consomment du gazole marin. Tous les autres petits moteurs diesels rapides consomment du gazole marin tandis que les turbines à vapeur sont alimentées par des chaudières qui brûlent du gazole lourd ou par des turbines à gaz brûlant du gazole marin.

L'amélioration progressive de l'efficience des moteurs a été contrebalancée par une augmentation de leur puissance nécessaire à la satisfaction des besoins sans cesse plus impérieux générés par l'expansion et l'accélération des échanges mondiaux. Cette évolution est illustrée par le graphique 3.12 qui schématise l'augmentation de la puissance installée moyenne, indexée sur la situation de 1999, des navires que les registres d'immatriculation disent avoir été en activité en 2003.

Corbett et Kohler (2003) estiment, en se fondant sur les niveaux d'activité, que tous les moteurs principaux et auxiliaires des navires, y compris les navires de guerre, immatriculés dans le monde consomment environ 289 millions de tonnes de combustible par an, c'est-à-dire plus que le double du volume déclaré des ventes internationales de combustible. Ils fondent leurs estimations sur des données inscrites dans les registres d'immatriculation des navires dont il ressort que les moteurs principaux de ces navires se répartissent en cinq grandes catégories, à savoir 1) les moteurs lents à deux temps, 2) les moteurs semi-rapides à quatre temps, 3) les moteurs rapides à quatre temps, 4) les turbines et 5) les autres. Corbett et Kohler divisent chacune de ces catégories en plusieurs sous-catégories, ce qui les amène à distinguer plus de 130 types de moteurs au total, et

Graphique 3.12. **Puissance installée moyenne (kW) de la flotte mondiale**
1970-2003



Source : Lloyd's Register of Shipping (2006). Extracts from the World merchant fleet database for the years 2001 to 2006. Lloyd's register of Shipping, Londres.

rassemblent les moteurs auxiliaires dans un sous-groupe distinct. Ils posent par ailleurs en hypothèse que les navires utilisent normalement 80 % au maximum de la puissance nominale de leurs moteurs et appliquent les taux moyens de consommation correspondant aux différentes combinaisons de combustible brûlées par les moteurs.

Endresen *et al.* (2003) ont élaboré un modèle fondé sur une évaluation détaillée de l'activité, qui distingue sept types de navires et trois catégories de taille dans la flotte mondiale de cargos et de navires de passagers. Le modèle calculait la consommation et les émissions pour les années 1996 et 2000. L'estimation de la consommation de combustible a été basée sur le nombre d'heures en mer (fonction de la taille des navires), les relations statistiques entre la taille (en tpl ou tjb) et la puissance de la machine pour les types de navires (porte-conteneurs, vraquiers, cargos, etc.), la répartition des types de machines à l'intérieur des types de navires (machines lentes, semi-rapides et rapides), le combustible consommé par unité de puissance (kW) (en fonction du type de machine) et une charge moyenne supposée de la machine. Les calculs donnaient une consommation totale de combustible de 145 millions de tonnes et 158 millions de tonnes pour 1996 et 2000, respectivement. En prenant en compte la consommation de 45 000 navires non cargos, l'étude fait apparaître une consommation de combustible totale estimée pour l'ensemble de la flotte (océanique) jaugeant 100 tonnes brutes ou davantage de l'ordre de 200 millions de tonnes en 2000.

Eyring *et al.* (2005a) sont parmi les premiers à avoir estimé la consommation de combustible sur une période allant de 1950 à 2001. Ils proposent des inventaires simplifiés basés sur l'activité de 1950 jusqu'à 1995, en partant de statistiques sur le nombre de navires et la motorisation moyenne, tandis que leur estimation pour 2001 repose sur une modélisation détaillée de la flotte. Ils ont ainsi estimé à quelque 280 millions de tonnes la quantité de combustible consommée en 2001.

Endresen *et al.* (2007) proposent des estimations d'activité plus détaillées pour toutes les années de 1970 à 2000. Ils considèrent que les estimations de la consommation passée de combustible basées sur l'activité doivent tenir compte des variations de la demande de transport maritime et de l'évolution opérationnelle et technique intervenue au fil des ans,

afin de mieux représenter la véritable consommation de combustible. Ainsi, le modèle distingue entre les navires diesels et les navires à vapeur parce que les navires à vapeur consomment sensiblement plus de combustible. Leurs résultats donnent à penser que la croissance de la flotte n'est pas nécessairement suivie d'une augmentation de la consommation, car les caractéristiques techniques et opérationnelles ont changé au fil du temps. Un apport important au modèle d'Endresen *et al.* (2007) est l'évolution de la productivité de la flotte (mesurée en tonnes/mille). Ainsi, le niveau de pointe de 1979 n'a pas été retrouvé avant 1991 (graphique 3.11, à droite).

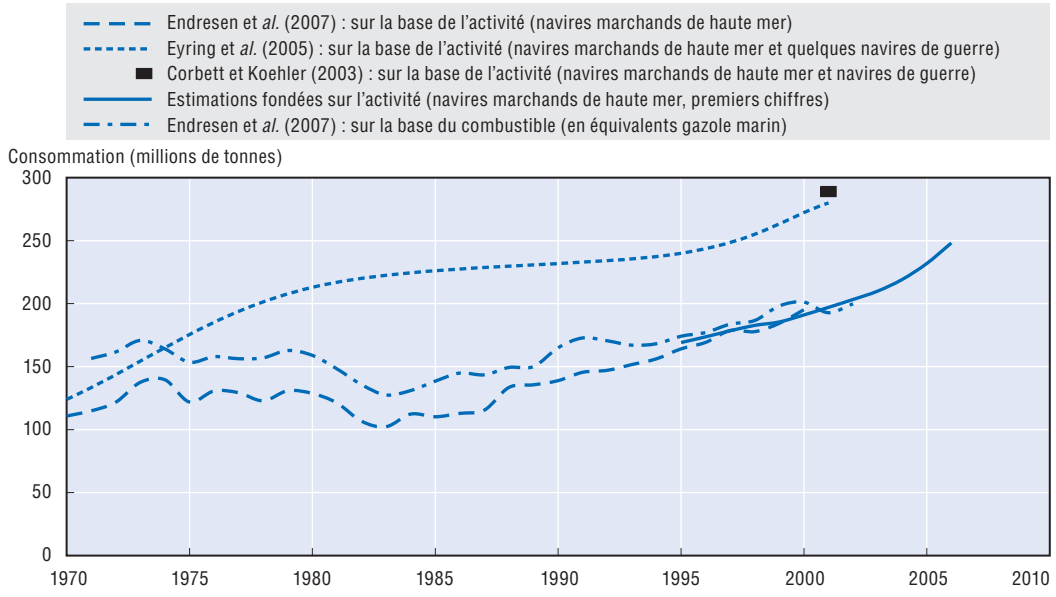
Endresen *et al.* (2007) présentent également des estimations détaillées fondées sur les ventes pour la période allant de 1925 jusqu'à 2000. Les résultats indiquent que les navires océaniques consommaient environ 80 millions de tonnes de charbon (correspondant à 56.5 millions de tonnes de fioul lourd) par an avant la Première Guerre mondiale. Ce chiffre a augmenté pour atteindre un niveau de vente d'environ 200 millions de tonnes de fioul marin en 2000 (en incluant la flotte de pêche), soit une multiplication par environ 3.5 de la consommation de combustible. Sur ce volume de vente, la part du transport international est d'environ 70 à 80 %.

Buhaug *et al.* (2008) ont publié un rapport d'un groupe d'experts chargés par l'OMI d'estimer les émissions de CO_2 produites par le transport maritime international en 2007. Leur estimation de la consommation de combustible est assez proche du chiffre de Corbett et Kohler (2003) s'il est fait abstraction des navires de guerre qu'ils avaient pris en compte dans leurs premiers calculs. Leur estimation pour 2007 va au-delà de celle d'Endresen *et al.* (2007) ainsi que des quantités indiquées par les statistiques des ventes de combustible, mais reste en deçà de ce que Eyring *et al.* avaient prévu (2005a).

Dalsøren *et al.* (2009) ont réalisé une étude dans laquelle ils répartissent la flotte mondiale en un nombre de catégories encore plus grand que dans les études antérieures puisqu'ils y divisent les navires en 15 types et 7 classes de taille. Ils y établissent, au départ de données relatives aux accostages et appareillages de plus de 30 000 navires marchands, le profil opérationnel de ces différentes catégories de navires et calculent, en se fondant sur les statistiques de 600 000 mouvements de navires enregistrés pendant les quatre mois de janvier, avril, juillet et octobre 2003, le temps moyen passé à quai et en mer par un navire de chacune des 7 classes de taille et chacun des 15 types. Les auteurs ont ainsi estimé que tous les navires marchands effectuant du transport international ont consommé 217 Mt de combustible, dont 11 Mt pendant leur séjour dans les ports, en 2004. Ils ont calculé aussi, en se fondant sur le taux de croissance du transport maritime enregistré entre 2004 et 2007, que 258 Mt de combustible ont été consommées en 2007. Ces chiffres correspondent à ceux des ventes internationales et sont nettement inférieurs aux estimations de la plupart des études évoquées ci-dessus.

Les incertitudes dans les estimations de la consommation de combustible fondées sur l'activité tiennent au fait que l'on ne dispose pas de données d'entrée fiables, telles que des statistiques détaillées sur le transport maritime, les machines et leurs performances ainsi que l'activité ou la composition détaillée de la flotte avant 1960. De même, le niveau de détail de la modélisation de la flotte est important. Endresen *et al.* (2007) ont estimé que la consommation de combustible sur la période 1980-2000 a été sensiblement plus faible que celle indiquée par d'autres études fondées sur l'activité (Corbett et Koehler, 2003; Eyring *et al.*, 2005a) (graphique 3.13). Cette nette divergence des estimations de la consommation fondées sur l'activité s'explique avant tout par l'inégalité des hypothèses relatives au

Graphique 3.13. **Comparaison de quelques estimations de la consommation des navires**

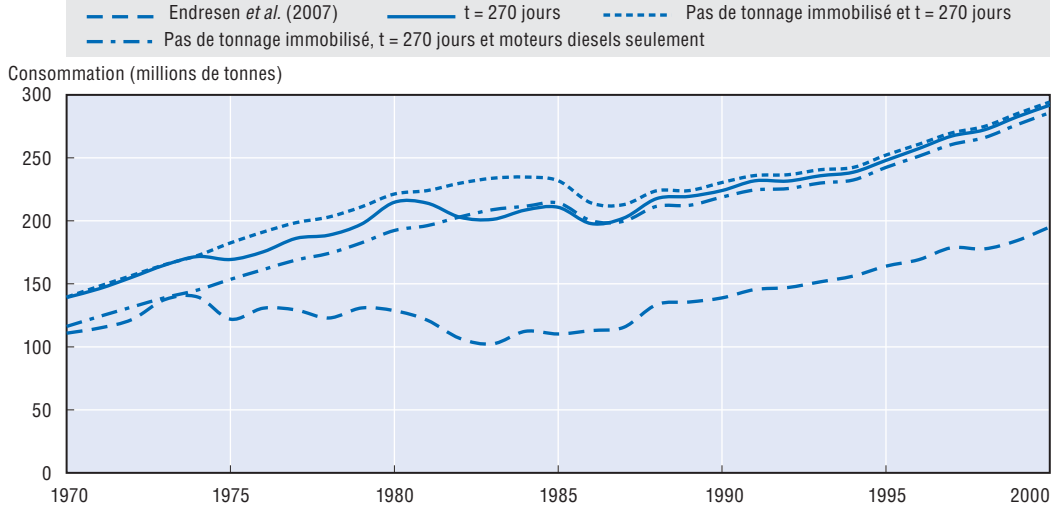


Source : Endresen *et al.* (2008).

nombre de jours passés en mer (graphique 3.14). Endresen *et al.* (2007) posent ainsi en hypothèse que les navires passent en moyenne 212 jours en mer. Ce chiffre est basé sur le suivi annuel de plus de 3 400 navires, pour la plupart de moyen et gros tonnage, dans la base de données AMVER. Pour les navires de plus faible tonnage, le nombre de jours en mer est moindre (en général, moins de 200 jours), comme l'indiquent les données AIS présentées dans le graphique 3.15.

Graphique 3.14. **Analyse de sensibilité de l'estimation des quantités de combustible consommées en transport maritime international**

1970-2000

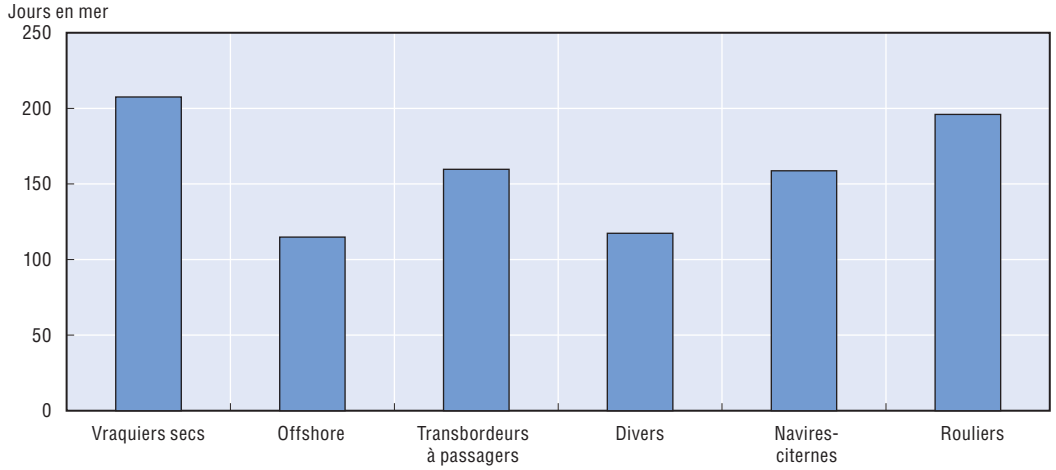


Note : Comparaison de données de référence différentes. Les estimations couvrent l'ensemble des navires marchands de haute mer d'au moins 100 tjb.

Source : Endresen *et al.* (2007).

Graphique 3.15. **Nombre estimatif de jours passés en mer pour les différentes catégories de navires**

Graphique fondé sur des données AIS relatives à plus de 500 navires de plus de 300 tjb repérés dans les eaux norvégiennes pendant les six premiers mois de 2007

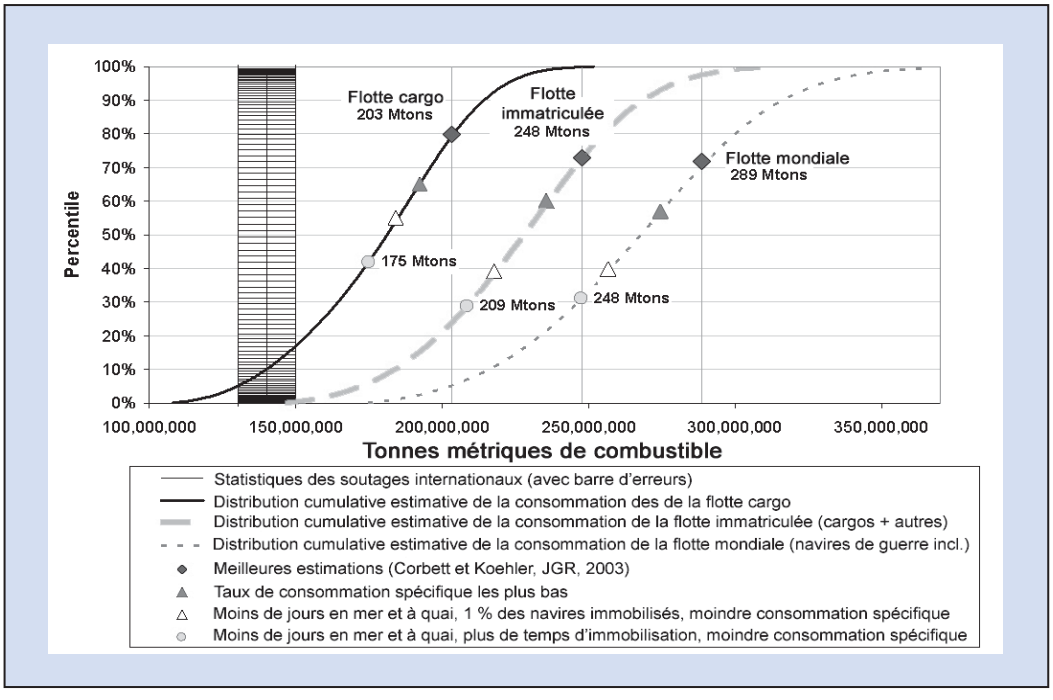


Note : Les navires Offshore ont une activité réduite, car les opérations de positionnement dynamique ne sont pas comptabilisées.

Source : Données provenant de l'Administration côtière norvégienne.

Le graphique 3.16, tirée de Corbett et Koehler (2003), montre également combien l'estimation des quantités de combustible consommées par le transport maritime international varie en fonction des hypothèses émises.

Graphique 3.16. **Estimations, fondées sur l'activité, de la consommation d'énergie et des ventes de combustibles marins**



Source : Corbett et Koehler (2003).

Endresen *et al.* (2007) avancent que pour l'avenir les jours effectifs passés en mer et la vitesse opérationnelle pourraient être estimés en utilisant les systèmes d'identification automatique (AIS) individuels des navires hauturiers. Ces données permettront aussi d'estimer indirectement la puissance utilisée par le navire (et par les segments de la flotte), en combinant pour chaque navire la vitesse d'exploitation enregistrée avec la puissance installée de la machine principale (disponible dans les bases de données de la flotte de la Lloyds). L'AIS est avant tout un système anticollision conçu pour donner automatiquement des informations sur la position et l'identité des navires aux autres navires et aux autorités côtières (United States Coast Guard, 2002). L'Organisation maritime internationale impose l'installation d'un AIS sur tous les navires en trafic international au-delà d'une certaine taille. Une première analyse basée sur les données AIS et les profils individuels de 500 navires de petit et moyen tonnage (plus de 300 tonnes brutes) naviguant dans les eaux norvégiennes ne confirment pas le niveau d'activité de 225 à 270 jours en mer pris comme hypothèse par les études récentes basées sur l'activité (graphique 3.14). Buhaug *et al.* (2008) ont fait une première tentative pour établir des profils opérationnels mondiaux au moyen de données AIS, mais les profils indiqués ne représentent les petits navires que de façon très approximative. Cette question devra être abordée dans de prochaines études, en même temps que la prise en compte des navires de plus gros tonnage. Lorsque l'identification et le suivi mondial des navires seront en place, avec la technologie LRIT (Long Range Identification and Tracking ou Identification et suivi des navires à grande distance), les possibilités de suivi efficace des émissions au niveau individuel des navires seront renforcées. La technologie LRIT est un système satellitaire qui devrait couvrir le trafic maritime mondial à partir de 2008 (OMI, 2006).

Les navires opèrent différemment selon leur type et leur taille, mais les cargos opèrent le plus souvent de façon similaire, en transportant des cargaisons de port en port (la longueur des voyages étant variable). Endresen *et al.* (2004a) ont évalué le nombre moyen de jours de mer pour cinq catégories de taille et six types de navires en se fondant sur le suivi annuel des cargos dans la base de données AMVER. Ils ont constaté que le nombre de jours de mer varie d'environ 50 jours suivant le type de cargos, pour une catégorie de taille donnée. De même, la différence entre un navire de faible et de fort tonnage peut être de 100 jours, pour un type de navire donné.

Dalsøren *et al.* (2009) ont calculé, en poussant l'analyse plus dans le détail, que le nombre de jours passés en mer oscille entre 136, pour les petits vraquiers, et 280, pour les gros transporteurs de gaz liquéfié. La plage de variation de ce nombre s'étale sur 120 jours pour les navires de même type selon leur catégorie de taille et sur 114 jours pour les cargos, ou 98 pour les navires autres qu'à marchandises, de même taille selon leur type. Il convient donc de tenir compte de la taille des navires et de leur type pour modéliser le niveau d'activité du transport maritime.

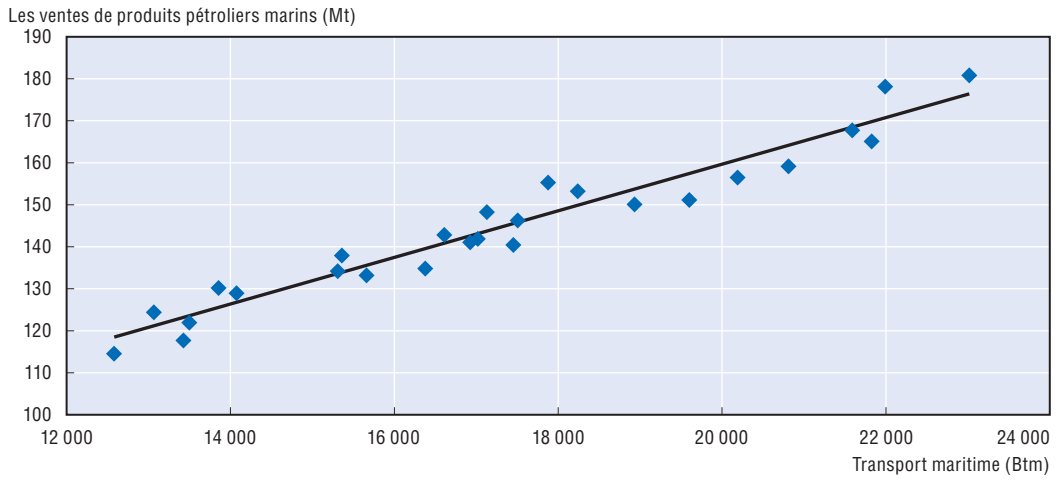
L'hypothèse retenue concernant le taux de charge de la machine pour les différents types et les différentes tailles est également une donnée d'entrée importante. Les cargos, qui totalisent quelque 80 % de la puissance installée des navires autres que de guerre (tableau 3.3 et Endresen *et al.*, 2007), ont en règle générale une utilisation plus élevée (charge) de la machine et naviguent un nombre de jours plus important que les navires non cargos (Endresen *et al.*, 2004a). La production d'énergie relative (kWh) sera donc supérieure à 80 % et pourrait même atteindre 90 %. En conséquence, pour réduire l'incertitude dans la modélisation de l'activité, il est important d'appliquer des catégories prédéfinies de taille et de type (présentant pour l'essentiel les mêmes caractéristiques pour les variables

d'entrée) qui précisent les principales caractéristiques. Faute de quoi les effets non linéaires devront être pris en compte quand on utilise des modèles simplifiés. Il est recommandé d'utiliser les données annuelles sur le mouvement et le suivi (par exemple, données AIS) disponibles pour les différents navires, de manière à accroître la fiabilité des résultats des modèles.

Plusieurs études affirment que les ventes répertoriées de soutages sont largement inférieures aux ventes effectives[3]. Or les études basées sur l'activité donnent une consommation de combustible qui ne prend pas en compte les navires hauturiers de moins de 100 tonnes brutes. La consommation de combustible de ces navires n'est pas traitée dans les publications alors qu'elle pourrait être importante. Ainsi, en 1998, on dénombrait à l'échelle mondiale environ 1.3 million de bateaux de pêche à moteur (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2006), dont quelque 23 000 seulement jaugeaient plus de 100 tonnes brutes en 2000 (Lloyd's Register of Shipping, 2000). Les bateaux de pêche de moins de 100 tonnes brutes totalisent près de la moitié de la puissance installée de l'ensemble de la flotte de pêche (Endresen *et al.*, 2007). Ainsi, la Norvège compte environ 3 000 cargos et navires de servitude jaugeant entre 25 et 100 tonnes brutes exploités en cabotage (Statistics Norway, 2000). Les données pour le reste de la flotte mondiale de moins de 100 tonnes brutes opérant principalement dans les eaux nationales ne sont pas disponibles, mais cette flotte (par exemple, flotte nationale pour les États-Unis et le Japon) pourrait représenter une part importante de la consommation mondiale de combustible. Un modèle détaillé, intégrant des données tirées de séries chronologiques très affinées, chiffre la consommation à un niveau assez proche du volume des ventes de combustible (Dalsøren *et al.*, 2009, et graphique 3.13). Endresen *et al.* (2007) constatent en outre l'existence d'une corrélation étroite (r = 0.97) entre les ventes à la flotte mondiale et le volume total du commerce mondial (graphique 3.17). Ces chiffres démontrent que si toutes les ventes de combustible n'ont pas été répertoriées pendant la période en cause, le ratio reste en revanche plus ou moins constant.

Graphique 3.17. **Corrélation entre les ventes de produits pétroliers marins enregistrées par les IEA et le volume des transports**

1975-2000



Source : Endresen *et al.* (2007). Les données relatives au volume des transports sont tirées de Stopford (1997) et Fearnleys (2002). Pour la période 1975-2000, la corrélation est de 0.97.

La qualité des estimations de la consommation mondiale de combustible continue à faire débat, mais les principaux éléments pris en compte dans les calculs fondés sur l'activité sont très largement acceptés. Eu égard à la dispersion des estimations actuellement établies sur la base de paramèttres liés à l'activité, il est permis d'affirmer que les navires de haute mer consomment 2 à 3 % (si ce n'est 4 %) de tous les combustibles fossiles du monde.

3.5. Évolution future du niveau d'activité et des émissions

L'estimation des niveaux d'activité et des émissions du transport maritime de demain peut se faire par deux méthodes différentes. La première consiste à extrapoler les tendances de croissance historique (notamment *via* le nombre de navires dans la flotte ou la puissance installée de la flotte). L'autre repose sur des estimations par scénario. Dans sa forme la plus simple, l'extrapolation de la croissance de la puissance totale installée de la flotte (LRF, 2007) sur la période 1996-2006 donne une croissance de 34 % entre 2006 et 2020. Toutefois, la croissance entre 1979 et 2006, ou entre 1986 et 2006, fait apparaître une progression de 4 % et 16 % entre 2006 et 2020, respectivement. En d'autres termes, l'utilisation de périodes de régression plus courtes conduit à des estimations plus fortes, du fait de la croissance plus élevée au cours de la période 1996-2006. À supposer que l'ensemble des facteurs soient maintenus constants, cette croissance de la puissance installée correspond à l'augmentation de l'utilisation de combustible.

Une autre démarche consiste à extrapoler la croissance du transport (tonnes/mille) (Fearnleys, 2006). L'activité de transport est corrélée de façon linéaire avec la puissance installée de la flotte pour les données rétrospectives (LRF, 2007) (coefficient de corrélation supérieur à 0.95). Si cette corrélation linéaire est supposée également valide pour l'avenir, les valeurs extrapolées pour le transport donnent des estimations de la puissance future de la flotte selon la même fonction linéaire. Si l'extrapolation se fonde sur la croissance du transport entre 1995 et 2005, la croissance de la puissance installée de la flotte jusqu'en 2020 est de 33 %. Toutefois, si l'extrapolation se fonde sur l'évolution observée entre 2002 et 2005, la croissance à l'horizon 2020 sera alors de 64 %. Là encore, l'utilisation de périodes de régression plus courtes produit des estimations plus élevées du fait de la croissance plus forte de l'activité de transport au cours des années qui ont précédé la très grave récession économique actuelle.

L'augmentation (de la puissance installée) évoquée ci-dessus ne se traduit évidemment pas directement en augmentation de la consommation de combustible. La plupart des études sur les scénarios futurs extrapolent toutefois au départ des tendances observées pendant une période récente donnée, en les ajustant pour tenir compte de leur évolution vraisemblable. Souvent, ces ajustements sont des réponses à des facteurs économiques et démographiques affectant le commerce mondial ou la consommation. Le modèle maritime TREMOVE (Ceuster *et al.* 2006; Zeebroeck *et al.*, 2006), est un modèle de ce genre. Il estime les tendances de la consommation de combustible et des émissions en se basant sur l'évolution prévue des distances parcourues par les navires (mouvements maritimes exprimés en kilomètres) et du nombre d'escales portuaires.

Une étude de l'OMI sur les émissions de gaz à effet de serre des navires (Skjølsvik *et al.*, 2000) prévoyait un taux de croissance annuelle du commerce maritime (tonnage) de 1.5 à 3 %. L'étude a consisté à appliquer ces taux de croissance aux échanges pour obtenir une progression des besoins énergétiques.

Eyring *et al.* (2005b) ont estimé le tonnage futur des échanges maritimes mondiaux correspondant à un scénario spécifique de trafic maritime pour une année future donnée, en se fondant sur la corrélation historique entre le trafic maritime total et le produit intérieur brut mondial (PIB) entre 1985 et 2001. À l'instar du taux de croissance annuelle du PIB retenu dans quatre scénarios du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (lequel varie entre 2.3 % et 3.6 %) (GIEC, 2000), le commerce maritime a progressé de 2.6 à 4.0 % par an. Selon cette étude, la consommation de combustible de la flotte mondiale pourrait passer de 280 Mt en 2001 à 409 Mt en 2020 et à 725 Mt en 2050. Il faut noter que les calculs effectués par Eyring *et al.* (2005b) commencent en 2002 et ne prennent pas en compte la forte croissance inattendue observée entre 2002 et 2007.

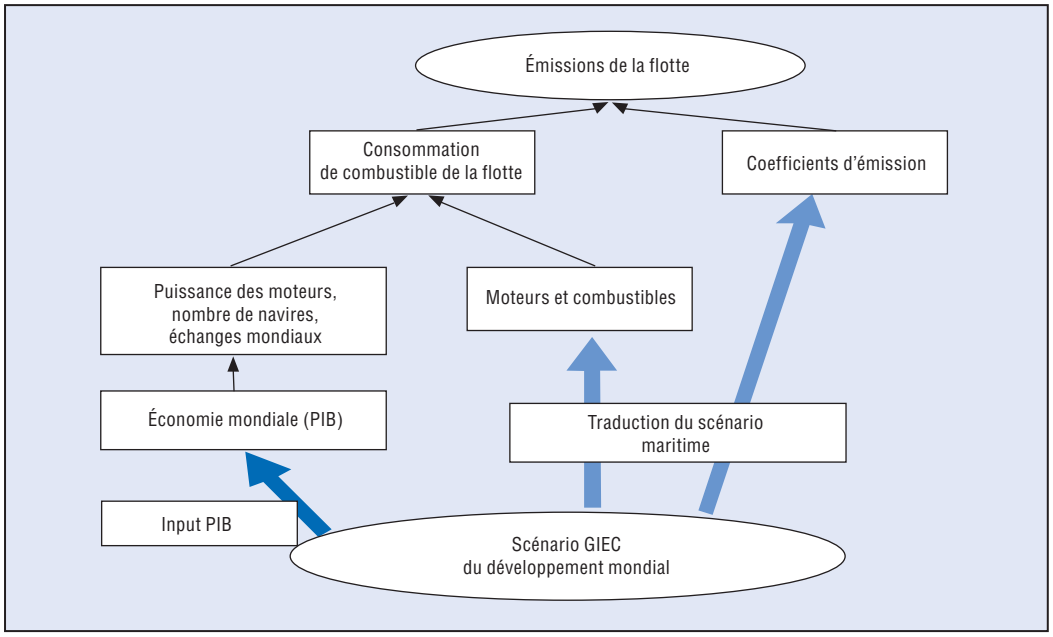
Buhaug *et al.* (2008) ont imaginé des scénarios pour 2020 et 2050, avec des projections encore plus fortes, et le groupe de travail de l'OMI donne une consommation estimée de combustible marin de 486 Mt en 2020 (OMI, 2007).

Dans le projet Quantify[4], l'évolution future de la consommation de combustible, des émissions et de la répartition géographique des émissions du transport maritime pour les années 2025, 2050 et 2100 a été modélisée sur la base de quatre scénarios du GIEC. Les synopsis du GIEC ont été convertis en des scénarios maritimes qui explorent les grands facteurs qui devraient conditionner l'évolution du transport maritime, notamment l'évolution du PIB, de la politique environnementale et du progrès technologique. Plusieurs modèles pour la consommation de combustible, les émissions totales et la répartition géographique des émissions des navires ont été construits pour chaque scénario, qui prennent en compte l'évolution future de la composition des échanges mondiaux. Les cargos et les autres navires sont modélisés séparément dans cette étude. Cela permet d'utiliser des données d'entrée différentes pour chaque scénario (par exemple, en fonction de la disponibilité de combustibles fossiles et de la puissance de la machine des navires). Deux de ces scénarios sont présentés ci-dessous.

Les principales données d'entrées provenant des descriptions des scénarios du GIEC sont des projections de la croissance de l'économie mondiale en termes de produit intérieur brut (PIB). Au moyen de données rétrospectives, le PIB mondial agrégé est corrélé avec la taille de la flotte mondiale, par l'intermédiaire des volumes des échanges maritimes mondiaux. De ce fait, les anticipations de développement économique déterminent l'évolution future de la flotte mondiale qui permet d'estimer, en prenant les données historiques sur la puissance installée moyenne des machines, ce que sera la puissance installée totale de la flotte future (graphique 3.18). La consommation future de combustible de la flotte est estimée par référence à l'activité, en tenant compte (entre autres facteurs) de la répartition future des types de motorisation et de combustible pour la puissance installée estimée[5].

Pour déterminer l'évolution future de la flotte (par exemple, en ce qui concerne la motorisation, les types de combustible et les taux plausibles de réduction des émissions), un certain nombre d'indications qualitatives concernant les évolutions technologiques et législatives présentées dans les scénarios du GIEC ont été examinées. Les hypothèses relatives à l'évolution future se fondent sur des informations tirées des scénarios du GIEC ainsi que sur des options et tendances actuelles, des réalités vécues et des indications fournies par les milieux de la profession (voir graphique 3.19). L'utilisation future des biocarburants est fortement tributaire de l'importance donnée à l'environnement et de

Graphique 3.18. **Modélisation de la consommation de combustible et des émissions du transport maritime de demain**

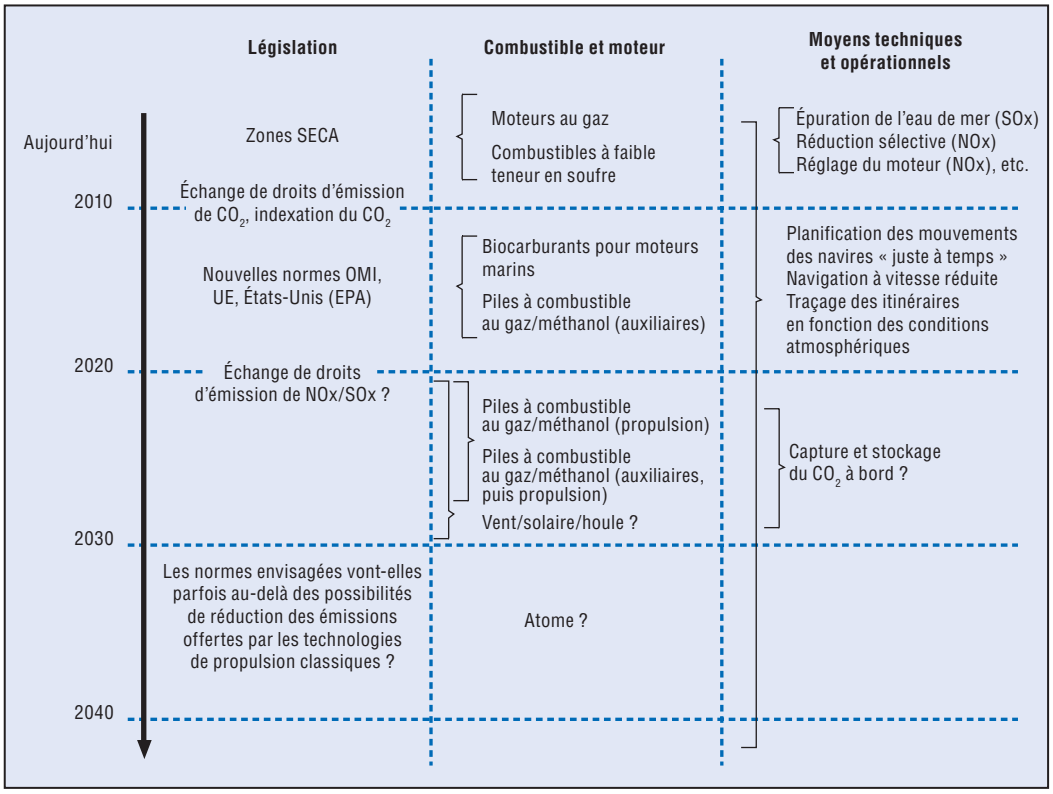


Note : Les estimations du PIB mondial tirées des scénarios du GIEC sont transformées par régression pour obtenir la puissance installée des machines de la flotte. Les interprétations des synopsis des scénarios donnent les distributions futures concernant les machines et les combustibles, de même que les coefficients futurs d'émission. La combinaison des coefficients d'émission et de la consommation de combustible permet d'obtenir les émissions de la flotte.

Source : Eide *et al.* (2008).

l'évolution technologique. L'utilisation du gaz dans les transports maritimes pourrait augmenter de façon sensible dans les années à venir, mais avec des variations considérables suivant le scénario considéré. Ainsi, des navires ravitailleurs (par exemple, le Viking Energy construit en 2003) et des ferries (par exemple, le Glutra construit en 2000) opérant dans les eaux norvégiennes fonctionnent au gaz depuis plusieurs années. Les piles à combustible fonctionnant au gaz devraient trouver une première application dans le segment des navires de faible tonnage (et comme source de motorisation auxiliaire), mais selon l'importance donnée à la technologie dans les scénarios, on peut s'attendre par la suite à une utilisation plus généralisée. L'énergie éolienne et l'énergie solaire ne suffiront pas à assurer à elles seules la propulsion des navires, mais elles pourraient apporter une contribution de quelques pour cent en complément des moteurs diesels pour certains navires. Diverses configurations de voile (voilure rigide et voilure souple) sont testées sur des navires marchands depuis des années. Des expériences réalisées entre 1979 et 1985 ont pu démontrer que la voile est un système de propulsion d'appoint intéressant, quand la direction du vent est favorable (voir par exemple, tests sur le M/V Ususki Pioner) (Det Norske Veritas, 1984). Des essais d'utilisation de cerf-volant sur des navires marchands ont été également signalés (par exemple, MV Beluga SkySails[6]). Ces utilisations pourraient se développer au-delà de 2025 compte tenu de l'importance donnée à la technologie (et à l'environnement). La propulsion nucléaire est utilisée sur des navires militaires depuis des décennies (également sur des brise-glaces), mais sur quatre navires seulement, à savoir le Savannah (États-Unis), le Otto Hahn (Allemagne), le

Graphique 3.19. **Évolution possible de la consommation et des émissions des navires**



Note : Ce graphique donne un aperçu indicatif des éventuelles possibilités futures en matière d'initiatives législatives, de combustibles et types de motorisation disponibles pour le transport maritime et des mesures techniques et opérationnelles disponibles pour la réduction des émissions.

Source : Eide *et al.* (2008).

Mutsu (Japon) et l'Enrico Fermi (Italie). Compte tenu du besoin d'une infrastructure particulière et des craintes du public, cette forme d'énergie ne joue qu'un rôle mineur dans l'ensemble des scénarios.

Il est difficile d'évaluer l'impact potentiel de ces technologies, mais les diesels marins continueront de dominer dans un avenir prévisible. Dans les scénarios présentés ici, les technologies et solutions existantes et émergentes sont supposées être introduites progressivement.

Le projet Quantify a calculé, en se fondant sur les hypothèses formulées dans les scénarios A1 et A2 du GIEC (Eide *et al.*, 2008), que le transport maritime consommera de 453 à 810 Mt en 2050. Le scénario A1 donne l'estimation la plus élevée et le scénario A2 l'estimation la plus basse.

3.6. Conclusions

Les progrès de la mondialisation conduisent à une forte augmentation du transport maritime international. Les échanges et le transport maritime sont étroitement liés, mais le degré d'interdépendance entre les quantités d'énergie consommées par ce transport et le volume des échanges acheminés par mer continue à faire débat. Les résultats du calcul varient en fonction notamment du nombre de jours passés en mer et à quai qu'il pose en hypothèse. Les données disponibles montrent clairement que la demande d'énergie de la

flotte mondiale s'obtient en additionnant les ventes internationales et nationales de combustible. L'estimation de la consommation mondiale de combustible fait toujours l'objet de quelques controverses, mais les principaux éléments des inventaires fondés sur l'activité sont acceptés par le plus grand nombre. Eu égard à la dispersion des estimations actuelles calculées au départ de paramètres fondés sur l'activité, les navires de haute mer ont un niveau d'activité qui leur fait consommer quelque 2 à 3 %, si ce n'est 4 %, de tous les combustibles fossiles du monde.

Les niveaux d'activité de demain sont évidemment difficiles à pronostiquer (en raison notamment de la crise économique actuelle), mais il est concevable que la consommation de combustible du secteur augmente d'environ un tiers entre 2006 et 2020.

Notes

1. Le présent chapitre se fonde pour l'essentiel sur le rapport « Impact de la mondialisation sur le transport maritime international : Tendances passées et perspectives d'avenir » présenté par J. Corbett et James Winebrake de Energy and Environmental Research Associates, États-Unis, au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008 (*www.oecd.org/dataoecd/10/61/4138020pdf*) ainsi que sur le rapport « Impact de la mondialisation sur le niveau d'activité du transport maritime international » présenté par Oyvind Endresen et Magnus Eide de Det Norske Veritas, Hovik, Stig Dalsoren et Ivar S. Isaksen de l'Université d'Oslo et Eirik Dorgard, de Bodo, Norvège, au même Forum (*www.oecd.org/dataoecd/52/30/413767.pdf*).
2. Une relation assez similaire pourrait également se vérifier dans le contexte de la récession économique actuelle. L'OCDE (2009) estime que le PIB mondial diminuera de 2.75 % en 2009 et que les échanges mondiaux diminueront de 13.2 %.
3. Corbett et Winebrake (2008) approfondissent l'analyse.
4. *www.pa.op.dlr.de/quantify/*
5. Les futures émissions produites par le transport maritime sont alors estimées sur la base de la consommation de combustible estimée et des facteurs technologiques dynamiques pris comme hypothèses.
6. *http://skysails.info/index.php?id=6&L=1*.

Bibliographie

Agence internationale de l'énergie (AIE) (1977-1997), *Statistiques trimestrielles électricité, charbon, gaz et pétrole*, AIE/OCDE, Paris.

AIE (1987), *Statistiques énergétiques 1970-1985* and *Main Series* from 1960, 513 pp., AIE/OCDE, Paris, France.

AIE (2007), *Données sur le pétrole, Edition 2007*, p. 746, OCDE/AIE, Paris, France.

AIE (2007b), *Statistiques de l'énergie des pays non membres de l'OCDE, 2004-2005, sous la direction de, p. 786, OCDE/AIE,* Paris.

American Bureau of Shipping (2005), *Guide for Marine Health, Safety, Quality, and Environmental Management*, edited, American Bureau of Shipping, Houston, TX.

Annin, R.E. (1920), *Ocean Shipping, Elements of Practical Steamship Operation*, Century Co., New York.

Bates, *J. et al.* (2001), *Economic Evaluation of Emissions Reductions in the Transport Sector of the EU: Bottom-up Analysis*, UPDATED, Final Report, AEA Technology Environment, Abingdon, UK.

Buhaug, *Ø. et al.* (2008), *Mise à jour de l'étude sur les émissions de gaz à effet de serre en provenance des navires : compte rendu de la première phase,* Organisation maritime internationale (OMI) Londres, R-U, 1er septembre 2008. *www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D23703/INF-6.pdf*.

Bureau of Transportation Statistics (2007), *National Transportation Statistics 2007*, US Department of Transportation, Research and Innovation Technology Administration, Washington, DC.

CCNUCC, et Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique (2004), *Methodological issues relating to emissions from international aviation and maritime transport*, Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique, Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique, Bonn.

Commission européenne *et al.* (2006a), *European Energy and Transport in Figures 2006*, Commission européenne, Bruxelles.

Commission européenne *et al.* (2006b), *European Energy and Transport, Trends to 2030 – update 2005*, Commission européenne, Bruxelles, Belgique.

Corbett, C.J. et D.A. Kirsch (2001), « International Diffusion of ISO 14000 Certification », *Production and Operations Management*, *10*(3), pp. 327-342.

Corbett, C.J. (2005), *Global Diffusion of ISO 9000 Certification through Supply Chains*, SSRN.

Corbett, J.J. (2004), « Marine Transportation and Energy Use », dans *Encyclopedia of Energy*, rédigé par C.J. Cleveland, pp. 745-748, Elsevier Science, San Diego, CA.

Corbett, J.J. *et al.* (1999), « Global Nitrogen and Sulphur Emissions Inventories for Oceangoing Ships », *Journal of Geophysical Research*, *104* (D3), pp. 3457-3470.

Corbett, J.J. (2004), « Marine Transportation and Energy Use », dans *Encyclopedia of Energy*, rédigé par C.J. Cleveland, pp. 745-748, Elsevier Science, San Diego, CA.

Corbett, J.J. *et al.* (2007), « Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment », *Environmental Science & Technology*, 41(24), pp. 8233-8239.

Corbett, J.J. et P.S. Fischbeck (1997), « Emissions From Ships », *Science*, *278*(5339), pp. 823-824.

Corbett, J.J. et P.S. Fischbeck (2002), « Commercial Marine Emissions and Life-Cycle Analysis of Retrofit Controls in a Changing Science and Policy Environment », *Naval Engineers Journal*, *114*(1), pp. 93-106.

Corbett, J. J. et H.W. Koehler (2003), « Updated Emissions from Ocean Shipping », *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, *108*(D20), pp. 4650-4666.

Corbett, J. J. et H.W. Koehler (2004), « Considering Alternative Input Parameters in an Activity-Based Ship Fuel Consumption and Emissions Model », *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, *109* (D23303), 8.

Corbett, J.J. et J.J. Winebrake (2007), « Sustainable Movement of Goods: Energy and Environmental Implications of Trucks, Trains, Ships, and Planes », *Environmental Management*, novembre.

Corbett, J.J. et J.J. Winebrake (2008), *Impact de la mondialisation sur le transport routier et ferroviaire international de marchandises – Tendances passées et perspectives d'avenir*. Rapport présenté au Forum mondial OCDE/IFIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008, disponible sur *www.oecd.org/dataoecd/10/61/41380820.pdf*.

Dalsøren, S.B. *et al.* (2009), « Update on Emissions and Environmental Impacts from the International Fleet of Ships: The Contribution from Major Ship Types and Ports », *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, pp. 2171-2194, disponible sur *www.atmos-chem-phys.org/9/2171/2009/acp-9-2171-2009.pdf*.

Eide, M.S. *et al.* (2008), *EU project QUANTIFY Delivery: Ship Emissions of the Future*, Report No 2007-1325, Det Norske Veritas AS, Høvik, Norvège.

Endresen, Ø. *et al.* (2003), « Emission from International Sea Transportation and Environmental Impact », *Journal of Geophysical Research*, *108* (D17), 4560.

Endresen, Ø. *et al.* (2004a), « Substantiation of a Lower Estimate for the Bunker Inventory: Comment on "Updated Emissions from Ocean Shipping" by James J. Corbett and Horst W. Koehler », *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, *109* (D23302).

Endresen, Ø. *et al.* (2004b), « Challenges in Global Ballast Water Management », *Marine Pollution Bulletin*, *48*(7-8), pp. 615-623.

Endresen, Ø. *et al.* (2007), « A Historical Reconstruction of Ships' Fuel Consumption and Emissions », *Journal of Geophysical Research*, *112*(D12301).

Endresen, Ø. *et al.* (2008), *Incidences environnementales de la croissance du transport maritime international – Tendances antérieures et perspectives d'évolution*. Rapport présenté au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008, disponible sur *www.oecd.org/dataoecd/52/30/41373767.pdf*.

Energy Information Administration (1998), *Energy Efficiency Initiative, Volume 1: Energy Policy Analysis*, 193 pp., Agence Internationale de l'Énergie, Paris, France.

Energy Information Administration (2001), *World Energy Database and International Energy Annual 2001*, edited, Energy Information Administration (EIA).

Energy Information Administration (2007), *Annual Energy Outlook 2007 with Projections to 2030*, Supplemental Transportation Tables, Department of Energy, Washington, DC.

Environmental Protection Agency (2005a), *Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2003*, 432 pp., US Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Environmental Protection Agency (2005b), *National Air Pollutant Emission Trends, 1970–2002*, edited, US Environmental Protection Agency, Washington, DC.

Evans, S.M. (2000), « Marine antifoulants », dans *Seas at the Millennium, An Environmental Evaluation*, vol. III, rédigé par by C. Sheppard, chap. 124, pp. 247-256, Pergamon, New York.

Eyring, V. *et al.* (2005a), « Emissions from International Shipping: 1. The last 50 years », *Journal of Geophysical Research – Atmospheres*, 110 (D17), D17305, doi : *http://dx.doi.org10.1029/2004JD005619*.

Eyring, V. *et al.* (2005b), « Emissions from International Shipping: 2. Impact of Future Technologies on Scenarios Until 2050 », *Journal of Geophysical Research,* 110, D17306, doi : *http://dx.doi.org10.1029/2004JD005620*.

Fearnleys (2002), *Review 2001*, Fearnresearch, Oslo, Norvège.

Finland *et al.* (2005), *MARPOL Annex VI – Proposal to Initiate a Revision Process*, edited, sous la direction de l'Organisation Maritime Internationale, Comité de la protection du milieu marin, Londres.

Fletcher, M. (1997), « From Coal to Oil in British shipping », dans *The World of Shipping*, rédigé par D. M. Williams, pp. 153-171, Ashgate, Brookfield.

Groupe de travail de l'OMI sur la pollution de l'atmosphère par les navires (2006), *Examen de l'Annexe VI de MARPOL et du Code Technique sur les NO_x : compte rendu du Groupe de travail, établi par OMI 'Submittal'*, Réunion intersessions du Groupe de travail du Sous-comité BLG sur la pollution de l'atmosphère, 1ere session, point 2 de l'ordre du jour.

Hansen, L.E. (2004), *Hvordan kan fusjonen mellom P&Q og Carnival påvirke konkurransedynamikken i cruisemarkedet?* (Quelle peut être l'incidence de la fusion de P&Q et de Carnival sur la concurrence sur le marché des croisières?) (en norvégien), thèse, Norwegian School of Economics and Business Administration, Bergen, Norvège.

ICF Consulting (2005), *Best Practices in Preparing Port Emission Inventories: Draft for Review*, préparé pour Office of Policy, Economics and Innovation, US Environmental Protection Agency, Fairfax, Virginie.

Kumar, S. et J. Hoffmann (2002), « Chapter 3 Globalization: The Maritime Nexus », dans *Handbook of Maritime Economics and Business*, rédigé par C. Grammenos, pp. 35-62, Informa, Lloyds List Press, Londres.

Lloyd's Maritime Information System (LMIS) (2002), *The Lloyds Maritime Database*, Lloyd's Register – Fairplay Ltd.

Lloyd's Register of Shipping (LR) (1961), *Statistical Tables*, 1961, Royaume-Uni.

Lloyd's Register of Shipping (LR) (1984), *Statistical Tables*, 1984, Royaume-Uni.

Lloyd's Register Fairplay (LRF) (2007), *Extracts from the World Merchant Fleet Database* (all civil ocean-going cargo and passenger ships above or equal to 100 GT), Redhill, Royaume-Uni.

NAVSEA (1994), *US Navy Marine Diesel Engine and Gas Turbine Exhaust Emissions*, US Government, Naval Sea Systems Command 03X31, Washington DC.

Navy, US (1996), *Navy News Service Message*, Navy Media Center Publishing.

Obando-Rojas, B. (2001), *The Global Labour Market Study* (GLMS), paper presented at Proceedings of SIRC's second symposium, Seafarers International Research Centre (SIRC), Université de Cardiff, 29 juin.

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) et J. Hecht (1997), *Les incidences sur l'environnement du transport de marchandises*, Direction des échanges, OCDE, Paris.

OMI (Organisation maritime internationale) (1998), *Annex VI of MARPOL 73/78 and NO_x Technical Code*, IMO-664E ed., 150 pp., OMI, Londres, Royaume-Uni.

OMI (2004), *Convention Internationale pour le Contrôle et la Gestion des Eaux de Ballast et Sédiments des Navires*, OMI, Londres.

OMI (2007), *Examen de l'Annexe VI de MARPOL et du Code Technique sur les NO_x; Rapport sur les résultats des travaux du Groupe scientifique informel d'experts gouvernements/secteur industriel chargé d'évaluer les effets des différentes options concernant les combustibles, proposées dans le cadre de la révision de l'Annexe VI de MARPOL*, p. 48. OMI, Londres.

Skjølsvik, K.O. *et al.* (2000), *Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships* (MEPC 45/8 Report to International Maritime Organization on the outcome of the IMO Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships), IMO contract report, MARINTEK Sintef Group, Carnegie Mellon University, Center for Economic Analysis, and Det Norske Veritas, Norvège.

SNAME (Society of Naval Architects and Marine Engineers) (1983), *A Guide for a Coal Fired Boiler System*, Tech. Res. Bull., pp. 3-34, New York.

SNAME (1988), *The Principles of Naval Architecture*, *Vol. II, Resistance, Propulsion and Vibration*, 2ème rév., sous la direction de E.V. Lewis, Jersey City, N. J.

Stopford, M. (1997), *Maritime Economics*, 2nde edition, Routledge, Londres.

Thomas, R. *et al.* (2002), « Shipping Activities », *Chapter B842,* dans *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – October 2002 UPDATE*, sous la direction de K. Lavender, *et al.*, Agence européenne de l'Environnement, Copenhague, Danemark.

Wijnolst, N. et T. Wergeland (1997), *Shipping*, Delft University Press, Delft, Pays-Bas.

Woodfield, M. et K. Rypdal (2003), *Atmospheric Emission Inventory Guidebook,* 3e édition, mise à jour de septembre 2003, Agence européenne pour l'environnement, Copenhague, Danemark.

Chapitre 4

Impact de la mondialisation sur le niveau d'activité du transport aérien international

par
Ken Button et Eric Pels[1]

Le présent chapitre fait la synthèse des principales caractéristiques du transport aérien international. Il commence par en retracer l'histoire depuis les années 1930 jusqu'à nos jours. Le secteur du transport aérien moderne opère dans un contexte de marché libéralisé. Si dans de nombreux petits pays, les pouvoirs publics conservent un certain droit de regard sur les tarifs, l'entrée sur le marché et la capacité, ce contrôle tend graduellement à disparaître, ou du moins à s'atténuer. Le chapitre explique pourquoi le secteur du transport aérien est maintenant important – il représente environ 1 % du PIB de l'Union européenne et des États-Unis. Il joue un rôle capital dans le transport de chargements peu volumineux à forte valeur ajoutée. L'aviation internationale achemine environ 40 % des biens échangés dans le monde en valeur marchande, mais nettement moins en termes physiques.

Le chapitre analyse l'impact de la mondialisation sur les compagnies aériennes, non seulement côté demande, où l'échelle, la nature et la géographie de la demande sur les marchés mondiaux ont entraîné d'importants changements, mais aussi côté offre, où les politiques publiques (en matière de sûreté, de sécurité et d'environnement) doivent être coordonnées au plan international. Il examine les progrès technologiques accomplis. Le transport aérien a connu deux innovations majeures : les moteurs à réaction, qui ont considérablement raccourci les durées de vol, et les avions gros porteurs, grâce auxquels les compagnies aériennes ont pu réduire leur coût par siège. Ces deux évolutions ont abouti à une baisse du coût généralisé du transport et ont eu une incidence positive sur la demande. Il se termine par une analyse de l'évolution des besoins du secteur.

4.1. Introduction

Le transport aérien est une activité très importante qui, en outre, porte un éclairage très utile sur les processus économiques, politiques et sociaux en général. Comme la plupart des modes de transport, il fait l'objet d'une demande qui est induite, c'est-à-dire qu'elle dérive du besoin et du désir d'atteindre un autre objectif, final celui-là. Le transport aérien peut, par exemple, faciliter le développement économique d'une région ou d'un secteur particulier, comme le tourisme, mais il faut qu'il existe une demande latente pour les biens et services proposés par cette région ou ce secteur. Exactement comme pour tout autre intrant du système économique, une offre insuffisante de transports aériens peut nuire à l'efficience de la croissance et, a contrario, une offre inadaptée ou excessive entraîne le gaspillage.

Les économies et les interactions qu'elles entretiennent fluctuent en permanence. Cette dynamique a des implications pour des activités comme le transport aérien. Mais il existe aussi des influences réciproques : ce qui affecte les transports aériens peut influer sur la forme et le rythme de la mondialisation et de ses processus connexes. De fait, si la demande de transport aérien est une variable qui découle d'autres demandes, le contexte institutionnel dans lequel les services de transport aérien sont assurés peut lui aussi, par contrecoup, se répercuter sur le système économique. Ces réactions en chaîne peuvent avoir des effets économiques, politiques et sociaux directs, liés par exemple aux échanges et à la mobilité des personnes, mais aussi des effets indirects, comme les conséquences du trafic aérien sur l'environnement.

L'analyse menée ici se limite à un secteur restreint, celui de l'aviation commerciale internationale, et se penche en outre sur un seul sens de la relation de causalité, puisque nous examinerons uniquement les implications de la mondialisation sur ce secteur. D'autres considérations sont examinées lorsqu'elles revêtent une importance particulière. Par exemple, la ligne de partage entre transport aérien national et international se fait de plus en plus floue, car on voit des compagnies aériennes intérieures former des alliances et prendre des participations réciproques pour former des réseaux mondiaux. De fait, les marchés du transport aérien national et international ne font en réalité qu'un au sein de l'Union européenne. Par ailleurs, on étudiera une partie des phénomènes de rétroaction, en particulier lorsque l'évolution du transport aérien accentue des tendances mondiales qui influent à leur tour sur les activités liées au transport aérien, par exemple avec les migrations de main-d'œuvre.

4.2. Mondialisation et internationalisation

Les causes des processus actuels de mondialisation à l'œuvre depuis la fin du XXe siècle, tout comme leurs implications plus larges, restent abondamment débattues. Thomas Friedman (2005) par exemple, avance que la terre est « plate » en ce sens que la mondialisation a égalisé le terrain où se déroule le jeu concurrentiel entre pays industriels et pays des marchés émergents. La mondialisation des échanges, l'externalisation de

certaines fonctions, les chaînes d'approvisionnement et des dynamiques politiques ont irrémédiablement transformé notre planète, pour le meilleur et pour le pire. Il a montré également que le rythme de la mondialisation s'accélère et continuera d'avoir un impact grandissant sur l'organisation et la pratique de l'entreprise.Toujours selon Friedman, cet « aplanissement » est dû à deux causes convergentes : l'avènement de l'ordinateur personnel et de la fibre optique, combiné à celui des logiciels de gestion des processus opérationnels dits de « workflow ». Il parle de « Mondialisation 3.0 », qui succède à « Mondialisation 1.0 » (époque où les pays et les États étaient les protagonistes de la mondialisation) et à « Mondialisation 2.0 » (phase où les entreprises multinationales étaient les premiers moteurs de l'intégration mondiale). Cairncross (1997) a adopté une perspective légèrement différente. La facilitation et l'accélération des communications ont donné naissance à un monde dans lequel la distance n'est plus un obstacle à travailler ou interagir ensemble. Presque tout ce qui peut être fait sur ordinateur peut être fait n'importe où : un informaticien peut créer un logiciel depuis un point de la planète et l'envoyer à des milliers de kilomètres de là, à une société qui l'éditera pour le commercialiser. Avec des travailleurs en mesure de gagner leur vie n'importe où, les pays vont entrer en concurrence pour attirer des citoyens, lesquels pourront s'installer là où la fiscalité leur semblera plus favorable et les cieux plus cléments.

Ces transformations ont été largement induites par les technologies, même si elles ont aussi été facilitées par de grands bouleversements politiques, comme la chute du système soviétique, l'émergence progressive d'organismes internationaux favorisant le libre échange, tels que l'Union européenne et l'Organisation mondiale du commerce, et par l'atténuation de certaines tensions politiques mondiales. Beaucoup de ces évolutions technologiques ont touché les transports. En particulier, il y a eu beaucoup de changements dans les technologies utilisées pour transporter l'information. Les analystes traditionnels des transports considèrent souvent que la « révolution des télécommunications » est distincte et hors du champ de leur étude, alors qu'elle constitue en réalité le premier grand changement dans le domaine des transports depuis la diffusion du transport mécanisé au milieu du XIXe siècle. Le transport aérien, même s'il remonte à l'ère de la mécanisation, est indissociablement lié à la mondialisation et à la révolution des télécommunications. Il a joué un rôle crucial dans l'ouverture des marchés de main-d'œuvre, comme le note Cairncross, et a considérablement facilité le développement de l'industrie, autorisant la production et la maintenance d'équipements de télécommunications bon marché. Il a aussi bénéficié de la révolution des télécommunications en matière de contrôle du trafic aérien, de navigation et d'amélioration de la sécurité, mais aussi au niveau de la logistique aérienne, pour rassembler tous les éléments nécessaires au déplacement de millions de personnes et de tonnes de fret sur des réseaux complexes.

4.3. Principales caractéristiques du transport aérien international

Perspective historique

Le transport aérien a toujours été considéré comme revêtant un rôle intrinsèquement stratégique. Il possède d'évidentes applications militaires directes, mais aussi une forte visibilité, et a longtemps été considéré comme un « porte-drapeau » (ce qu'il demeure pour certains pays), un symbole de présence commerciale internationale. Les potentialités du transport aérien sont apparues dès le début : services de courrier rapides, puis transport de passagers à moyenne et longue distance. Aujourd'hui, cette technologie permet d'acheminer des charges beaucoup plus importantes avec encore plus de fiabilité. Ces

fonctions stratégiques ont été utilisées pour poursuivre des objectifs nationaux d'intégration sociale, politique et économique au sein de pays géographiquement très étendus tels que le Canada, les États-Unis et l'Australie, mais elles ont aussi commencé à jouer un rôle international à partir des années 30 avec les systèmes géopolitiques impériaux, essentiellement du Royaume-Uni, de la France, de l'Allemagne et d'autres pays européens, quand les progrès de la technologie ont autorisé le développement de services intercontinentaux.

Dans ce contexte, le transport aérien était fortement réglementé et protégé, l'intention étant de l'utiliser comme levier au service d'objectifs politiques et économiques plus vastes. Mais dans ces rôles même, son importance est restée modeste. British Imperial Airways, par exemple, n'a transporté que quelque 50 000 passagers vers les colonies dans les années 30, chiffre qu'on se gardait bien de diffuser dans les médias grand public étant donné l'importance donnée aux réseaux aériens coloniaux. L'évolution technologique (induite par les avancées réalisées dans les applications militaires au cours de la Seconde Guerre mondiale) a changé la donne, avec l'arrivée d'appareils à plus long rayon d'action, plus rapides, emportant des charges utiles plus importantes et moins sensibles aux aléas de la météorologie. Le contrôle du trafic aérien, la navigation aérienne, les communications et les installations aéroportuaires ont aussi fait des progrès considérables et, plus récemment, les structures de management qui sous-tendent la chaîne d'approvisionnement ont, elles aussi, gagné en efficacité.

En 1944, la Convention de Chicago s'est penchée sur les nouvelles potentialités internationales de l'aviation civile et a créé une structure institutionnelle qui a posé des règles de base communes pour les accords bilatéraux de services aériens entre pays. Toutefois, ce travail, s'il offrait une base formelle pour les négociations, a surtout abouti à aménager le protectionnisme : des couples de pays s'accordent sur les compagnies aériennes habilités à assurer des liaisons entre eux, sur le prix des billets et souvent aussi sur le partage des bénéfices. En outre, à l'exception notable des États-Unis, la plupart des compagnies aériennes internationales jouaient le rôle de porte-drapeaux nationaux appelés à tendre vers des objectifs vagues liés au prestige national et à assurer la liaison avec les colonies. Les marchés intérieurs étaient réglementés de manière similaire et il n'était pas rare que les pays riches aient une compagnie assurant essentiellement les vols intérieurs et court-courriers et une autre pour les long-courriers et le marché international.

Le démantèlement du cadre réglementaire applicable aux liaisons intérieures des États-Unis engagé à partir de la fin des années 70 (Morrison et Winston, 1995) a donné l'exemple à d'autres pays pour la déréglementation de leurs propres systèmes nationaux. De même, malgré leur échec initial, les initiatives américaines, à partir de 1979, visant à libéraliser les services internationaux sur une base bilatérale selon une formule commune dite « Open Skies », ont incité à réformer plus largement le secteur. Parallèlement, il y a eu, dans certains pays particulièrement axés sur le marché comme la Nouvelle-Zélande et le Royaume-Uni, une tendance générale au désengagement des pouvoirs publics, qui a abouti à la privatisation, ou du moins à un fonctionnement plus commercial, des aéroports et du contrôle aérien. La création du Marché unique européen au sein de l'Union européenne à partir de 1992, de même que l'effondrement du système soviétique, ont entraîné un mouvement plus large, englobant davantage de secteurs et de pays, vers la libéralisation du marché des infrastructures de transport aérien. Tous les pays n'ont pas été jusqu'au bout de cette démarche. Les États-Unis, par exemple, ont paradoxalement laissé le contrôle

du trafic aérien aux mains d'un monopole public financé par les impôts et les aéroports, à quelques exceptions près, aux mains des collectivités locales (Button et McDougall, 2006).

On a assisté à un renforcement de la réglementation allant à l'encontre de la libéralisation des marchés, avec aux États-Unis la « réglementation sociale » et en Europe la « réglementation de la qualité ». Cela concerne des enjeux tels que l'environnement, la sûreté, la sécurité et la protection des consommateurs et des travailleurs. Il s'agit de domaines dont s'occupe traditionnellement au niveau international l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale) mise en place par la Convention de Chicago, suite à des accords internationaux tels que la Convention de Varsovie, qui remonte à 1929 et porte sur la responsabilité en cas d'accident[2]. Plus récemment, des mesures de portée régionale ou nationale ont également eu des conséquences à l'échelle internationale (extension des échanges de droits d'émission de carbone dans l'Union européenne à l'ensemble du transport aérien et adoption de mesures de sécurité plus strictes par les États-Unis au sujet notamment des informations à fournir sur les passagers pour tous les vols à destination des États-Unis).

Transport aérien moderne

Le transport aérien moderne opère donc dans un contexte de marché libéralisé. Si dans de nombreux petits pays, les pouvoirs publics conservent un certain droit de regard sur les tarifs, l'entrée sur le marché et la capacité, ce contrôle tend graduellement à disparaître ou du moins à s'atténuer. Les mécanismes de contrôle international relevant des accords bilatéraux de services de transport aérien font graduellement place à des formules de type Open Skies, permettant de fournir librement des services de transport aérien international. L'ouverture du marché, avec élimination des conditions de nationalité pesant sur le contrôle des compagnies aériennes, progresse en revanche plus lentement. L'Union européenne[3] est en fait le plus grand marché international libre de services de transport aérien depuis 1997 et ce marché s'étend au même rythme que l'Union européenne. L'offre et l'exploitation de l'infrastructure de transport aérien s'axent également davantage sur le marché avec la privatisation d'aéroports et de systèmes de contrôle du trafic aérien ou l'utilisation de mécanismes de franchise pour permettre l'intervention de capitaux et d'expertise du secteur privé (Button, 2008). La coordination progresse également[4].

Le secteur du transport aérien est maintenant important (il représente environ 1 % du PIB de l'Union européenne et des États-Unis) et essentiel à de nombreuses activités, du tourisme jusqu'aux hautes technologies[5] en passant par les plantes et les fruits exotiques. Il joue un rôle capital dans le transport de chargements peu volumineux à forte valeur ajoutée. L'aviation internationale achemine environ 40 % des biens échangés dans le monde en valeur marchande, mais nettement moins en termes physiques. Sur ce marché, l'offre est assurée par différents types de transporteurs spécialisés soit dans des lignes internationales long-courriers, soit dans les marchés court-courriers[6]. Le tableau 4.1 donne une idée de l'échelle qui caractérise les plus grandes compagnies aériennes. A l'interface entre transport terrestre et aérien, les principaux aéroports du monde se sont agrandis et voient passer des millions de passagers internationaux (tableau 4.2) et de tonnes de fret[7] par an et beaucoup d'entre eux ont joué un rôle catalyseur pour la croissance d'activités modernes comme les hautes technologies et le tourisme. En 2008, environ 15 500 aéroports dans le monde étaient reliés par des services de transport aérien de passagers; depuis une vingtaine d'années, ce sont les marchés d'Europe et d'Asie-Pacifique qui ont connu la plus forte croissance[8].

Tableau 4.1. **Dix premières compagnies aériennes internationales régulières, en passagers-kilomètres**

2007

Compagnie aérienne	Millions de passagers-kilomètres, liaisons régulières
Air France	112 689
British Airways	111 336
Lufthansa	109 384
Singapore Airlines	87 646
American Airlines	81 129
United Airlines	74 578
Emirates Airline	74 578
KLM	71 761
Cathay Pacific	71 124
Japan Airlines	59 913

Source : Association internationale du transport aérien.

Tableau 4.2. **Vingt premiers aéroports du monde en nombre de passagers**

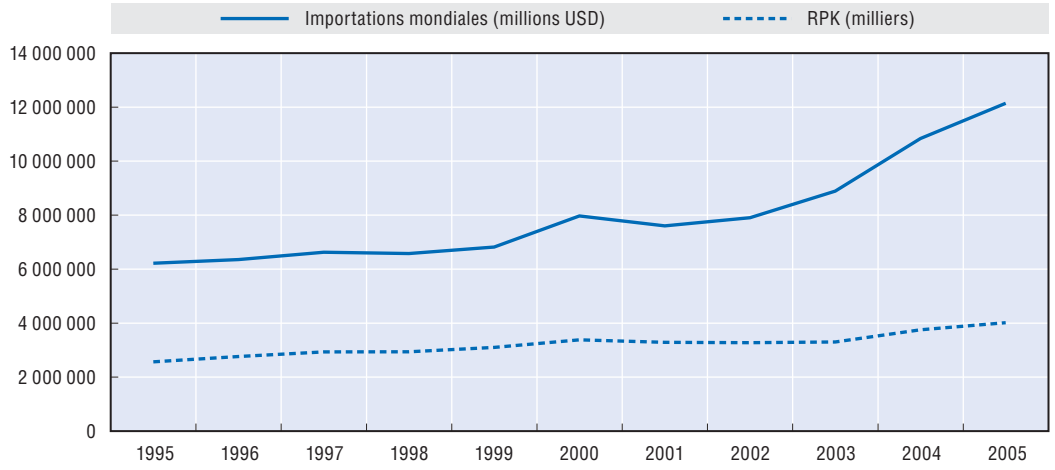
2007

Aéroport	Nombre de passagers internationaux
Aéroport Heathrow de Londres	62 099 530
Aéroport international Charles de Gaulle	54 901 564
Aéroport Schiphol d'Amsterdam	47 677 570
Aéroport de Francfort	47 087 699
Aéroport international de HongKong	46 281 000
Aéroport de Changi	35 221 203
Aéroport international de Narita	34 289 064
Aéroport international de Dubai	33 481 257
Aéroport de Suvarnabhumi	31 632 716
Aéroport de Londres Gatwick	31 139 116
Aéroport international d'Incheon	30 753 225
Aéroport international Barajas de Madrid	29 339 784
Aéroport international de Kuala Lumpur	26 938 970
Aéroport international de Shivaji	25 360 860
Aéroport de Munich	23 988 612
Aéroport de Dublin	22 339 673
Aéroport international F. Kennedy	21 521 711
Aéroport de Stansted	21 201 543
Aéroport international de Taoyuan	20 855 186
Aéroport international de Malpensa	20 627 846

Source : Conseil international des aéroports.

Les données de base consolidées font apparaître qu'il existe indéniablement une corrélation générale entre PIB mondial et commerce international, d'une part, et transport aérien, d'autre part (même si la causalité reste à établir). Le graphique 4.1 présente les données agrégées sur l'évolution du commerce mondial et du transport aérien international à partir du milieu des années 1990. On obtient un résultat comparable en rapprochant le PIB mondial et le trafic aérien. Dans un cas comme dans l'autre, les volumes ont augmenté, quoique légèrement moins vite que le PIB. Le graphique 4.2 détaille les tendances à plus court terme de la croissance du commerce international et du trafic de fret aérien en volume et montre des effets cycliques communs. Les pics et les creux coïncident à peu près, mais on n'observe pas de structure cohérente permettant de déterminer le sens de la causalité.

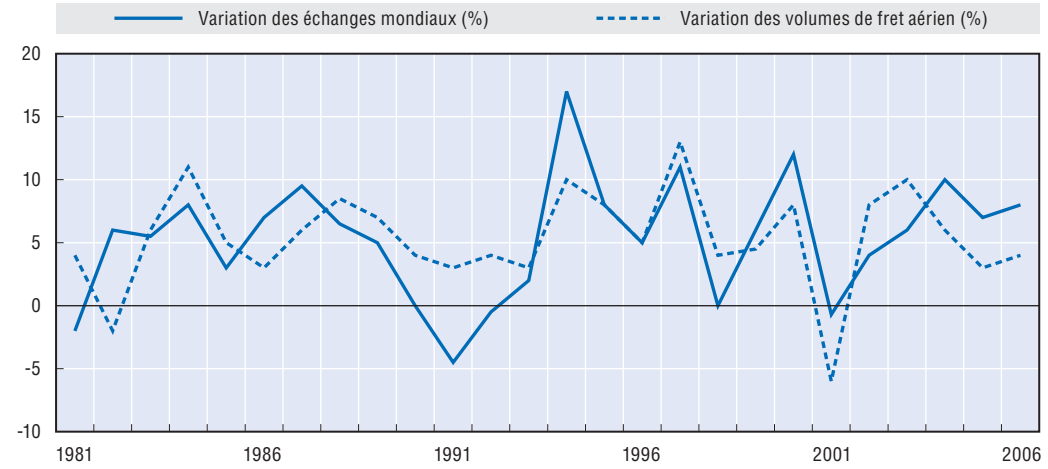
Graphique 4.1. **Commerce international et revenu-passager-kilomètre des compagnies aériennes**



Note : RPK signifie revenu passager kilomètres.

Source : Association internationale du transport aérien.

Graphique 4.2. **Corrélation à court terme entre le commerce international de produits manufacturés et le volume de fret aérien**



Source : Association internationale du transport aérien.

4.4. Impact de la mondialisation sur les marchés des compagnies aériennes

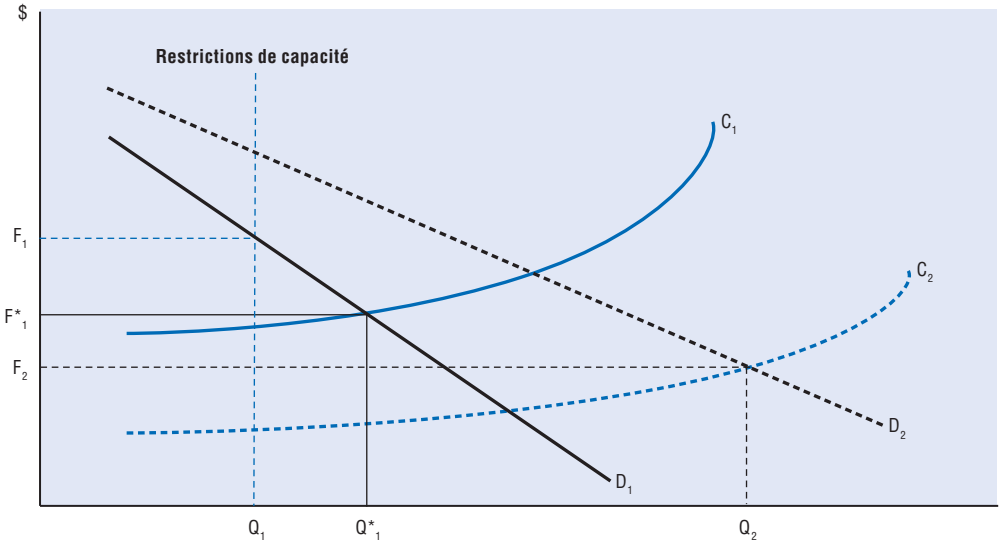
Dans ses multiples manifestations, la mondialisation a eu des implications profondes pour le transport aérien international tant du côté demande, où l'échelle, la nature et la géographie de la demande sur les marchés mondiaux ont entraîné d'importants changements, que du côté offre, où la coordination internationale implicite et explicite des mesures publiques (en matière de sûreté, de sécurité et d'environnement) et privées (internationalisation de la production des cellules et des moteurs) ont transformé le contexte institutionnel et technologique dans lequel ces services sont assurés. Quelques-unes des plus importantes de ces interactions sont analysées ci-dessous.

4.5. Transformations institutionnelles affectant la réglementation du transport aérien

Tarifs

Les accords bilatéraux de service aérien qui caractérisaient la structure institutionnelle des marchés internationaux de transport aérien avant les accords « Open Skies » avaient un certain nombre d'impacts négatifs sur l'efficience de l'offre et sur le niveau des avantages procurés à la société par le transport aérien. Ces effets ne sont pas aisés à étudier isolément et à quantifier entièrement, mais le graphique 4.3 présente un aperçu général des problèmes en jeu. Elle met plus particulièrement en évidence l'impact que les différents régimes réglementaires du passé et ceux qui apparaissent progressivement à mesure que la mondialisation s'accentue peuvent avoir sur les tarifs et la production[9].

Graphique 4.3. **Modèle économique simple des politiques « Open Skies »**



Source : Button (2009a).

La position initiale de la courbe de demande de services de transport aérien international entre deux pays **A** et **B**, dans les régimes réglementaires qui prévalaient avant 1980 est présumée linéaire et est représentée par la courbe D_1 dans le graphique, et la courbe du coût moyen par passager, considérée pour simplifier comme progressant plus que linéairement avec la quantité, est représentée par la courbe C_1[10]. Dans ces marchés réglementés, du fait des mécanismes institutionnels d'intervention qui étaient en place, les tarifs et la capacité n'étaient pas déterminés par les forces du marché. La capacité était limitée (voir « restrictions de capacité » dans le graphique) et les tarifs étaient réglementés. En posant comme hypothèse que les clauses tarifaires de l'accord bilatéral entre **A** et **B** permettaient au minimum aux deux compagnies aériennes de couvrir leurs coûts, cela implique un niveau de tarif au maximum de F_1[11]. La suppression de la limite de capacité et des tarifs négociés, comme dans un accord de type « Open skies », rétablit la concurrence sur les services de transport aérien et conduit les transporteurs à suivre des stratégies tarifaires de couverture des coûts. Les tarifs sont alors ramenés au niveau F^*_1.

Les politiques « Open Skies », combinées à l'autorisation des alliances stratégiques, ont eu pour effet non seulement de lever certaines des contraintes de capacité, mais aussi

de modifier les courbes d'offre et de demande du transport aérien entre **A** et **B**. La capacité des compagnies aériennes à remplir plus efficacement leurs avions sur les liaisons transatlantiques et à coordonner leurs activités, grâce à la restructuration de leur activité et de leurs réseaux, fera baisser à C_2 la courbe du coût moyen du transport dans le graphique. L'impact est souvent renforcé par des pressions à la baisse exercée sur les coûts par l'ouverture plus large de la concurrence en Europe (qui ne relève toutefois pas, à strictement parler, du cadre « Open Skies ») et à la privatisation d'un grand nombre de transporteurs; cette pression commerciale a diminué le niveau d'inefficience-X statique et dynamique dans le secteur du transport aérien. En d'autres termes, la pression concurrentielle a été accrue par la libéralisation non seulement du marché transatlantique, mais aussi de chacun des deux marchés d'apport de part et d'autre de l'Atlantique.

Les pratiques de type « Open Skies » ont également des effets stimulants sur la demande. En permettant de mieux alimenter le tronçon « long-courrier » des services transatlantiques au moyen de trafics amenés par des lignes de rabattement sur des aéroports pivots internationaux, ces pratiques élargissent la zone de desserte et ouvrent la voie aux économies de portée et d'échelle. L'accroissement de la demande physique sur le marché et l'amélioration de la qualité du « produit » qui accompagne l'intégration accrue des services (partage de codes, programmes de fidélisation communs, salles d'attente communes et enregistrement des bagages) font monter la demande de services de transport aérien internationaux en D_2 dans le graphique 4.3.

La baisse des coûts et l'augmentation de la demande entraînent un accroissement du nombre de passagers, qui passe à Q_2, de telle sorte que grâce à la flexibilité des tarifs amenée par Open Skies, les tarifs sont ramenés à F_2 dans notre exemple. Il faut noter que les tarifs ne vont pas forcément baisser et que la libéralisation des marchés peut en fait les pousser à la hausse. En effet, la modification de la demande reflète une meilleure « qualité » du service (plus grande commodité des vols, transférabilité des avantages générés par les programmes de fidélisation, billetterie de bout-en-bout) et, en moyenne, les passagers potentiels sont disposés à payer plus cher que pour le portefeuille ordinaire de services offert à l'époque des accords bilatéraux de services aériens. (Dans le graphique 4.3, le déplacement vers la droite de la demande peut compenser la baisse des coûts, et on peut avoir $F^*_1 < F_2$)[12].

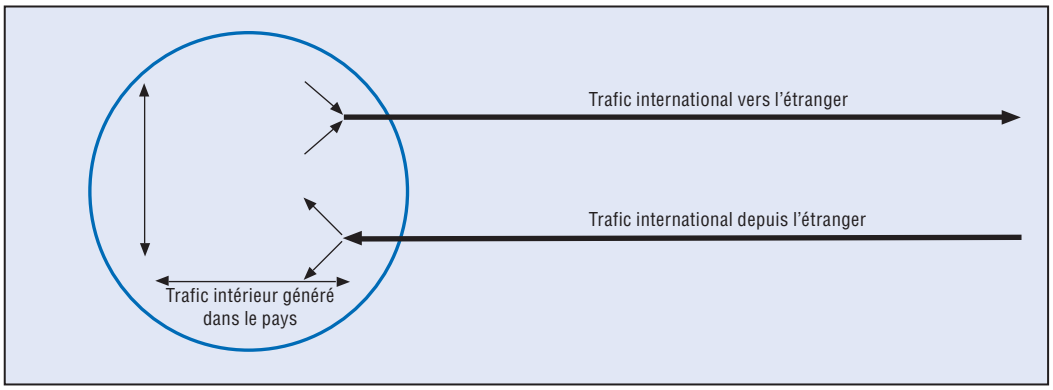
Dès lors, se pose le problème de savoir dans quelle mesure la structure tarifaire est influencée par la puissance de marché des compagnies aériennes. L'analyse présentée dans le graphique 4.3 part du principe que dans l'environnement « Open Skies », les tarifs couvrent les coûts ou, en d'autres termes, que la politique menée en matière de concurrence et de concentrations peut effectivement assurer la fonction de régulation. Cela pose des questions quant à la nature des marchés lorsqu'ils sont desservis par un nombre relativement restreint de grands transporteurs réguliers qui ont souvent noué des alliances. Une certaine dose de concurrence existe sur le marché des grandes lignes entre les différentes alliances ainsi que, à chaque extrémité des liaisons, avec de nombreux autres transporteurs (notamment « low cost ») qui se disputent la clientèle de rabattement et de desserte locale à destination des grands aéroports-pivots internationaux. De plus, d'après la théorie des jeux, un marché à trois acteurs aboutit à une situation proche du niveau amené par un marché concurrentiel. Toutefois, chaque alliance, grâce à la différentiation des produits (c'est-à-dire par la desserte d'aéroports différents), jouit inévitablement d'un certain pouvoir de monopole. Cela peut aboutir à des tarifs supérieurs à F_2 et à une offre inférieure à Q_2, d'où une diminution de la rente du consommateur[13].

On peut considérer que les effets d'un espace aérien ouvert (c'est-à-dire un marché véritablement ouvert caractérisé par la mobilité des capitaux et la possibilité de vendre des services de transport aérien au consommateur final à la fois dans les marchés **A** et **B**) constituent un prolongement de cette structure. Des marchés de capitaux libres, avec la possibilité pour les exploitants de grandes lignes de posséder des réseaux d'apport plus flexibles aux deux extrémités du couloir aérien transatlantique, permettraient de diminuer encore les coûts et éventuellement de réaliser des économies supplémentaires de présence sur le marché, ce qui n'aurait pas un effet considérable. La possibilité d'investir hors des frontières nationales permet des rééquilibrages à court terme en cas de fluctuations des marchés locaux et autorise une planification à long terme plus intégrée des infrastructures; cela aboutirait à offrir aux réseaux aériens la possibilité, comme les chemins de fer des États-Unis, de réallouer les fonds investis d'un État à l'autre plutôt que d'avoir des compagnies ferroviaires séparées dont le champ d'action se limiterait aux frontières de chaque État. Dans le graphique 4.3, cela signifierait des tarifs plus bas et des volumes de trafic aérien supérieurs, avec une augmentation concomitante des avantages pour la société.

Liaisons entre services aériens nationaux et internationaux

La libéralisation des services internationaux présente un autre aspect, qui provient de l'interaction entre le transport aérien intérieur avec les marchés internationaux. La croissance des échanges internationaux induite par la mondialisation se traduit naturellement par une augmentation de la demande de services aériens internationaux, encore accentuée par l'évolution du contexte réglementaire du transport aérien, mais aussi par une augmentation de la demande de transports intérieurs, notamment aériens, en particulier dans les pays géographiquement étendus. Les structures économiques nécessaires pour produire le surcroît de produits destinés à l'exportation et distribuer le surcroît de produits importés nécessitent également la création de couches supplémentaires de structures économiques nationales, afin de satisfaire les nouveaux besoins internes associés à une économie plus prospère. Le graphique 4.4 propose une représentation stylisée des types de marchés de services aériens affectés par une accentuation de la mondialisation.

Graphique 4.4. **Impact de la mondialisation sur les marchés aériens**



Marchés internationaux

La mondialisation s'accompagne inévitablement d'une augmentation de la demande de déplacement de personnes et de biens entre pays, qui entraîne, étant donné l'orientation essentiellement commerciale du transport aérien moderne, une augmentation de l'offre. Avec les économies réalisés dans le transport aérien, notamment la baisse des coûts d'utilisation des infrastructures, cela peut aboutir à de nouvelles baisses de tarifs. En outre, le commerce international entraîne une augmentation du revenu mondial, d'où un accroissement du tourisme et du transport de biens de valeur élevée, comme les produits exotiques, pour lesquels le transport aérien jouit souvent d'un avantage comparatif. Enfin, la mondialisation entraîne une plus grande mobilité des facteurs, avec un accroissement des migrations tant temporaires que permanentes. Pour cela, sur de longues distances, le transport aérien international est généralement le mode le plus économique.

Liaisons d'apport nationales

Le transport aérien international bénéficie d'importantes économies d'échelle, de portée et de densité; les principaux aéroports internationaux et les transporteurs long-courriers associés bénéficient de services d'apport qui acheminent le trafic national à destination et en provenance d'autres aéroports du pays. De plus en plus, les grandes compagnies aériennes internationales ont des réseaux en forme d'haltères (graphique 4.5) avec une liaison principale entre les aéroports-pivots internationaux des pays **A** et **B**, complétée par des services locaux à chaque aéroport-pivot fournis soit par les transporteurs internationaux eux-mêmes, soit par différents types de partenaires (surtout vers les autres pays)[14]. Le développement du transport aérien a inévitablement des répercussions sur la demande de services aériens d'apport, outre les grandes liaisons internationales. Dans certains pays, ces services de desserte locale incluent l'embarquement et le débarquement de passagers dans des pays voisins ou à l'intérieur du pays.

Graphique 4.5. **Structure en forme d'haltères du réseau de transport aérien international**



Services aériens nationaux liés au commerce international

La mondialisation intensifie l'activité économique, ce qui accroît le besoin de transports intérieurs pour accompagner l'élargissement de la chaîne de valeur. Dans les pays peu étendus, une grande partie de ces transports sont assurés par des modes terrestres qui bénéficient d'un avantage comparatif sur les courtes distances, sauf là où le

terrain est particulièrement accidenté. Dans les pays plus étendus, les déplacements de personnes et de marchandises pour lesquels la vitesse est importante vont générer un besoin accru de transports aériens à mesure que le processus de mondialisation s'accentue. Il s'agit d'une implication de la mondialisation qui se manifeste au niveau purement national et peut être assez éloignée du marché du transport aérien international.

Services aériens nationaux liés aux revenus

La mondialisation se traduit dans chaque pays par une augmentation des revenus et de la consommation (voir aussi graphique 4.4), même si cette prospérité n'est pas répartie uniformément. Le transport aérien facilite une partie de cette consommation. Là aussi, dans les pays très étendus, les consommateurs dont les revenus augmentent dépensent plus en tourisme à l'intérieur des frontières nationales et rendent plus fréquemment visite à leurs proches. Comme pour les déplacements aériens liés au commerce international, cette activité interne peut être très distincte d'un point de vue économique et institutionnel du transport international, mais elle en est le fruit.

Dans une perspective analytique, il est utile d'isoler ces quatre catégories distinctes de transport aérien qui sont influencées par la mondialisation, mais empiriquement, il est quasiment impossible d'évaluer leur magnitude relative à partir des données disponibles. Deux difficultés se présentent. La première procède du fait que le transport aérien assure les services de réseaux et qu'un problème sur un maillon se répercute sur d'autres parties de la chaîne, voire sur l'ensemble. En effet, le surplus de demande qui se porte sur une liaison internationale et dynamise les lignes d'apport de cette liaison, mais a aussi des répercussions en chaîne sur l'ensemble des réseaux de ltous les transporteurs du marché national, car les appareils qui acheminent le trafic d'apport peuvent aussi acheminer du trafic purement national. On voit par là qu'une évolution de la demande internationale a un impact sur la base de la concurrence entre tous les services intérieurs. Actuellement, il est impossible d'isoler empiriquement ces effets, même pour un changement limité concernant une seule compagnie aérienne sur une seule liaison, et il va sans dire qu'il l'est impossible aussi pour les changements affectant un grand nombre de liaisons internationales.

Le deuxième problème tient au fait qu'il est difficile de définir le contrefactuel. En simplifiant au maximum, on va se demander ce qui se serait produit s'il n'y avait pas eu d'augmentation des échanges et de gonflement de la demande induite de transport aérien ou, en d'autres termes, si les tendances antérieures s'étaient poursuivies ou si d'autres variables de référence avaient évolué. Techniquement, on peut comparer une extrapolation simple du passé avec les événements qui se sont effectivement produits. Prédire la croissance économique est toutefois une tâche redoutable. Lorsqu'il y a eu des tentatives partielles d'examiner les implications plus générales d'une croissance du trafic aérien international induite par un changement exogène, les effets en chaîne sur l'ensemble du réseau étaient souvent importants. Par exemple, l'étude du Brattle Group (2002) sur les effets de l'assouplissement des conditions d'entrée sur le marché aérien nord-atlantique a mis en évidence des implications non négligeables sur la demande intérieure européenne, sans inclure d'effets induits liés aux échanges ou aux revenus.

Réseaux en étoile

Après l'adoption de la Convention de Chicago, aucun mécanisme du marché ne donnait naissance à des tarifs et des fréquences économiquement efficients (*cf. sup.*). De ce

fait, les coûts étaient élevés et les prix ne reflétaient pas la demande. Les préférences des consommateurs, les fréquences et les itinéraires desservis étaient un enjeu politique plutôt que le résultat des forces du marché. Ainsi pouvait-on lire dès 1960, dans The Economist : « Le principal problème tient au fait qu'il y trop de compagnies aériennes à l'échelle de la planète, la plupart étant inefficientes, sous-capitalisées et non rentables ».

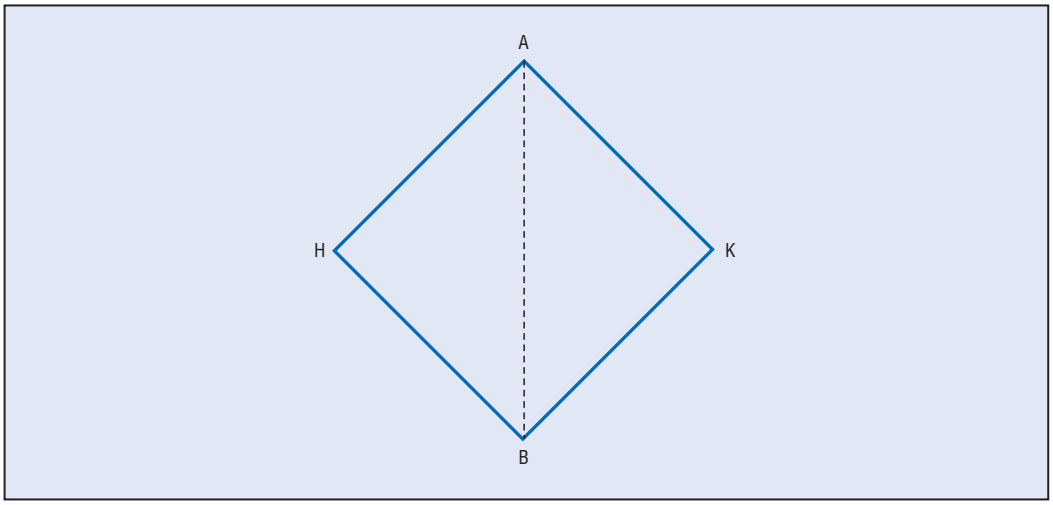
Aux États-Unis aussi, les marchés étaient fermés. La Direction américaine de l'aviation civile (Civil Aeronautics Authority, rebaptisée ultérieurement Civil Aeronautics Board, CAB), fixait les itinéraires et les tarifs en vigueur aux États-Unis, pour éviter aux transporteurs une concurrence « destructrice » et protéger les consommateurs, tout en permettant aux compagnies aériennes de tirer un rendement raisonnable de la vente des billets. Au cours des années 60 et 70, il est devenu de plus en plus évident que les réglementations officielles étaient trop restrictives pour le secteur aérien. La loi sur la déréglementation du transport aérien adoptée en 1978 prévoyait la suppression de toutes les restrictions relatives aux itinéraires (nationaux), aux tarifs et aux horaires. L'augmentation de l'efficacité des compagnies aériennes et de la concurrence devait profiter tant aux exploitants qu'aux passagers.

Cette déréglementation du marché aérien des États-Unis a été suivie par une arrivée massive de nouveaux transporteurs, puis par un départ rapide de la quasi-totalité d'entre eux. Dans la période immédiatement postérieure à la déréglementation, il y avait une quarantaine de grands transporteurs, et 15 ans plus tard il n'en restait plus que six ou sept. Si la déréglementation a bien été synonyme de baisse des tarifs en termes réels, elle n'a cependant pas entraîné d'augmentation de la concurrence. La baisse des tarifs entre 1976 et 1985 a représenté une économie de 11 milliards USD pour les passagers en 1986 (Kahn, 1988). La répartition géographique des effets régulateurs de la concurrence a été inégale. Étant libres d'exploiter leurs lignes les plus efficaces, la plupart des compagnies aériennes ont décidé d'opter pour un réseau en étoile afin de tirer parti d'économies de densité et de réduire les coûts fixes par liaison. Le nombre de concurrents a diminué sur les itinéraires commençant ou se terminant sur un aéroport-pivot, mais une concurrence acharnée s'est développée sur les trajets entre aéroports-pivots et sur les vols de correspondance longue distance. Ces changements ont contraint les passagers des vols long courriers aux États-Unis et sur les marchés internationaux de faire des détours, c'est-à-dire d'utiliser des vols indirects, relativement longs et impliquant deux décollages.

Les réseaux en étoile permettent de créer des « aéroports-pivots forteresses ». Zhang (1996) estime que les compagnies aériennes qui exploitent des réseaux en étoile ne sont pas incitées à pénétrer sur le réseau de concurrentes car cela risquerait de réduire les profits sur le réseau « initial ». Pour faire sa démonstration, Zhang se base sur le réseau présenté sur le graphique 4.6, où la compagnie aérienne 1 utilise H comme aéroport-pivot et assure les dessertes AH et BH directement et AB indirectement, tandis que la compagnie aérienne 2 utilise K comme aéroport-pivot et assure les dessertes AK et BK en liaisons directes et AB en liaisons indirectes. Ce réseau n'est pas réaliste puisqu'il n'y a pas de marché entre les aéroports-pivots, mais des résultats semblables sont obtenus quand le marché existe.

Si la compagnie aérienne 1 se met à assurer les liaisons AK et BK, les prix baissent sous l'effet de l'augmentation de la concurrence. La compagnie aérienne 2 répond en accroissant sa présence sur les liaisons AB et voit ses coûts moyens baisser sur les liaisons AK et BK en raison des économies de densité. La compagnie 1 perd des parts de

Graphique 4.6. **Configuration du réseau**



marché sur la liaison AB (capturées par la compagnie 2), si bien que les coûts moyens sur les liaisons AH et BH augmentent. Par conséquent, les vols sur les liaisons AH et BH deviennent plus chers et le nombre de passagers sur ces trajets diminue. Vu la baisse du volume des opérations sur le réseau initial (HAB), les bénéfices supplémentaires tirés des nouvelles liaisons AK et BK doivent être mis en balance avec les pertes enregistrées sur le réseau initial. Quand les économies de densité sont fortes (les effets précités sont forts) et le consentement à payer est élevé, le positionnement de la compagnie 1 sur le réseau de la compagnie 2 entraîne une diminution de ses bénéfices. Par conséquent, l'entrée sur le réseau d'un concurrent peut aboutir à une baisse des bénéfices globaux. Au lieu de cela, les compagnies aériennes choisissent de signer des accords d'alliance plutôt que de se faire concurrence. Dans les années 80 et 90, on a donc assisté à une concentration géographique des réseaux aériens autour d'un nombre limité d'aéroports-pivots. Goetz et Sutton (1997) ont établi que sur les 514 aéroports qui en 1978 étaient reliés par une ou plusieurs liaisons régulières, 167 ont perdu ces liaisons au cours de la période allant jusqu'en 1995. Seuls 26 nouveaux aéroports ont été desservis par des liaisons régulières et les pouvoirs publics ont subventionné les liaisons à destination de 77 aéroports. Une fois encore ceci implique que bon nombre de passagers de vols long-courriers ou internationaux se sont trouvés contraints d'effectuer des vols indirects et donc de subir des durées de vol relativement importantes.

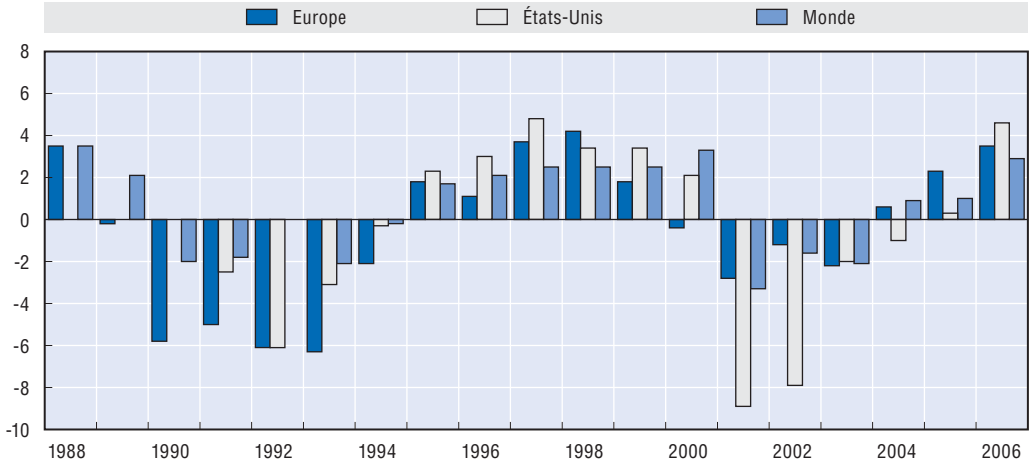
La déréglementation du marché aérien a été bien plus progressive dans l'Union européenne qu'aux États-Unis, mais a eu des résultats semblables. Bon nombre des compagnies aériennes européennes étaient des compagnies publiques avec des réseaux radiaux. Les possibilités de transfert existaient bel et bien, mais les compagnies aériennes n'exploitaient pas pleinement les possibilités offertes par le trafic de correspondance (Dennis, 1998). Le passage du réseau radial à un réseau en étoile avec une meilleure synchronisation des vols pour améliorer les transferts permet l'exploitation d'effets de densité. Les compagnies aériennes avec des réseaux en étoile n'ont pas envahi les réseaux de leurs concurrentes et en Europe aussi une concentration a eu lieu : certaines compagnies ont fait faillite (Swissair, Sabena), tandis que d'autres ont signé des accords d'alliance (la fusion Air France-KLM étant la plus notable). Sur les marchés internationaux

les plus rentables (entre l'Europe et les États-Unis), la concentration a pris la forme d'alliances diverses. Les compagnies aériennes concluent ce type d'accord pour tirer profit des effets de densité et réduire la concurrence. Pour les passagers internationaux, les alliances peuvent être avantageuses. Avant la création des alliances, les compagnies européennes disposaient d'un accès restreint aux États-Unis. La signature d'un accord d'alliance avec un partenaire américain permet aux compagnies aériennes européennes d'élargir leur offre de destinations aux États-Unis pour leurs passagers. Ces passagers internationaux effectuent le plus souvent des vols avec escale. Par exemple, environ 65 % des passagers KLM sont des voyageurs internationaux faisant escale à la plaque tournante de KLM (aéroport d'Amsterdam Schiphol)[15]. Ainsi les accords d'alliance ont abouti à une croissance sur les marchés internationaux, mesurée en passagers et en passagers/kilomètre du fait des distances plus longues.

Bénéfices des compagnies aériennes

Il ressort clairement du graphique 4.7 (qui montre les marges nettes d'exploitation) que la situation financière des compagnies aériennes est fortement influencée par les effets de cycles des échanges économiques internationaux. D'autres mesures que la marge brute d'exploitation donnent des résultats similaires. Par le passé, on a observé des reculs qui coïncidaient avec des crises financières internationales (début des années 90) et à de graves événements internationaux (les attaques terroristes sur New York et Washington et l'épidémie de SRAS). Le schéma montre que ce type de facteurs affecte systématiquement, quoique avec une intensité variable, tous les marchés de transport. Mais en outre, les bénéfices réalisés pendant les périodes relativement fastes ne compensent pas les mauvaises années – à supposer qu'une marge d'exploitation nulle soit viable, ce qui est douteux.

Graphique 4.7. **Marges d'exploitation des compagnies aériennes**
1988-2006

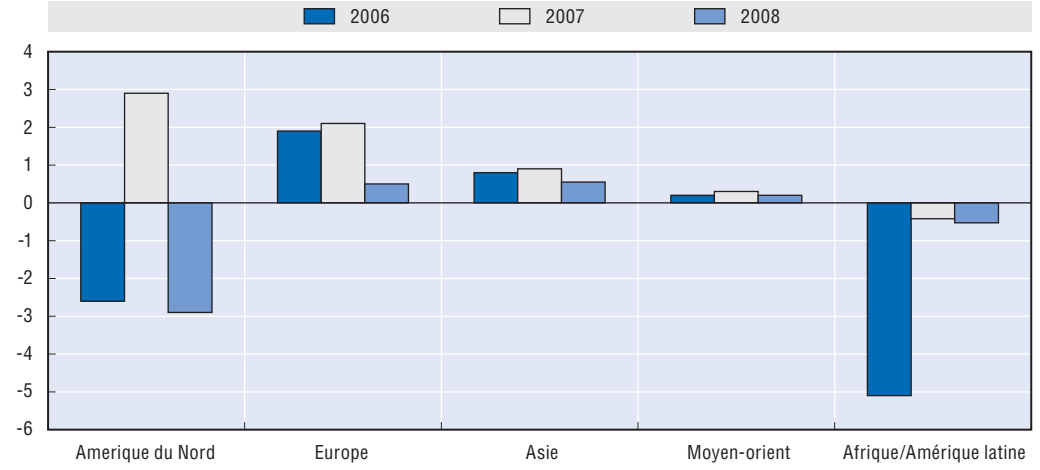


Notes : Une barre absente signale un chiffre manquant et non une marge d'exploitation égale à zéro. Les données correspondent aux membres des différentes associations qui communiquent des données financières sur les compagnies aériennes. Les membres des différents organismes qui communiquent des chiffres varient avec le temps : les marges figurant ici correspondent aux compagnies aériennes membres de ces associations lorsque les chiffres ont été communiqués.

Sources : Boeing Commercial Airplane, Association des compagnies aériennes européennes, Air Transport Association of America, Association internationale du transport aérien.

À partir de juillet 2008, les difficultés financières dans lesquelles les graves problèmes de l'économie américaine et le ralentissement de nombreuses autres économies ont plongé les compagnies aériennes ont conduit l'IATA à prévoir une perte mondiale potentielle de 6.1 milliards d'USD pour le secteur aérien en 2008, en raison du relèvement du prix des intrants et du renversement du cycle économique[16]. Toutefois, outre ces grandes tendances, il y a également eu d'importants écarts de rentabilité dans les marchés régionaux (graphique 4.8) explicables en partie par la maturité des marchés, mais aussi par le niveau de libéralisation des accords bilatéraux de services aériens signés par les différents pays.

Graphique 4.8. **Rentabilité des compagnies aériennes par région**



Note : Les données 2008 sont issues des prévisions intérimaires de juin 2008 de l'AITA.
Source : AITA.

D'après la théorie économique élémentaire, lorsqu'il n'y a pas de coûts fixes, les négociations entre offreurs et demandeurs aboutiront à fixer le prix à un niveau minimum pour que les offreurs puissent couvrir l'ensemble de leurs coûts sur le long terme. Lorsqu'il n'y a pas de coûts fixes, le coût marginal de la satisfaction de la demande de clients équivaut au coût de production. Les choses se compliquent lorsqu'*il y a* des coûts fixes.

Le concept traditionnel de coûts fixes date d'une époque où il fallait payer les briques, l'acier et le ciment utilisés pour construire les installations industrielles. Mais le monde a changé depuis lors et avec les entreprises de services, en particulier celles qui assurent des services réguliers, les coûts fixes sont assez différents. Les compagnies aériennes utilisent certes des équipements qui coûtent cher, mais là n'est pas le problème que posent leurs coûts fixes. En fait les coûts des compagnies aériennes sont en grande partie composés de main-d'œuvre – même si le renchérissement du prix des carburants en 2007 et 2008 a quelque peu changé la donne[17]. Ces coûts, au sens traditionnel, sont des coûts variables. Même les avions sont rarement la propriété des compagnies aériennes : ils sont loués, parfois avec équipage (pratique interdite aux États-Unis). Le résultat est que les compagnies aériennes tendent à devenir des « transporteurs virtuels » dont le rôle se réduit à rassembler des ensembles de services possédés par d'autres acteurs et qui ont très peu de coûts fixes au sens économique traditionnel du terme.

Ainsi, dans une entreprise de services moderne, les coûts fixes peuvent prendre une forme entièrement différente. Une compagnie aérienne s'engage sur un service régulier donné environ 6 mois avant le vol : elle s'engage à fournir un avion, un équipage, du carburant, des portes d'embarquement, des créneaux pour l'atterrissage et le décollage, etc. à une heure et en un lieu donnés. L'avantage est que le paiement est le plus souvent perçu avant le moment où la compagnie aérienne assure le service, mais dans un marché extrêmement compétitif, cet avantage est le plus souvent largement amenuisé par la modestie des recettes collectées au total.

Dans les marchés déréglementés, la discrimination tarifaire est monnaie courante : les tarifs appliqués par les compagnies aériennes diffèrent selon les passagers, l'objet étant de maximiser les recettes. En général, cela signifie que les tarifs proposés sont plus bas quand les billets sont achetés un certain temps avant le vol, car les personnes qui voyagent pour leurs loisirs, soucieuses de débourser le moins possible, sont plus flexibles sur les dates et rechercheront des tarifs plus bas s'ils en trouvent. Elles sont captées à l'avance par la compagnie aérienne. À mesure que l'heure du décollage approche, les tarifs augmentent : c'est le moment où les passagers de dernière minute, souvent en déplacement d'affaires, veulent réserver. Ils ont tendance à être moins sensibles au prix, car une rencontre de dernière minute peut être décisive pour obtenir un contrat et le surcoût est généralement compensé par la possibilité de déductions fiscales. Le problème est qu'avec un planning régulier, dans un marché concurrentiel, les différentes compagnies aériennes auront tendance à choisir à peu près les mêmes heures de décollage pour chaque destination. Il en découle que la concurrence est rude pour remplir les sièges et qu'elles sont contraintes de baisser leurs tarifs jusqu'à des niveaux qui ne permettent pas de couvrir la totalité des coûts du service[18]. Dès lors qu'on peut trouver une personne disposée à payer le coût marginal de son voyage, il est préférable de remplir un siège s'il est disponible.

Le problème est exacerbé lorsqu'il est envisagé sur l'ensemble d'un cycle économique et lorsqu'il y a de nouveaux entrants sur les marchés. Sur la longue période, les entrées sur le marché et la disparition de compagnies aériennes déstabilisent le marché. L'investissement est en outre inférieur au niveau optimal, malgré une capacité excédentaire pendant les pics du cycle. Faute de couverture intégrale des coûts, lorsqu'une compagnie aérienne finit par supprimer une liaison ou disparaît, on parle, en analyse économique, de « théorie du noyau vide ». Le concept n'est pas nouveau (élaboré dans les années 1880 par un économiste d'Oxford aujourd'hui oublié, Francis Edgeworth) et son champ d'application est étendu. Au bout d'un certain temps, les investisseurs potentiels, conscients de ce problème, diminuent ou cessent leurs apports de capitaux nouveaux dans le secteur. Mais étant donné la complexité du modèle économique sous-jacent, il n'est pas aisé de communiquer ce problème aux décideurs[19]. Cette situation va également à l'encontre de certaines visions traditionnelles de la politique de la concurrence, selon lesquelles « il n'y aura jamais trop de concurrence ».

La situation actuelle provoque une véritable saignée financière dans des pans entiers du secteur aérien, mais les effets sont différents selon les marchés. Le marché intérieur américain, qui est peut-être celui où la concurrence est la plus âpre, est le plus cruellement touché et, même si on a vu des compagnies « low cost » comme Southwest ouvrir de nouvelles liaisons, les compagnies aériennes sont dans leur grande majorité en recul et suppriment des liaisons, quand elles ne disparaissent pas purement et simplement du marché, comme ATA Airlines et Skybus ou la légendaire Aloha. Les européennes sont aussi

durement frappées par l'augmentation des coûts du carburant (même si certaines, telles Ryanair, British Airways et Air France, enregistraient des bénéfices) tout comme celles du reste du monde, où un transporteur comme Qantas, qui en juin 2007 prévoyait un bénéfice de 1.3 milliard d'USD pour 2008, a revu ses pronostics à la baisse en juin 2008 et anticipé une perte de 1 milliard d'USD.

Face à une telle situation, les compagnies aériennes ont traditionnellement eu recours à différentes mesures, visant le plus souvent à obtenir à court terme une dose de pouvoir monopolistique là où et lorsque la possibilité s'en présentait. Souvent, leurs initiatives étaient une variante ou une extension de stratégies appliquées par le passé lors de précédents reculs du marché, ce qui, on l'a vu, ne leur a pas épargné des difficultés financières à long terme. Les mesures qu'elles ont prises ont elles-mêmes eu un impact sur le marché du transport aérien international. Citons par exemple :

Programmes de fidélisation

Les grandes compagnies aériennes internationales proposent des programmes de fidélisation consistant à offrir aux voyageurs réguliers des vols gratuits et des privilèges, sous forme de surclassement ou d'accès aux salles d'attente d'aéroports. Les « milles » accumulés auprès de transporteurs sont en principe, à quelques réserves près, valables auprès des transporteurs alliés, ce qui permet aux passagers de faire valoir leurs avantages sur une gamme de services plus large. Certains programmes ont commencé récemment à offrir des « milles » sans rapport avec les vols, liés par exemple aux cartes de crédit, aux locations de voiture et aux repas au restaurant. Les compagnies aériennes revendent leurs « milles » à d'autres secteurs, qui les offrent à leurs propres clients pour les remercier de leur fidélité (le marché se chiffrait à 3 milliards USD pour les compagnies aériennes en 2005). Le problème est que cette « monnaie d'échange » a une tendance inhérente à se dévaloriser à long terme, dans la mesure où il faut de plus en plus de « milles » pour acheter des vols et où le choix des vols accessibles de cette manière se réduit. La conséquence est que l'intérêt des programmes de fidélité se trouve diminué et .avec lui la motivation à effectuer plusieurs voyages avec une même compagnie aérienne.

Compression des coûts

Pour prendre l'avantage sur leurs concurrentes, de nombreuses compagnies aériennes ont cherché à rogner sur leurs coûts. Si d'autres transporteurs n'arrivent pas à baisser leurs charges autant qu'elles, soit les tarifs se retrouvent au niveau compétitif des compagnies traditionnelles, à coûts plus élevés, ce qui permet aux compagnies « low cost » d'empocher une marge qui contribue au recouvrement des coûts fixes, soit les compagnies traditionnelles se trouvent évincées du marché. C'est la stratégie que suivent des compagnies internationales « low cost » telles que Ryanair en Europe. Le modèle économique « low cost », qui comporte de nombreuses variantes, est axé sur la capacité d'une compagnie aérienne à supplanter ses rivales et à gagner ainsi de la puissance de marché. Cela suppose généralement de normaliser ses activités (utilisation d'une même famille d'appareils et réseau homogène de services), de maximiser l'utilisation de sa main-d'œuvre, de desservir des aéroports moins fréquentés, de limiter au minimum les « extras » dans le service à bord et à terre, de ne prendre les réservations que par l'Internet, de faire payer les services non essentiels (rafraîchissements par exemple) et de ne proposer qu'une seule classe. De telles mesures permettent de réduire les coûts de 30 % environ par rapport aux compagnies traditionnelles. Les compagnies « low cost » ont ainsi réduit

considérablement leurs coûts et les transporteurs traditionnels se sont vus contraints de suivre leur exemple (Morrison, 2001) avec souvent à la clé des faillites, la renégociation des contrats de travail, le remplacement des appareils anciens par des avions plus économes en carburant, une automatisation accrue et le dégroupage de certains services. Il y a toutefois des limites techniques à respecter pour assurer la sécurité et la sûreté des services et il se pourrait que de nombreuses compagnies aériennes s'approchent de ces limites.

Il y a aussi des enjeux plus fondamentaux. Les compagnies « low cost » qui prennent l'avantage sont souvent les premières à entrer sur le marché en bénéficiant d'une « prime au premier arrivant ». La liste des « low cost » qui ont dû jeter l'éponge en Europe (Tableau 4.3) et ailleurs est longue. L'un des problèmes est qu'à mesure que les transporteurs à bas coûts se développaient, c'étaient sur des marchés de plus en plus étroits et de moins en moins adaptés à leur type de fonctionnement. De plus, avec l'apparition de nouveaux opérateurs, la concurrence entre les « low cost » s'est faite de plus en plus âpre, au détriment des marges (Button et Vega, 2007). Les compagnies traditionnelles ont elles aussi lâché du lest et sont devenues mieux armées pour affronter la concurrence des « low cost » sur leurs liaisons. Le modèle « low cost » va peut-être permettre quelques nouvelles réussites, mais il ne résout pas le problème de l'instabilité du marché. Même si toutes les compagnies aériennes épousaient le modèle « low cost », la concurrence qu'elles se livreraient entre elles éroderait leurs flux de revenus.

Tableau 4.3. **Compagnies low cost européennes qui ont cessé leur activité**
2003 à 2005

Aeris	BuzzAway	Hellas Jet
Agent	Dream Air	Hop
Air Bosnia	Duo	Jet Magic
Air Andalucia	Europe DutchBird	Jetgreen
Air Catalunya	EastJet	JetsSky
Air Exel	EU Jet	JetX
Air Freedom	Europe Exel Aviation Group	Low Fare Jet
Europe Air	Fairline Austria	Maersk Air
Air Littoral	Fly Eco	Now
Air Luxor	Fly West	Silesian Air
Air Madrid	Flying Finn	Skynet Airlines
Air Polonia	Free Airways	Spirit Of Balkan
Air Wales	Fresh Aer	Swedline Express
Airlib Express	Germania Express	V Bird
BasiqAir	GetJet Poland	VolareWeb
BerlinJet	Go Fly	White Eagle
Bexx Air	Goodjet	Windjet

Note : La plupart de ces compagnies aériennes ont fonctionné pendant un certain temps avant de se mettre en faillite. Certaines d'entre elles, comme Go Fly et BuzzAway, ont fusionné avec des « low cost » prospères. Un petit nombre de ces compagnies ont été enregistrées, mais n'ont même pas commencé l'exploitation.
Source : www.discountairfares.com/lcostgra.htm.

Subventions

Les subventions ont longtemps permis de couvrir les coûts en capital. Une fois qu'un investissement est fait, il devient économiquement efficient de maximiser son utilisation, à condition que les utilisateurs soient disposés à payer les coûts marginaux. La tendance actuelle au dégroupage des services constitutifs du transport aérien (par exemple

demander un supplément pour le repas et pour le deuxième bagage enregistré, comme le font certaines compagnies) tend à séparer les activités dans lesquelles les coûts fixes sont concentrés et à faire payer explicitement pour les coûts supplémentaires. Les coûts fixes peuvent ainsi être isolés et les autres services (bagages et repas) sont vendus sur le marché à des prix concurrentiels. Des subventions directes servent ensuite à couvrir les coûts fixes qui ne peuvent pas être financés sur le prix des billets. Toutefois, dans le cas des compagnies aériennes, dont le coût fixe est représenté par l'engagement à un service régulier, il est difficile d'isoler le coût fixe au sens traditionnel. De plus, les subventions, en règle générale, diminuent la motivation à produire de manière efficiente. Si le bénéficiaire sait que les pertes seront couvertes par des sources extérieures, il est moins motivé à limiter ses coûts – c'est un problème d'aléa moral. Il y a, en outre, moins d'incitation à offrir les biens et services que recherchent les consommateurs. Tout cela a fait que les subventions aux compagnies aériennes internationales ont été considérablement réduites.

Puissance de marché institutionnelle

La puissance de marché institutionnelle est liée à l'action soit des gouvernements (comme avec les accords bilatéraux de services aériens en vigueur dans les marchés non régis par des accords Open Skies), soit des acteurs de l'offre qui érigent des obstacles à la concurrence. La puissance de marché peut aussi résulter de fusions entre offreurs ou de l'existence d'un acteur dominant. Dans le contexte des compagnies aériennes, la domination de certains aéroports-pivots par des transporteurs exploitants de réseaux, comme Delta sur l'aéroport d'Atlanta et Northwest sur ceux de Detroit et de Minneapolis, aux États-Unis, leur a valu une certaine puissance de monopole (US Department of Transportation, 2001). Les compagnies aériennes cherchent à s'agrandir en fusionnant ou en formant des cartels ou des alliances stratégiques. Ces alliances, certes nombreuses, n'associent souvent que deux opérateurs sur une liaison unique, mais la majeure partie du trafic international, soit environ 60 % de l'ensemble des passagers, est assurée par des membres de trois alliances mondiales : Oneworld, SkyTeam et Star Alliance (Tableau 4.4). Des associations similaires se retrouvent dans le transport aérien de marchandises : WOW Alliance et SkyTeam Cargo.

Les pouvoirs publics, en particulier les agences de la concurrence et les instances de contrôle des fusions, sont naturellement vigilants à l'égard de la puissance de monopole lorsqu'elle découle de manœuvres des compagnies aériennes elles-mêmes. La réglementation permet d'empêcher un monopole d'exercer une puissance de marché excessive, par exemple en contrôlant les tarifs dans les anciens accords bilatéraux de services aériens ou en bloquant les fusions ou la formation de cartels. Dans le cas le plus extrême, la compagnie aérienne peut être nationalisée. Toutefois, étant donné la situation financière d'un grand nombre de grands transporteurs internationaux, la puissance de marché qui peut découler des alliances et des fusions peut paraître assez limitée et il y a peu de risques qu'elle augmente beaucoup dans ces marchés libéralisés.

Contrats à long terme entre fournisseur et client

La négociation d'un contrat à long terme assurant la couverture des coûts à long terme avec un gros client au moment de la création d'une capacité nouvelle est un bon moyen pour une compagnie aérienne de garantir un flux de revenu couvrant l'essentiel de ses dépenses en capital. Les compagnies aériennes passagers ne recourent guère à ce type de dispositif, pourtant assez fréquent dans d'autres secteurs. Il se retrouve en revanche assez

Tableau 4.4. **Alliances stratégiques entre compagnies aériennes**

	Star Alliance	SkyTeam	Oneworld
Passagers par an	455.5 millions	428 millions	319.7 millions
Destinations	975	841	692
Part du marché mondial	25.1 %	20.8 %	14.9 %
Participants	Adria Airways	Aeroflot	American Airlines
	Air Canada	Aeroméxico	British Airways
	Air China	Air Europa	Cathay Pacific
	Air New Zealand	Air France	Finnair
	ANA	Alitalia	Iberia
	Asiana Airlines	China Southern	Japan Airlines
	Austrian Airlines	Continental	LAN
	Blue1	Copa Airlines	Malév
	BMI	Czech Airlines	Qantas
	Croatia Airlines	Delta	Royal Jordanian
	EgyptAir	Kenya Airways	
	LOT Polish Airlines	KLM	
	Lufthansa	Korean Air	
	SAS	Northwest	
	Shanghai Airlines		
	Singapore Airlines		
	South African Airways		
	Spanair		
	Swiss International Air Lines		
	TAP Portugal		
	Thai Airways International		
	Turkish Airlines		
	United Airlines		
	US Airways		
	American Airlines		

Source : Web-sites des alliances entre compagnies aériennes.

souvent dans le domaine du fret. Ce système s'avère en effet difficile à organiser pour les compagnies aériennes régulières qui assurent du trafic passagers, parce qu'elles garantissent un service à l'avance, puis deviennent de fait transporteurs pour tout trafic disposé à payer les vols. Mais dans certaines villes américaines, des groupes d'hommes d'affaires ont tenté d'assurer des services aériens réguliers avec la garantie d'un remplissage donné pendant une période initiale. À Wichita (Kansas), quelque 400 entreprises ont levé 7.2 millions d'USD pour attirer des transporteurs. Air Tran a démarré en mai 2002 avec des liaisons sur Atlanta et sur l'aéroport Midway de Chicago. L'accord prévoyait jusqu'à 3.0 millions d'USD pour couvrir les pertes pendant la première année et 1.5 million d'USD pendant la seconde. De même, 319 entreprises de Pensacola (Floride) ont réuni 2.1 millions d'USD pour faire venir Air Tran et un consortium de sociétés et de particuliers de Stockton (Californie) a acheté pour une valeur de 800 000 USD de billets pré-payés pour attirer American West (Nolan *et al*, 2005)[20]. Dans un contexte différent, le programme américain Civil Reserve Air Fleet peut être considéré comme un contrat à long terme de fourniture de services de soutien militaires à des compagnies aériennes commerciales.

Intégration verticale

Si un maillon de la chaîne de valeur du transport aérien ne parvient pas à couvrir la totalité de ses coûts à long terme, mais que, globalement, la chaîne est viable, il est possible d'intégrer verticalement la partie déficitaire avec des maillons rentables ou de la faire subventionner par eux. Aux États-Unis, American Airlines avait anciennement lancé Sabre, un système informatique de réservation automatique, activité dont la compagnie aérienne s'est par la suite séparée, mais dont elle a tiré un flux de revenus. Il existait historiquement une relation étroite entre Boeing et Pan American de même qu'entre Lockheed et TWA dans le développement et l'exploitation des appareils. En dehors des États-Unis, des compagnies aériennes détiennent une importante participation dans le système public-privé de contrôle aérien du Royaume-Uni et des transporteurs tels que Lufthansa ont investi dans la restauration et le ferroviaire. Dans certains cas, ces activités génèrent des flux de revenus directs (American Airlines a tiré beaucoup de bénéfices de son système de réservation automatique), mais ce type de participations en amont et en aval de la chaîne procure aussi une certitude de stabilité des coûts et un contrôle sur les intrants, ce qui peut représenter pour le transporteur un avantage au niveau des coûts par rapport à ses concurrents. Les dirigeants de compagnies aériennes sont malheureusement souvent peu aptes à gérer des activités hors de leur cœur de métier. Le cas d'United Airlines avec le loueur de voitures Hertz dans les années 80 offre une illustration des difficultés rencontrées. Ce fait constitue inévitablement une limite au niveau d'intégration que doivent poursuivre les compagnies aériennes avec d'autres éléments de la chaîne.

Discrimination tarifaire

C'est sur le marché intérieur américain du transport aérien que les pratiques de discrimination tarifaire (application de tarifs différents en fonction du prix que les clients sont disposés à payer) sont apparues et se sont développées au point d'être aujourd'hui presque généralisées. Il existe plusieurs formes de discrimination tarifaire, dont la plus poussée est la tarification en temps réel (Dana, 1998) qui fait varier le prix des places à mesure que l'avion se remplit. Grâce à l'utilisation de systèmes informatiques sophistiqués, les billets sont proposés à des tarifs différents et les propositions ne cessent de changer à mesure que les places sont vendues. En règle générale, les voyageurs d'agrément sont relativement sensibles aux tarifs, mais savent à l'avance quand ils souhaitent voyager et les tarifs proposés sont donc plus bas pour ceux qui réservent longtemps avant le vol. A mesure que la date du départ approche, les billets les moins chers se font plus rares et les efforts se recentrent sur la clientèle d'affaires, moins sensible au prix et qui a besoin de souplesse pour organiser ses déplacements. Les conditions liées au siège peuvent également varier : le billet peut être remboursable, surclassable ou donner droit à une place privilégiée à bord de l'avion (par exemple sur la rangée de l'issue de secours) et le tarif est ajusté en fonction de ces facteurs de qualité.

La tarification en temps réel a pour objectif de maximiser les recettes en fixant les prix en fonction du consentement à payer des clients. Par conséquent, les clients les moins sensibles au prix payeront plus cher et contribueront à la couverture des coûts de capital du service, alors que les tarifs seront plus bas pour ceux qui sont disposés à payer moins, couvrant au minimum leurs coûts marginaux. Dans de nombreux secteurs ce système est utilisé pour dégager des bénéfices élevés, mais dans le transport aérien, son principal objet est simplement d'obtenir des rendements acceptables après déduction de l'ensemble des coûts (y compris les coûts d'investissement).

Cela étant, la compagnie aérienne doit bénéficier d'un certain pouvoir de monopole pour pouvoir pratiquer une tarification discriminatoire[21]. Les compagnies aériennes vendaient naguère la majeure partie des billets par l'intermédiaire de leur propre réseau de distribution. Par la suite, lorsqu'elles ont mis en place leurs propres systèmes de réservation automatiques utilisés par les agences de voyages, elles pouvaient contrôler les tarifs, mais pour les clients potentiels, la recherche du billet le moins cher pouvait prendre beaucoup de temps. Les agences de voyages sont aujourd'hui en voie de disparition aux États-Unis (National Commission to Ensure Consumer Information and Choice in the Airline Industry, 2002) comme dans de nombreux autres pays et la réservation en ligne auprès de systèmes de distribution mondiaux a eu raison de l'asymétrie d'information dont bénéficiaient les compagnies aériennes (les clients peuvent facilement se procurer le détail des tarifs et les services et restrictions qui les accompagnent auprès de sites tels que Priceline, Orbitz, Opodo et Travelocity). Il est donc beaucoup plus difficile pour une compagnie aérienne de segmenter sa clientèle pour maximiser ses revenus.

4.6. Progrès technologique

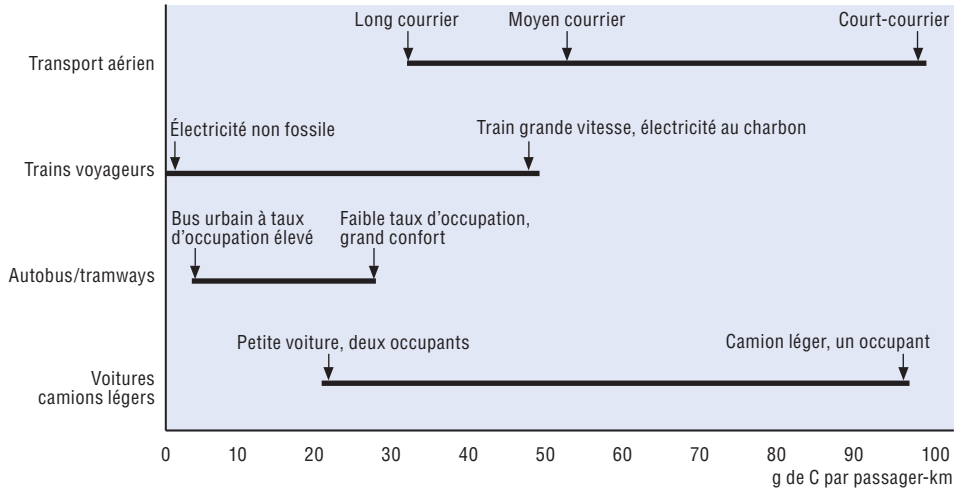
Le transport aérien a connu deux innovations majeures : les moteurs à réaction, qui ont considérablement raccourci la durée des trajets, et les avions gros porteurs, grâce auxquels les compagnies aériennes ont pu réduire leur coût par siège. Ces deux évolutions ont abouti à une baisse du coût généralisé du transport et ont eu une incidence positive sur la demande.

Les moteurs à réaction ont permis des voyages bien plus rapides, mais avec une consommation de carburant accrue. Le rendement énergétique des moteurs à réaction s'est amélioré ces dernières années (les moteurs à pistons étaient plus économes en carburant que les premiers moteurs à réaction). Selon l'IATA, la consommation de carburant et les émissions de CO_2 ont diminué de 70 % par passager/kilomètre par rapport aux années 70 (*www.iata.org*). L'objectif du secteur d'améliorer de 10 % son rendement énergétique (et de réduire, partant, les émissions de CO_2) entre 2000 et 2010 devrait très certainement être atteint et l'IATA prévoit d'ailleurs une réduction de 25 % de la consommation de carburant par tonne/kilomètre payante (TKP) entre 2005 et 2020.

Il ressort du graphique 4.9 que, comme l'IATA l'avance, le transport aérien peut avoir un rendement énergétique par kilomètre comparable à celui du trafic routier. Il convient toutefois de faire deux remarques. Premièrement, les avions émettent du CO_2 et des NO_x à leur altitude de croisière, soit près de la tropopause (limite de la troposphère et de la stratosphère). Selon l'altitude de croisière, les NO_x rejetés peuvent contribuer à la production du gaz à effet de serre qu'est l'ozone (troposphère) ou à la destruction de l'ozone, ce qui accroît l'exposition aux rayons UV (stratosphère) (Royal Commission on Environmental Pollution, 2007). D'après le GIEC, il y a une augmentation de l'ozone aux altitudes de croisière des avions subsoniques, tandis que les modifications prévues en ce qui concerne les rayons UV sont minimales (Royal Commission on Environmental Pollution, 2007).

Deuxièmement, le transport aérien couvre généralement des distances plus longues que le transport routier. D'aucuns pourraient supposer que du fait des plus longues distances parcourues, les impacts environnementaux sont plus importants, mais pour trancher la question il convient d'examiner le total de passagers/kilomètre. D'après l'IATA, les modes de transport considérés dans leur ensemble représentent 23 % des émissions de

Graphique 4.9. **Intensité des émissions de CO_2 du transport de passagers**



Source : Penner *et al.* 1999.

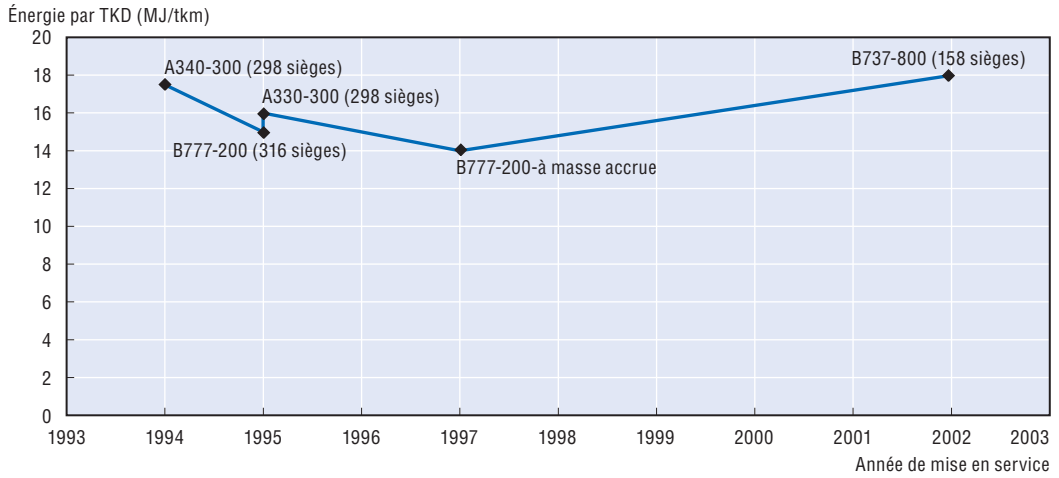
CO_2 globales (*www.iata.org*). Le transport routier est responsable de la grande majorité (74 %) des émissions de CO_2 du secteur des transports du fait de l'ampleur de l'utilisation de ce mode à l'échelle de la planète. Le transport aérien représente quant à lui 12 % des émissions de CO_2 du secteur des transports, soit environ 3 à 4 % des émissions totales de carbone (Penner *et al.,* 1999). Même si l'offre de transports aériens internationaux bon marché (vols à bas coût et indirects) peut entraîner une hausse des émissions de CO_2, la multiplication des trajets courts parcourus en voiture (par exemple pour les déplacements journaliers domicile-travail) semble pouvoir être à l'origine d'une augmentation bien supérieure des émissions de CO_2. En définitive, comme mentionné précédemment, la concentration sur les marchés de l'aviation est synonyme d'allongement des vols et d'augmentation du nombre d'escales impliquant, pour de nombreux passagers, des atterrissages et décollages qui ont des taux de consommation de carburant différents (Pejovic *et al.,* 2008). La consommation de carburant lors du décollage et de l'atterrissage est très supérieure à celle enregistrée au cours de la montée, de la croisière et de la descente, si bien que les configurations de réseaux avec des vols indirects ont des impacts environnementaux assez considérables.

Les effets environnementaux de la croissance de l'aviation peuvent être atténués par les développements technologiques, améliorant par exemple l'efficacité des moteurs. Il est souvent fait état dans la littérature spécialisée d'une augmentation du rendement énergétique de 70 % entre 1960 et 2000. Peeters *et al.* (2005) considèrent que cette amélioration de 70 % qui est souvent citée, notamment par le GIEC (Penner *et al.*, 1999), est quelque peu optimiste, car elle prend comme avion de référence un De Havilland Comet 4, alors que ce dernier n'a été utilisé que peu de temps et n'a gagné que peu de parts de marché. Si l'on utilise pr contre comme référence le Boeing 707 bien plus répandu, l'amélioration du rendement du carburant n'est pas de 70, mais de 55 % sur la période considérée. Si l'analyse de Peeters *et al.* (2005) confirme bien que l'efficacité énergétique des avions à réaction s'est améliorée, les auteurs concluent également que l'objectif pour 2020 évoqué par l'ATAG (2005), à savoir une réduction annuelle de la consommation de carburant par siège/kilomètre disponible de 3 %, est probablement trop optimiste. Peeters *et al.* (2001) soulignent qu'au cours des dernières décennies, le progrès technologique a principalement porté sur les

avions de taille moyenne ou petite. Si l'on considère que ces avions sont utilisés sur des lignes courtes à moyennes, il s'ensuit qu'il y a eu relativement peu d'avancées sur les vols long courriers (internationaux). Cependant de nouveaux avions (notamment les B777 et A380) permettent désormais des progrès sur les marchés internationaux.

Pour ce qui est de la consommation de carburant de certains avions courants, exprimée en tonnes/kilomètre disponibles (graphique 4.10), il apparaît que les avions plus petits (en nombre de passagers transportés) consomment plus d'énergie. Toutefois la quantité d'observations est trop faible pour établir une relation statistique fiable.

Graphique 4.10. **Consommation de carburant par tonnes/km disponibles**



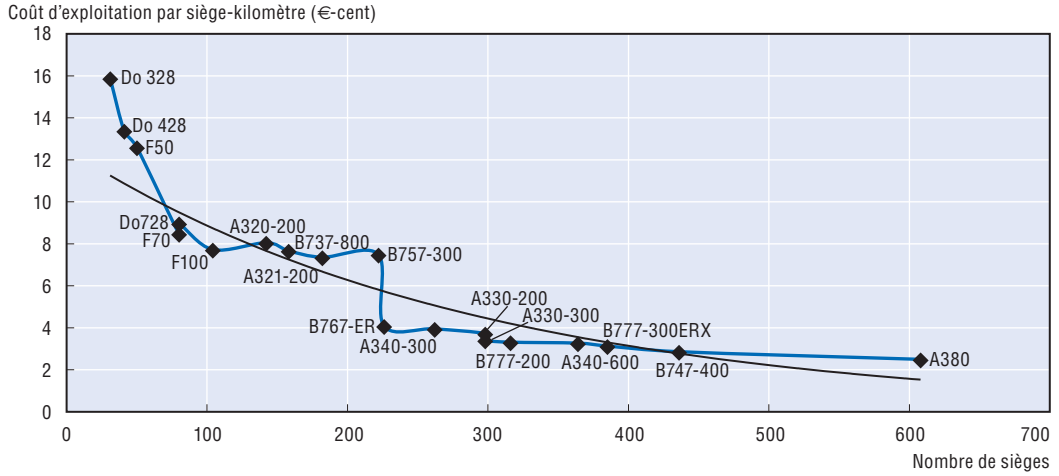
Source : Adapté de Peeters *et al.* (2005).

Les réseaux en étoile concentrent un nombre de plus en plus grand de passagers sur un nombre relativement limité de liaisons. Les avions plus gros ayant un coût d'exploitation par siège moindre (voir graphique 4.10), les compagnies aériennes peuvent réduire leurs coûts. En outre, s'il y a des économies d'échelle sur le plan environnemental (voir par exemple Schipper, 2004), c'est-à-dire qu'un avion de 300 places produit moins de CO_2 ou de nuisances sonores par siège que deux avions de 150 places, comme le suggère le graphique 4.11, des avions plus gros présentent également des avantages du point de vue écologique.

Il est intéressant de noter que la taille moyenne des avions assurant les liaisons transatlantiques a grimpé jusqu'à environ 320 sièges en 1985 et est ensuite rapidement retombée à quelque 260 sièges en 1995. Elle augmente à nouveau régulièrement depuis 1995 et devrait s'établir à environ 300 sièges en 2010 (Penner *et al.*, 1999). Brueckner et Zhang (1999) indiquent que la fréquence des services au sein des réseaux en étoile pourrait être augmentée pour attirer davantage de trafic et faire face à la concurrence. Le marché pourrait connaître une surcapacité si plusieurs concurrents proposent une fréquence élevée. Pour y remédier, les compagnies aériennes peuvent utiliser des avions plus petits.

En résumé, le développement des moteurs à réaction a permis de voyager plus rapidement, mais avec un rendement énergétique moindre. Quoique ce rendement se soit amélioré au cours des dernières décennies, il est permis de s'interroger sur la pertinence du calcul de l'amélioration estimée à 70 % dans la mesure où il est établi par rapport au

Graphique 4.11. **Coût d'exploitation par siège**



Source : Adapté de Connekt (2001).

De Havilland Comet 4. Si l'on prend comme référence des avions à réaction plus répandus, l'amélioration de l'efficacité est en effet moindre. L'utilisation d'avions gros porteurs a impliqué une baisse du coût par siège du fait des économies de densité réalisées et pourrait induire une diminution du coût environnemental par siège grâce aux économies d'échelle sur le plan écologique. La mise en place de réseaux en étoile concentre d'importants flux de passagers sur un nombre limité de liaisons, ce qui permet d'utiliser des avions assez gros. Les réseaux en étoile sont donc susceptibles d'entraîner des réductions des dommages environnementaux par siège en rendant possible l'utilisation d'avions de plus grande capacité. Cependant, les réseaux en étoile sont centrés sur de grands aéroports souvent engorgés. Par ailleurs, les trajets indirects des passagers génèrent une pollution assez conséquente du fait de l'allongement des distances et, surtout, de la multiplication des décollages et des atterrissages.

4.7. Une situation en pleine évolution

La difficulté vient de ce que le transport aérien international sera influencé par des tendances déjà engagées, mais aussi par des ruptures de tendance et par de nouvelles tendances. S'il est généralement possible d'extrapoler les tendances déjà installées, les économistes et les autres observateurs sont incapables de projeter les ruptures de tendance ou les implications de tendances nouvelles. L'accent sera donc mis dans les paragraphes qui suivent sur les tendances émergentes et l'impact qu'elles exercent sur le devenir du transport aérien international dans le contexte d'une mondialisation qui progresse et semble destinée à se poursuivre. Quelques prévisions relatives au domaine public amènent à mettre un facteur extrêmement important en lumière, à savoir le rôle des politiques publiques, en particulier en matière d'environnement. Il s'agit d'un thème émergent de préoccupation dans le monde entier, avec notamment les gaz qui accentuent le réchauffement planétaire. À un niveau local, ces préoccupations environnementales posent le problème de la fourniture d'infrastructures, particulièrement aéroportuaires. La demande croissante de services internationaux de transport aérien nécessitera la construction de capacités supplémentaires, mais celle-ci se heurte généralement à une opposition locale virulente. Les questions environnementales seront examinées dans le chapitre 7.

Prévisions de trafic

Les acteurs du transport aérien ont besoin de prévisions : les compagnies aériennes doivent planifier leur stratégie commerciale, les constructeurs d'équipements tels que les cellules et les réacteurs doivent préparer leurs calendriers d'investissement et de production, les fournisseurs d'équipements au sol ainsi que les aéroports et les contrôleurs de trafic aérien peuvent être amenés à adapter leur capacités et les responsables de l'aménagement du territoire et des transports terrestres doivent mettre à niveau les réseaux routier et ferré pour assurer la desserte des aéroports. Les pouvoirs publics en ont également besoin pour développer les structures institutionnelles et réglementaires générales. Les prévisions internationales s'appuient généralement sur les grandes tendances des indicateurs économiques, notamment la croissance du PIB mondial, et sur l'évolution des échanges et du tourisme. En raison des chocs imprévus qui peuvent affecter le marché de l'aviation, elles ne sont pas d'une grande précision à court terme, mais une grande partie de ceux qui utilisent ces prévisions se préoccupent principalement de connaître le volume et la structure futurs du trafic aérien. Comme c'est souvent le cas dans le domaine des transports, les prévisions n'intègrent pas vraiment les effets de rétroaction, notamment les contraintes liées à la capacité ou l'évolution des prix des intrants, et sont surtout des extrapolations[22].

D'après les prévisions dont on dispose actuellement – qui ont normalement un horizon de vingt ans – le transport aérien continuera de progresser à un rythme variable dans les différents marchés géographiques et pour les différents types de trafic (passagers et fret, par exemple). Voici des exemples de prévisions récentes.

Boeing Commercial Airplane (2007) actualise chaque année ses prévisions. D'après ses pronostics, le trafic passagers (en fait le nombre de passagers/kilomètre payants) va augmenter de 5.0 % et le trafic marchandises de 6.1 % par an pendant les 20 prochaines années. (Le chiffre doit être comparé aux 4.8 % annuels de croissance du trafic passagers enregistrés pendant les vingt dernières années, mais la prédiction pour le fret est en revanche à peu près conforme à la tendance historique). Comme Boeing prévoyait que le nombre de passagers allait progresser de 4 % par an seulement, l'augmentation de la composante long courrier sera donc plus forte. En termes de flotte commerciale mondiale, Boeing prévoyait qu'elle passe de 18 230 appareils en 2007 à 36 420 en 2026. En termes de marchés géographiques, Boeing avançait que la demande de transport de passagers augmentera, par an, de 4.2 % en Europe, 4 % en Amérique du nord et 6.7 % dans la région Asie–Pacifique (et 8 % même en Chine).

Les prévisions agrégées d'Airbus (2007) sont très proches de celles de Boeing : le trafic passagers mondial devrait augmenter de 4.9 % par an sur la période de 2007 à 2026 avec un doublement de la fréquence des vols. Cela implique que la flotte aérienne commerciale totale mondiale (avions à passagers, depuis les appareils de 100 places jusqu'aux très gros porteurs, et avions cargos) passerait de 14 980 appareils fin 2006 à près de 33 000 d'ici à 2026[23]. La demande de trafic passagers va presque tripler et les compagnies aériennes vont plus que doubler leur flotte passagers (avions de plus de 100 places) qui passera de 13 284 appareils en 2006 à 28 534 en 2026. S'agissant des marchés géographiques, Airbus estime que l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Asie-Pacifique recevront respectivement 24, 27 et 31 % des nouveaux appareils.

En ce qui concerne l'infrastructure, Airbus estime que 93 grands aéroports dans le monde fonctionnent à pleine capacité, cumulant 63 % du trafic passagers. On pense à

l'aéroport de Heathrow à Londres, dont les pistes fonctionnent à 99 % de la capacité autorisée. Ces prévisions supposent implicitement une expansion de la capacité soit par agrandissement physique, soit par une meilleure utilisation des installations existantes.

D'après les prévisions à court terme de l'IATA en 2007 (établies à partir d'une enquête auprès des compagnies aériennes), la croissance de la demande de trafic passagers et fret continuera de dynamiser les revenus des compagnies aériennes entre 2007 et 2011, mais les profils de croissance vont varier. Par rapport à 2006, la croissance du trafic passagers international devrait se ralentir légèrement, celle du trafic passagers intérieur s'accélérer un peu et celle du trafic fret international se poursuivre comme avant. La croissance du trafic passagers international devait demeurer soutenue, avec une augmentation du nombre de passagers de 5.1 % par an entre 2007 et 2011, soit un ralentissement par rapport aux 7.4 % de croissance annuelle observés entre 2002 et 2006. La demande sera pénalisée par l'essoufflement de la croissance économique mondiale, mais sera aussi dopée par la libéralisation des marchés et l'émergence de nouvelles liaisons et de nouveaux services. La croissance du trafic passagers intérieur devrait marquer une légère reprise, avec une progression annuelle de 5.3 % entre 2007 et 2011, tirée par la forte croissance des marchés des lignes intérieures chinoises et indiennes. Le trafic fret aérien devrait progresser de 4.8 % par an, soit moins qu'entre 2002 et 2006, mais pratiquement au niveau de croissance de 2006 (5.0 %).

Mondialisation des marchés du travail, migrations et transport aérien international

Le rôle du transport aérien international n'a cessé d'évoluer depuis l'époque de l'Aéropostale, où il était presque uniquement associé au transport du courrier urgent. Par la suite, il est devenu d'abord un mode de transport pour voyageurs privilégiés ainsi qu'un moyen pour les États d'atteindre les confins de leur sphère d'influence. Le développement des échanges qui a suivi la Seconde Guerre mondiale en a fait ensuite le mode de prédilection du voyage d'affaires longue distance avant qu'il soit adopté par les masses pour le tourisme et le voyage d'agrément, grâce à la baisse des coûts, à l'augmentation du temps libre permise par le progrès technique, à la réforme de la réglementation et à la hausse du revenu disponible qui a stimulé le tourisme. Le transport aérien international conserve toutes ces fonctions, mais doit maintenant en assumer une nouvelle, qui pourrait s'avérer aussi importante à l'avenir, à savoir la facilitation des migrations de main-d'œuvre. (Button et Vega, 2008).

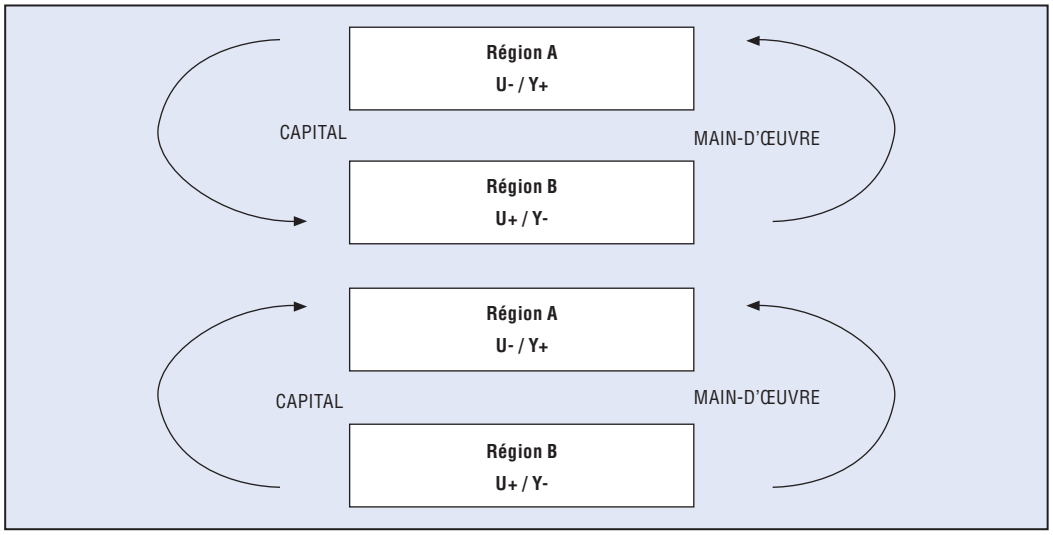
La main-d'œuvre migre davantage, à tel point qu'environ 3 % de la population mondiale vit aujourd'hui hors de son pays d'origine pendant au moins un an. Le rôle joué par le transport dans le déplacement de ces migrants dépend d'une série de facteurs, mais la distance et le revenu des migrants sont des facteurs critiques. Une grande partie des flux migratoires implique aujourd'hui des pays en développement (la Banque mondiale estime qu'en 2005, deux migrants sur cinq résidaient dans un pays en développement et que la plupart d'entre eux étaient originaires de pays en développement)[24]. Il s'agit souvent de distances relativement courtes entre pays limitrophes. Par conséquent, il semble que le transport aérien ne joue pas un rôle considérable pour ce groupe numériquement très important. Dans les mouvements migratoires entre pays en développement et pays à plus haut revenu, il y a probablement plus de place pour l'avion. Les deux principaux couloirs de migration du monde (entre le Mexique et les États-Unis et entre le Bangladesh et l'Inde) sont desservis en grande partie par des modes terrestres, mais pour des raisons géographiques, les trois couloirs de migration suivants en importance (entre la Turquie et

l'Allemagne, entre l'Inde et les Emirats Arabes Unis et entre les Philippines et les États-Unis) empruntent beaucoup l'avion.

Le profil des migrations de main-d'œuvre a également évolué et il peut être différent d'un couloir de migration à l'autre. Les travailleurs migrants asiatiques, par exemple, qui se dirigeaient en majorité vers le Moyen-Orient, sont passés à un flux intra-asiatique dans les années 90. Ces migrants asiatiques se déplacent le plus souvent avec un contrat à durée déterminée en poche et migrent donc majoritairement à titre temporaire, mais il y a toujours un flux limité de migration permanente ou de longue durée vers l'Australie et la Nouvelle-Zélande. La plupart des travailleurs migrants d'origine asiatique sont non qualifiés ou peu qualifiés et occupent des emplois dans le secteur du bâtiment et des emplois domestiques (femmes surtout).

Il existe deux grandes théories des migrations, qui sont représentées dans le graphique 4.12 (Hart, 1975a, b)[25]. On suppose deux régions, **A** et **B**. Dans **A** les revenus sont élevés (Y+) et le chômage faible (U-) et dans **B**, la situation est inverse. D'après le modèle classique, pour un coût des migrations égal à zéro, la main-d'œuvre ira de **B** en **A** à la recherche d'emplois et de meilleures rémunérations et le capital ira de **A** vers **B**, où il peut être combiné avec une main-d'œuvre abondante et bon marché pour une rentabilité maximale. Le processus se poursuit jusqu'à ce que les coûts de travail et les niveaux d'emploi soient égalisés[26].

Graphique 4.12. **Deux visions possibles des conséquences des migrations**



L'autre approche est d'orientation essentiellement keynésienne et est liée, dans sa forme actualisée, à la Nouvelle théorie de la croissance. Partant des positions initiales pour nos deux régions, elle affirme non seulement que l'égalisation des salaires réels et des niveaux d'emploi ne sera jamais atteinte, mais aussi qu'ils évolueront dans certains cas dans des sens divergents. La mobilité du travail sera entravée par les différents coûts des migrations (c'est-à-dire, outre les simples coûts financiers, les coûts sociaux et les coûts de recherche) et par l'hétérogénéité du marché du travail (les emplois disponibles dans la région **A** ne correspondent pas aux qualifications de la main-d'œuvre de la région **B**). De même, les capitaux ne se déplacent pas de la région **A** vers la région **B** parce que c'est dans

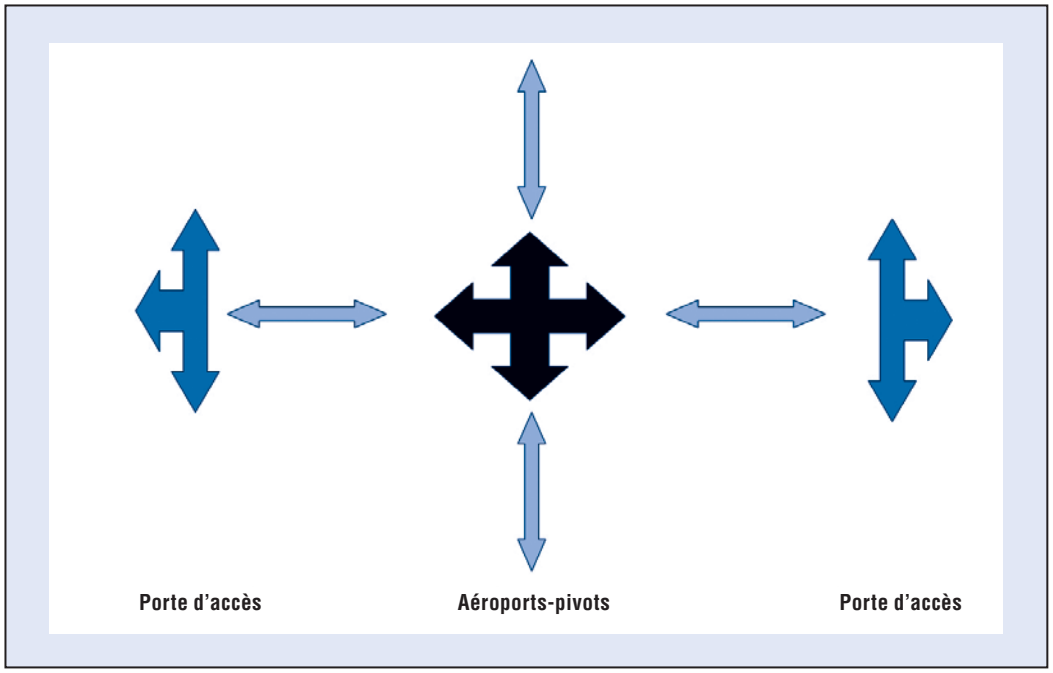
les régions déjà très prospères que l'on trouve les plus fortes rentabilités. La formulation initiale de ce type de modèle dans les années 60 mettait l'accent sur les économies d'échelle réalisables dans les régions riches reposant sur une assise financière plus solide, mais avec l'évolution de la nature de l'industrie, le facteur prépondérant est devenu la capacité des économies avancées, basées sur le savoir, à faire continuellement avancer les limites de la technologie et à prendre le pas sur les autres régions. (Button, 2009b).

Le transport a un rôle différent dans ces deux modèles. Dans le cadre classique, il est considéré (comme dans la théorie classique des échanges) comme universellement disponible et gratuit. Dans le modèle d'inspiration keynésienne, il est considéré comme un coût de transaction important qui a une influence sur la fluidité des marchés du travail en ce sens que les coûts de transport pèsent sur les décisions de mobilité de la main-d'œuvre, mais que le marché du travail est en équilibre à maints autres égards. Il existe une hypothèse sous-jacente selon laquelle à court terme, il peut y avoir inadéquation entre les réservoirs de qualifications disponibles et la demande de différents types de main-d'œuvre, mais à long terme, cette inadéquation est résolue à la fois par les migrations et par les ajustements naturels des réservoirs de main-d'œuvre de chacun des marchés du travail.

Traditionnellement, les migrants peuvent choisir l'une des trois solutions suivantes : rester définitivement dans le même pays d'accueil (migrants permanents), partir dans un autre pays (ré-émigration) ou retourner dans leur pays d'origine au bout d'un certain temps[27]. Mais ces définitions soulèvent un certain nombre de problèmes dans un contexte plus mondialisé où la mobilité est plus facile. Autrefois, les migrants n'avaient guère d'autre choix que de devenir des migrants permanents, parce que le transport était extrêmement cher. Par la suite, de nombreux « migrants », appelés « travailleurs migrants », en Allemagne dans les années 70, étaient souvent peu qualifiés, avec des contrats de courte durée. Dans beaucoup de pays, cette situation n'a plus cours[28]. À l'échelle mondiale, il y a aussi eu des tentatives de libéralisation des déplacements temporaires des travailleurs du secteur des services, dans le cadre de l'Accord général sur le commerce des services (AGCS), mais cette libéralisation est parcellaire et concerne surtout les travailleurs hautement qualifiés qui sont plus susceptibles de voyager par avion s'ils deviennent des migrants temporaires.

Jusqu'au milieu du siècle dernier, les migrants devaient, d'une manière ou d'une autre, passer par une « porte d'accès », qui pouvait être géographique ou institutionnelle, comme Ellis Island aux États-Unis (Button, 2007). Ces portes d'accès se sont peu à peu dispersées à mesure qu'il devenait plus facile pour les migrants de les franchir et de couvrir la distance qui les séparait grâce au développement des systèmes de transport. Le graphique 4.13 représente la vision traditionnelle des portes d'accès (Burghardt, 1971). Aux États-Unis, par exemple, les deux villes d'accès au milieu des années 1880 étaient traditionnellement New York sur la côte est et San Francisco sur la côte ouest. Une fois à l'intérieur du pays, les migrants continuaient leur périple vers l'intérieur du continent, souvent en passant par un carrefour comme Chicago. Les transports ferroviaires ont beaucoup contribué à ce mouvement. Ce type de stratégie était lié à la nature du transport maritime de l'époque ainsi qu'aux barrières institutionnelles. Les portes d'accès étaient des obstacles difficiles à franchir et l'immigration, quoiqu'importante, n'était pas aisée. Pour la grande majorité des individus, il n'était pas question de retourner au pays ou de rendre visite à des proches restés en arrière, même s'ils avaient réussi leur intégration dans leur nouveau pays.

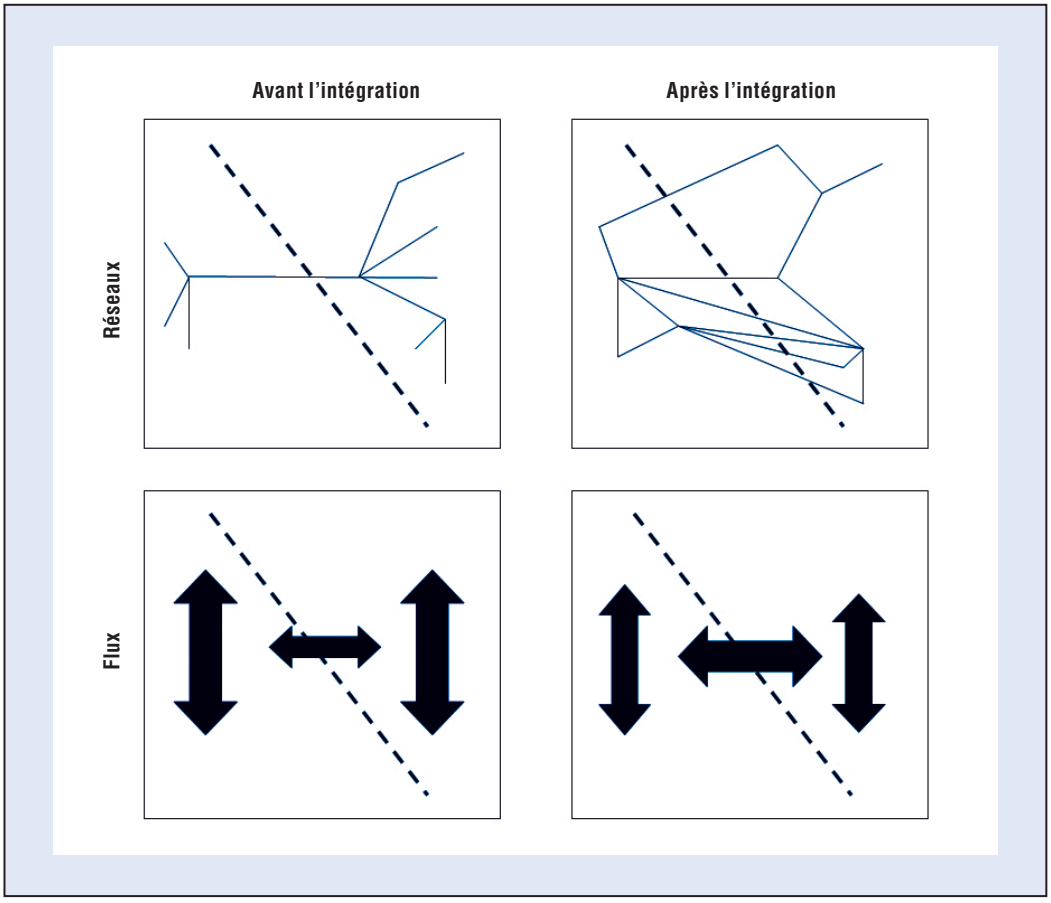
Graphique 4.13. **Portes d'accès**



Les changements institutionnels et techniques, en particulier ceux qui se sont produits ces trente dernières années, ont complètement changé la donne (Rodrigue, 2006). La rapidité et la flexibilité du transport aérien ont raccourci les distances non seulement entre pays d'accueil (États-Unis, par exemple) et pays d'émigration, mais aussi entre différents lieux d'installation à l'intérieur du pays d'accueil. Les systèmes « Open Skies » ont également ouvert de nouvelles portes d'accès dans le pays. Le graphique 4.14 illustre de façon simple les différents types de conséquences que ces changements ont sur les flux de trafic aérien. La partie gauche du diagramme schématise la situation qui prévalait avant le développement des services de transport aérien, avec un nombre restreint de portes d'accès entre les pays **A** et **B** (la ligne qui traverse la frontière internationale en pointillés), ainsi que le type de déplacements internes observés. La moitié supérieure de ce côté de le graphique fait apparaître que les migrations de main-d'œuvre se font, pour l'essentiel, à l'intérieur des pays concernés et qu'il n'y a pas beaucoup de mobilité internationale.

Dans les pays **A** et **B**, les réformes du transport aérien intérieur ont stimulé de nouveaux types de mobilité intérieure de la main-d'œuvre, notamment les migrations alternantes à longue distance, avec la baisse des tarifs aériens induite par l'arrivée des opérateurs « low cost » et la multiplication des services. Au niveau international, les points de passage frontaliers pour la migration de main-d'œuvre se sont multipliés, ce qui a, par contrecoup, eu un nouvel impact sur la nature et la structure des migrations internes. Ces flux transfrontaliers se sont eux aussi modifiés, avec une augmentation des déplacements des migrants temporaires et du nombre d'allers et retours, les migrants profitant des tarifs aériens bon marché pour retourner en visite dans leur pays d'origine. La résultante en est la croissance relative des migrations internationales (représenté dans le bas de le graphique 4.14).

Graphique 4.14. **Conséquences des portes d'accès sur les réseaux et les flux de transport aérien**



Dans de nombreux cas, y compris dans beaucoup de régions de l'Union européenne, la libéralisation des marchés du travail permet aux travailleurs de choisir leur lieu de travail. Même lorsque des restrictions subsistent sur la mobilité du travail, certains États ouvrent leurs frontières aux travailleurs qui possèdent des qualifications dont ils ont besoin. Il en résulte, depuis quelques dizaines d'années, une évolution de la nature des migrations de la main-d'œuvre : les migrations à long terme font place à des migrations plus temporaires, séquentielles et cycliques. Les migrations alternantes à longue distance ont également augmenté, avec leur lot de retours réguliers, hebdomadaires ou moins fréquents dans le pays d'origine. Dans beaucoup de cas, c'est très probablement l'avion qui facilite ces évolutions. L'évolution de la disponibilité, des fréquences et du coût des voyages aériens a dans de nombreux cas également modifié le volume et la composition des migrations de la main-d'œuvre (notamment en augmentant sa mobilité et en multipliant les migrations temporaires). La migration initiale devient elle-même plus acceptable et la baisse du coût du retour réduit le coût social à long terme lié à l'éloignement des proches[29].

Les réformes de la réglementation des transports aériens ont permis de surmonter une grande partie des limitations qui affectaient le transport aérien en tant qu'acteur important de la mobilité de masse. Le prix élevé des billets constituait un obstacle majeur au voyage en avion, de même que la fréquence insuffisante des vols et certains aspects

pratiques. Les compagnies « low cost », avec leur effet d'entraînement sur les opérateurs historiques, ont changé la donne. Elles ont donc eu un impact sur les marchés du travail à plusieurs égards, mais principalement par la réduction des coûts de déplacement qui a rendu l'avion plus accessible. En fait, elles ont réduit les coûts de transaction des migrations internationales de la main-d'œuvre et contribué à accroître la mobilité des facteurs en modifiant l'équilibre entre les coûts et les avantages des migrations. Pour certains, le coût de l'éloignement du lieu d'origine est élevé (stress mental et physique, coût de la séparation, etc.) tandis que pour d'autres, ce peut être le coût du voyage qui joue un rôle plus décisif. Pour tous, l'avion diminue les coûts de la migration : il donne à certains la possibilité de voir leurs proches plus souvent et à d'autres la faculté d'au moins parvenir à leur destination. Il y a aussi une demande induite de migrations justement suscitée par cette baisse des coûts du transport aérien.

Les compagnies aériennes ont dû évoluer pour relever les défis posés par les nouvelles exigences liées à la libéralisation des marchés internationaux du travail. L'existence de liaisons bon marché au départ d'un aéroport proche semble modifier l'idée que les consommateurs se font du voyage en avion en général et a par conséquent un effet sur les habitudes de déplacement. Beaucoup de compagnies, telles que Ryanair qui dessert en Europe un grand nombre de petits aéroports avec une structure de liaisons radiales, ne se bornent plus à déplacer des gens qui partent en vacances ou se rendent dans leur résidence secondaire, mais semblent aussi inciter davantage de personnes à chercher du travail à l'étranger et pouvoir simplifier la vie de ceux qui travaillent loin de chez eux. Wizz Air, l'opérateur hongrois, leader parmi un certain nombre de compagnies « low cost », transporte des cohortes de Polonais et de Hongrois vers l'Europe de l'Ouest à des tarifs minimums inférieurs à 20 EUR taxes comprises l'aller simple. Près d'un million d'Européens de l'est se sont ainsi installés en Grande-Bretagne, en Irlande, en Suède, en Allemagne et dans d'autres pays entre 2004 et 2008, période pendant laquelle l'Union européenne est passée de 15 à 25 États membres.

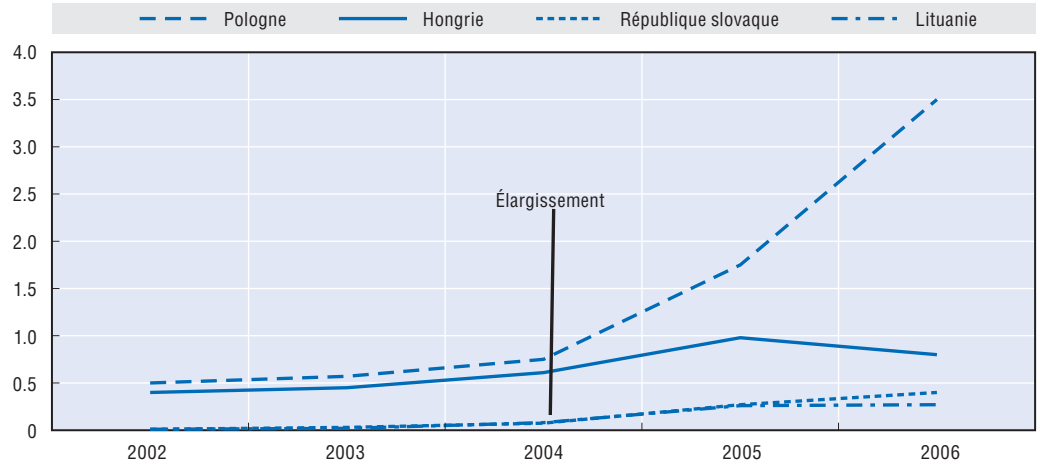
Le graphique 4.15 illustre l'augmentation du trafic aérien depuis certains pays d'émigration vers le Royaume-Uni sur les liaisons où des compagnies « low cost » ont développé leur activité ; il s'agit non seulement de Wizz, mais aussi de Centralwings (filiale de Lot Polish Airlines), de l'ancienne compagnie slovaque SkyEurope Airways et d'autres encore. Ainsi, alors que l'on comptait en 2000 cinq liaisons régulières entre la Pologne et le Royaume-Uni, elles étaient 27 en 2006, reliant 12 villes polonaises et 12 aéroports du Royaume-Uni (UK Civil Aviation Authority, 2006).

Le rapport de causalité entre l'évolution du marché des compagnies aériennes et la structure des migrations de la main-d'œuvre n'est pas unidirectionnel. De plus en plus de travailleurs travaillent loin de leur domicile et les compagnies aériennes ont réagi en créant, à côté des catégories « hommes d'affaires », « touristes » et « passagers rendant visite à des parents ou des amis », une nouvelle catégorie de passagers dits « ethniques » pour exprimer la « diversité culturelle » que recouvre ce type de trafic. Beaucoup de transporteurs ont même modifié leur modèle économique pour s'adapter à ces « passagers ethniques » chez qui la fiabilité et la relative prévisibilité de la demande compensent la relative modicité des tarifs qui leur sont appliqués. Ces « passagers ethniques » sont la cible privilégiée de compagnies « low cost » telles que Wizz et SkyEurope Airlines.

Les statistiques officielles ne rendent pas compte de cette sous-catégorie particulière de passagers, mais on peut obtenir des données sur la croissance de ce trafic « ethnique »,

du moins en Europe, en analysant l'évolution du nombre de « passagers rendant visite à des parents ou des amis » dont l'augmentation est due pour l'essentiel aux visites d'expatriés dans leur pays d'origine. Si l'on compare le nombre de passagers qui ont atterri dans deux aéroports majoritairement « low cost » du Royaume-Uni, à savoir Stansted et Luton, en 2000 et 2004, il apparaît que le nombre de « passagers rendant visite à des parents ou des amis » y a progressé de 198 % et que ces passagers y sont désormais les plus nombreux. La tendance semble être la même au niveau national au Royaume-Uni puisque ces passagers représentaient 2.5 % des passagers en provenance de l'Union européenne en 1997 (l'Union comptait alors 15 États membres) et environ 15 % en 2005 (pourtant dans une Union à 25).

Graphique 4.15. **Transport aérien entre le Royaume-Uni et quelques économies en transition**



Source : UK Civil Aviation Authority (2006).

Modèle économique des compagnies aériennes

La fourniture de services de transport aérien permet d'importantes économies d'échelle, de densité et de portée sur le plan des coûts et de présence sur le marché sur le plan de la demande. Cela étant, beaucoup de grandes compagnies aériennes ont adopté des structures en étoile, tout particulièrement lorsqu'elles assurent un grand nombre de liaisons long-courriers. Dans le marché du court-courrier, le développement des transporteurs « low cost », tels que Southwest Airlines aux États-Unis et Ryanair en Europe, qui assurent un service très basique soit sur des liaisons point-à-point à la façon d'une ligne de bus (les économies de portée et d'échelle s'expliquant par des facteurs de remplissage élevés grâce à la combinaison d'une série de segments courts), soit sur des liaisons radiales (la compagnie assurant une série de liaisons sans escale au départ d'un aéroport), a eu un impact négatif sur la viabilité des transporteurs qui opéraient sur un réseau en étoile.

Les compagnies aériennes font certes preuve de solidité et d'adaptabilité depuis quelques dizaines d'années, mais les nouvelles avancées de la mondialisation semblent aujourd'hui imposer une redéfinition des modèles existants. Plusieurs compagnies semblent prêtes à expérimenter des modèles différents, mais il est difficile de dire

aujourd'hui ce qui en ressortira. Les tendances actuelles peuvent néanmoins nous donner quelques indications.

Les compagnies exploitantes de réseaux se sont détournées des marchés du court courrier au profit des liaisons long-courriers internationales et, comme le suggèrent les prévisions de Boeing, Airbus et d'autres acteurs du secteur, cette tendance devrait se poursuivre. Pour les compagnies aériennes américaines, par exemple, ce phénomène est apparent même sur le court terme, puisque entre janvier/mai 2007 et janvier/mai 2008, le trafic international passagers s'est accru de 5.7 % alors que le trafic passager intérieur diminuait de 1.9 %[30] (voir graphique 4.14). Première possibilité : l'augmentation du trafic laisse la structure du réseau inchangée (comme dans la partie en haut à gauche du graphique), le surplus de trafic étant absorbé par les grands aéroports-pivots existants. La congestion est combattue par le recours à des appareils beaucoup plus gros et par l'optimisation de l'exploitation et des investissements dans l'infrastructure au sol des grands aéroports-pivots à partir d'où ou vers où des services court-courriers véhiculent les passagers de l'intérieur. Autre vision, qui est en fait celle de Boeing : des nouvelles liaisons long-courriers sont développées pour acheminer du trafic entre **A** et **B**, la capacité au sol étant créée grâce à de petits aéroports et par le recours à des avions gros porteurs (pas des super-jumbos) économes en kérosène. L'avenir dira quelle prédiction était la bonne.

Les programmes d'activité ont aussi évolué dans le sens d'une modulation plus poussée et plus claire de la qualité du service. Les compagnies « low cost », délaissant de fait les voyageurs recherchant un certain niveau de service à bord, se sont adressé distinctement à une clientèle en quête de bas tarifs. Plus récemment, des services « premium » lancés par Lufthansa sur les liaisons transatlantiques nord visent le segment de la clientèle soucieuse de profiter d'un environnement privilégié à bord. L'objectif est d'isoler le marché de niche qui réunit les voyageurs d'affaires soucieux d'être « opérationnels » dès leur descente d'avion après un vol long courrier et sur lequel il y a, dans de nombreux cas, une distinction principal-agent (l'employeur paye le billet et le salarié choisit le vol). Ce modèle économique s'avère à ce jour décevant et quelques-uns des premiers acteurs comme MAXjet, Silverjet et EOS ont renoncé à ce marché. Les compagnies traditionnelles ont fortement baissé leurs tarifs en classe affaires à bord de leurs appareils multi-classe tandis que les compagnies tout-affaires n'ont pas pu offrir la fréquence de vols qu'attendent les voyageurs d'affaires. Il est trop tôt pour savoir si les grandes compagnies qui s'intéressent à ce marché auront plus de succès, mais elles cumulent bon nombre d'avantages : des réserves financières substantielles, un bon accès aux aéroports, la capacité nécessaire pour offrir une fréquence de vols élevée et le contrôle des tarifs qu'elles-mêmes proposent sur leurs propres avions à plusieurs classes.

À l'autre extrémité du marché, les « low cost » long-courriers commencent seulement à se développer. La disponibilité d'avions petits porteurs ayant un rayon d'action étendu est un facteur technique qui contribue à ce développement, mais l'augmentation des déplacements de main-d'œuvre et du tourisme vers des destinations lointaines a également stimulé la demande. L'évolution est lente, mais l'économie du secteur pourrait se transformer avec l'arrivée du super gros porteur Airbus A380.

A la fin des années 70, un pionnier sur ce créneau, Freddie Laker avait, à travers sa compagnie Laker Airways, lancé un service « Skytrain » entre Londres et New York, mais ce fut un échec financier. En 2004, Aer Lingus a lancé des vols transatlantiques avec service basique pour à peine plus de 100 EUR et le canadien Zoom Airlines lui a emboîté le pas en

démarrant un service transatlantique reliant le Canada à Glasgow et Manchester (Royaume-Uni) au tarif de 89 GBP[31]. Le 26 octobre 2006, Oasis HongKong Airlines a ouvert une liaison entre HongKong et l'aéroport de Gatwick à Londres (avec un jour de retard, car la Russie avait suspendu les droits de survol une heure avant le départ prévu de l'appareil). Les liaisons HongKong-Londres étaient proposées à partir de 75 GBP l'aller simple (hors taxes et autres frais) en classe économique et 470 GBP l'aller simple en classe affaires. La compagnie a dû cesser l'exploitation en 2008 après avoir cumulé 1 milliard HKD de pertes. En 2007, AirAsia X, filiale d'AirAsia et de Virgin Group, a lancé un vol de Kuala Lumpur à la Gold Coast (Australie), se targuant d'être le premier véritable transporteur long-courrier « low cost » de l'ère moderne.

Il est difficile de développer un modèle économique « low cost » viable pour les long-courriers parce qu'il leur faut un trafic d'apport suffisant. Les vols avec correspondance peuvent jouer ce rôle, mais ils augmentent notablement les coûts d'exploitation et font intervenir des flottes de catégories différentes. En outre, il est possible de comprimer les coûts sur les liaisons court-courriers, en accélérant la rotation des avions et des équipages, ce qui est exclu pour les long-courriers, pour lesquels il y a en outre des difficultés de coordination d'un fuseau horaire à l'autre et de respect des restrictions imposées par les couvre-feu d'aéroports. De plus, les très long-courriers sont particulièrement gourmands en énergie – en fait, l'avion a besoin de kérosène supplémentaire pour emporter le surcroît de kérosène nécessaire pour parcourir une plus grande distance. Il est de ce fait difficile de réduire ces coûts.

Évolution des besoins industriels

La demande de transport aérien de marchandises est depuis toujours corrélée à la croissance économique, mais elle est aussi liée aux caractéristiques des marchandises transportées et aux besoins logistiques de la chaîne d'approvisionnement en cause. L'importance accrue des produits manufacturés de valeur élevée, la demande de produits exotiques et la nécessité de remplacer des composants industriels endommagés ou usés ont contribué à accroître la demande de transport international de marchandises[32]. En outre, le développement de la vente par correspondance et de la chaîne physique d'approvisionnement qu'elle occasionne a fait augmenter la demande de transport rapide et fiable de marchandises entre pays liés par des accords de libre-échange (comme au sein de l'Union européenne). Le transport aérien de marchandises présente aussi l'avantage de nécessiter moins d'infrastructures fixes que les transports terrestres, ce qui en fait un mode de transport viable là où les transports routiers et maritimes peuvent se heurter à des difficultés physiques majeures. Il a donc un rôle de plus en plus important à jouer dans les pays en développement où les infrastructures sont peu développées et dans les zones où les conditions géographiques compliquent l'exportation et l'importation de biens d'équipement (Vega, 2009).

Selon l'OACI, l'avion transporte environ 2 % du commerce international en volume et environ 40 % en valeur. Le fret aérien est aussi, étant donné que la route et le rail lui sont substituables sur les courtes distances, une activité essentiellement internationale : environ 85 % des tonnes/kilomètre sont intercontinentales. Une part importante du marché mondial des services cargo aérien est assurée par un petit nombre de gros transporteurs (Tableau 4.5) qui offrent souvent des services complets de collecte nationale et internationale, particulièrement dans les pays riches et très étendus. Environ 59 % des tonnes/kilomètre sont en provenance ou à destination des États-Unis. De plus, une grande partie du fret aérien longue distance voyage dans les soutes d'avions qui assurent des

services passagers réguliers, système avantageux à cause des économies d'échelle qu'il permet de réaliser[33]. Les transports à courte distance, qui permettent moins de synergies entre le trafic passagers et le trafic fret, sont le plus souvent assurés par des appareils tout cargo. En effet, le transport du fret ralentit la rotation des avions passagers, les heures de pointe pour le fret ne coïncident souvent pas avec les horaires adaptés aux passagers et les aéroports-pivots pour le trafic fret (comme celui de Memphis pour FedEx) ne sont pas de grands aéroports pour le trafic passagers.

Tableau 4.5. **Trafic en millions de tonnes acheminées sur des vols réguliers**

Compagnie aérienne	2007 (millions)	2006 (millions)	2005 (millions)
FedEx Express	15 710	15 145	14 408
UPS Airlines	10 968	9 341	9 075
Air Cargo	9 568	8 764	8 072
Cargo	8 348	8 091	7 680
Cathay Pacific	8 225	6 914	6 458
Airlines Cargo	7 945	7 991	7 603
Airlines	6 301	6 099	6 037
Air France	6 126	5 868	5 532

Source : Association internationale du transport aérien *www.iata.org/ps/publications/wats-freight-km.htm*.

Le transport de fret aérien fait désormais partie intégrante de la chaîne logistique moderne. C'est un maillon rendu essentiel dans certains secteurs par la faible durée de vie des produits, comme pour le transport de produits exotiques (fleurs et fruits), et dans d'autres par le caractère crucial de la fiabilité et de la rapidité des livraisons (composants industriels et documents juridiques). À la différence du trafic passagers, où les voyageurs se rendent eux-mêmes à l'aéroport et se dispersent eux-mêmes une fois arrivés à destination, c'est souvent un même transporteur commercial qui se charge de la marchandise depuis son origine jusqu'à sa destination. Les transporteurs intégrés qui assurent ce type de services (FedEx, DHL, UPS, par exemple) sont des entreprises multimodales qui disposent aussi d'importantes flottes de camions pour le ramassage et la livraison et qui acheminent une grande partie de leur fret *via* un ou plusieurs grands aéroports-pivots. Étant donné en outre que les colis et le fret ne sont pas sensibles à la qualité du service à bord (si ce n'est au contrôle de la température dans certains cas) et ne se soucient guère de l'itinéraire suivi, la chaîne logistique peut s'assouplir et la partie aérienne du transport s'affranchir de certaines des contraintes qui pèsent sur le déplacement de passagers. Il est donc plus facile de développer des méga-pivots éloignés de sites qui présentent davantage de contraintes en termes d'environnement.

La croissance du trafic cargo aérien international était jadis fortement limitée par la disponibilité d'appareils adaptés. A partir de la fin des années 60, apparaissent les avions gros porteurs qui offrent une importante capacité en soute et sont équipés de moteurs suffisamment puissants pour emporter des quantités importantes de fret. Ces appareils, convertis plus tard en avions tout cargo, sont particulièrement performants en termes tant de capacité d'emport que de rayon d'action : le Boeing 747-400ERF a une charge utile de 112 760 kg et peut franchir environ 18 000 km. Il est techniquement possible de construire des gros porteurs (même si Airbus n'envisage pas pour l'instant de produire une version fret de son A380[34]), mais des raisons techniques liées aux ailes, les problèmes de capacité des aéroports et divers autres facteurs pourraient entraîner des contraintes à court terme.

Évolution des marchés émergents

Un certain nombre de marchés semblent bien positionnés pour ravir leurs places de leaders aux marchés traditionnels d'Amérique du Nord et d'Europe de l'Ouest qui arrivent à leur pleine maturité. Certaines régions, dont l'Afrique, ne paraissent pas bien placées pour développer des flux importants de trafic aérien dans les vingt ans qui viennent, notamment parce que les niveaux de revenus de base sont faibles et que les taux de croissance qu'ils affichent paraissent incertains. Les marchés sud-américains du transport aérien sont en plein essor et leur croissance pourrait s'accélérer si la stabilité politique perdure dans la région, mais le niveau d'incertitude y est élevé. L'accent est donc mis sur deux types de marchés émergents, ceux des pays européens en transition et ceux des géants en développement.

Économies en transition

L'éclatement du bloc soviétique à partir de la fin des années 80 s'est traduit par une forte hausse des échanges entre les économies en transition qui en sont issues[35] et les économies de marché plus traditionnelles dont une partie a maintenant rejoint l'Union européenne. Le graphique 4.15 donne une idée de la croissance du transport aérien entraînée dans un segment du marché européen du transport aérien par l'intégration de certaines économies en transition au sein de l'Union européenne.

Les anciens pays communistes avaient des réseaux internationaux de transport aérien relativement peu développés avant 1989, avec des avions souvent de qualité médiocre et une gestion peu performante en termes d'efficience sociale et économique. Beaucoup de ces pays ont depuis lors modernisé leur flotte et restructuré leurs réseaux pour les intégrer dans les marchés court-courriers de l'Europe occidentale. Un certain nombre de transporteurs « low cost » sont apparus pour servir une clientèle de travailleurs migrants et de voyageurs d'agrément qui se développe avec la hausse des revenus. Il y a eu jusqu'il y a peu un indéniable déficit de capacité en raison de l'insuffisance des investissements, qui a limité l'expansion. À long terme, dans le marché libéralisé de l'Union européenne, ce secteur devra faire face à la concurrence des transporteurs « low cost » et des compagnies aériennes traditionnelles des pays d'Europe occidentale. Malgré l'intensification du trafic, il est bien difficile de prédire combien de ces transporteurs des économies en transition survivront dans ce type d'environnement.

Giga-économies émergentes : Chine et Inde

La Chine et l'Inde sont des économies fortement exportatrices et importatrices. L'une et l'autre ont des marchés aériens intérieurs importants et dynamiques qui facilitent la production de biens destinés au marché international et accélèrent la croissance des flux de trafic aérien international. Les projections des principaux avionneurs donnent à penser que ces deux pays vont offrir des débouchés de plus en plus nombreux à leurs produits.

La Chine est la deuxième économie du monde et affiche des taux de croissance annuels moyens de 10 % entre 1990 et 2004. En 2006, ses échanges internationaux se sont chiffrés à plus de 1.76 milliard d'USD, ce qui place son commerce international au troisième rang mondial. Les transports internationaux y sont devenus beaucoup plus accessibles depuis une vingtaine d'années parce que la Chine a développé son système de transport aérien et en particulier sa capacité aéroportuaire (tableau 4.6) pour répondre aux besoins croissants de son économie. La prédominance de ses grands aéroports s'est

atténuée avec le développement de son système dans les villes moyennes et petites. Le gros du trafic passagers s'est décalé vers le Sud-est, ce qui coïncide avec l'expansion de la croissance économique dans les zones côtières de cette région. L'effet distance dans le trafic aérien en Chine s'est accentué à partir de 1998 à mesure que le système aérien prenait une orientation plus commerciale. La partie orientale du pays compte le plus grand nombre de passagers aériens, ce qui n'est que normal vu sa population et son PIB, viennent ensuite les régions de l'Ouest et du centre. Dès 1998, la Chine était indéniablement dotée d'un système de transport aérien en étoile.

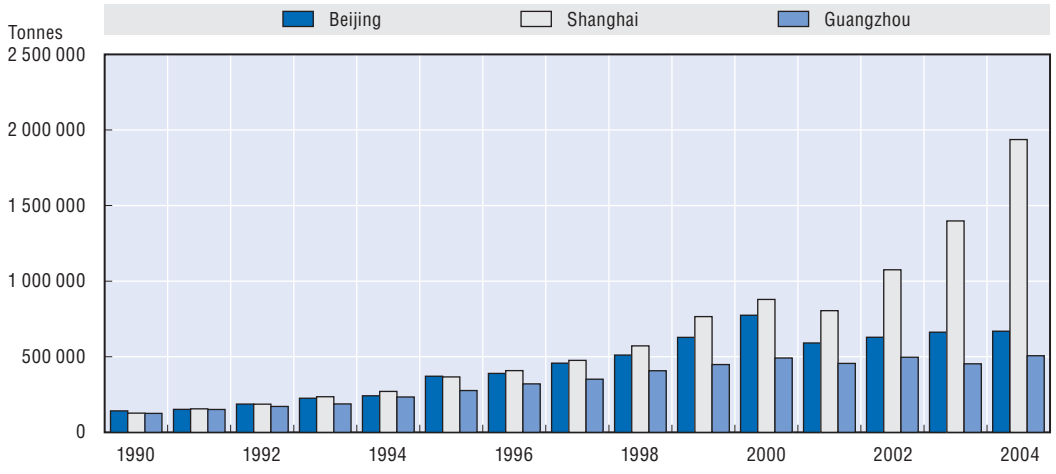
Tableau 4.6. **Indicateurs du système d'aviation civile en Chine**
1980-2005

	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Nombre d'aéroports	77	80	92	116	139	142
Trafic passagers (en millions de passagers)	3.4	7.5	16.6	51.2	67.2	138.3
Trafic passagers (en millions de passagers/km)	39.6	116.7	230.5	681.3	970.5	2 044.9
Trafic fret (en milliers de tonnes)	90	200	370	1 010	1 970	3 070
Trafic fret (en millions de tonnes/km)	140.6	415.1	818.2	2 229.8	5 026.8	7 889.5

Source : Wang et Jin (2007).

L'industrialisation rapide de la Chine, en particulier le développement de ses industries manufacturières, a également conduit à un développement massif du transport aérien appelé à exporter des produits de base et à importer les composants et différents matériels nécessaires pour assurer le fonctionnement de ses usines (voir tableau 4.6)[36]. Une grande partie de ce trafic passe par les trois grands centres de Shanghai, Beijing et Guangzhou (graphique 4.16). Les aéroports de ces villes sont devenus des pôles majeurs du réseau de fret international et national du pays. L'aéroport de Beijing, par exemple, était relié pour le trafic de fret à 57 villes, dont 13 à l'international, en 1990, mais offrait 126 connexions vers 65 destinations en 2003. Pour Shanghai, ces chiffres sont de 13 en 1990 et 65 en 2003.

Graphique 4.16. **Trafic fret des trois principaux aéroports-pivots**



Source : Données statistiques sur l'aviation civile en Chine (années sélectionnées).

Le marché du transport aérien international était très protégé jusqu'à une date récente et il y subsiste beaucoup d'obstacles à la fois matériels (infrastructures) et institutionnels. Cette protection a pris différentes formes : protection de certains transporteurs non concurrentiels, restrictions sur les déplacements des citoyens à l'étranger, infrastructure insuffisante, en particulier aéroportuaire, et pénurie de main-d'œuvre et de gestionnaires qualifiés. (Zhang et Chen, 2003). Dans le contexte du trafic fret, cela a non seulement entravé l'accès aux marchés, mais aussi compliqué le développement d'un système logistique intégré (Fung *et al.*, 2005). Ces contraintes ont toutefois été quelque peu allégées, avec la signature d'un grand nombre d'accords bilatéraux de services aériens, même si on est loin d'accords de type « open skies » dans les principaux marchés. Il semble inévitable que la libéralisation des marchés aériens internationaux de la Chine se poursuive, ce qui aura un effet stimulant sur le trafic.

Les caractéristiques géographiques et la taille du marché intérieur de la Chine donnent à penser que le transport aérien évoluera vers une structure comparable à celles des États-Unis. Le marché intérieur, initialement très fragmenté après la déréglementation de la fin des années 80, opère maintenant une consolidation et des alliances se forment afin d'offrir des services internationaux intégrés : par exemple en 2007, la compagnie China Southern Airlines est devenue membre de SkyTeam. Étant donné toutefois la perception du caractère stratégique du marché du fret aérien, on peut penser que la puissance publique conservera un rôle prépondérant. Étant donné la structure institutionnelle qui prévaut en Chine, où chacun des modes a une organisation séparée, sans une agence pour chapeauter l'ensemble du transport de fret, l'implication des pouvoirs publics va sans doute entraver le développement d'un système logistique multimodal. L'adhésion de la Chine à l'Organisation mondiale du commerce autorise pourtant les participations et le contrôle étrangers dans le domaine du fret aérien.

L'économie indienne a connu une expansion considérable, mais moins prononcée que celle de la Chine puisqu'elle atteignait 9 % en 2007 contre 13 % pour la Chine[37], qui s'est accompagnée du développement de ses réseaux de transport aérien intérieur et international. Le marché indien du transport aérien était traditionnellement très réglementé et le transporteur national, Air India, bénéficiait d'importants privilèges monopolistiques. L'abrogation en 1994 de la loi dite « Air Corporation Act » de 1953 a mis fin au monopole de certaines compagnies aériennes sur les services réguliers, permis à des compagnies aériennes privées d'assurer des services réguliers, converti Indian Airlines et Air India en sociétés à responsabilité limitée et autorisé les participations privées au capital des compagnies aériennes nationales. En 1990, les compagnies aériennes privées ont été autorisées à assurer des services d'avion taxi, ce qui a donné naissance à Jet Airways et Air Sahara. Cette mutation de la politique indienne de l'aviation a débouché sur une augmentation de la part des opérateurs privés dans le transport intérieur de passagers, qui est passée de 0.4 % en 1991 à 68.5 % en 2005. Un grand nombre d'opérateurs « low cost », dont Air Deccan, Kingfisher Airlines, SpiceJet, GoAir, Paramount Airways et IndiGo Airlines, ont fait plus récemment, en fait depuis 2004, leur entrée sur le marché indien intérieur (O'Connell et Williams, 2006). À l'international, l'Inde a libéralisé un grand nombre de ses accords bilatéraux et a signé en 2005 un accord « Open Skies » avec les États-Unis, ce qui a stimulé le trafic, lequel devrait probablement continuer de progresser avec l'expansion du PIB de l'Inde.

4.8. Conclusions

Depuis le début du XXIe siècle, l'économie mondiale n'a cessé de s'internationaliser et de se mondialiser. Les sphères culturelle et politique n'échappent pas à ce mouvement de mondialisation en profondeur. Le transport aérien a joué un rôle dans ces évolutions, mais les compagnies aériennes, et surtout l'infrastructure du transport aérien, ont aussi dû s'adapter pour répondre à une demande qui elle-même changeait. Le transport aérien est un facteur de facilitation et la demande dont il fait l'objet dérive du besoin de services de transport international de qualité, rapides et fiables. La mondialisation s'accompagne, presque par définition, de besoins accrus de mobilité et d'accès, mais ces besoins ne portent plus sur les mêmes types de passagers ou de cargaisons, sur les mêmes destinations et sur les mêmes distances que par le passé.

Le transport aérien international existe depuis moins d'un siècle, mais il est devenu un ingrédient majeur de la mondialisation et ne cesse d'évoluer pour répondre aux besoins d'intégration économique et sociale engendrés par la mondialisation. Économiquement et dans une perspective statique, la mondialisation a pour objet de faciliter la division du travail et de permettre aux pays d'exploiter plus complètement leur avantage comparatif. Mais sur le long terme, la mondialisation stimule les transferts de technologie et de main-d'œuvre et permet au dynamisme associé à l'activité entrepreneuriale de stimuler le développement de technologies et de procédés nouveaux, ce qui se traduit par une amélioration du bien-être à l'échelle mondiale. Le transport aérien a toujours joué un rôle crucial dans la circulation des idées, des biens et des personnes, améliorant l'efficience statique et dynamique à l'échelle mondiale, et il paraît très probable qu'il continuera à jouer ce rôle dans l'avenir.

Notes

1. Le présent chapitre se fonde pour l'essentiel sur le rapport « Impact de la mondialisation sur le transport aérien international : Tendances passées et perspectives d'avenir » présenté par Ken Button de la George Mason School of Public Policy, États-Unis, au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008 (*www.oecd.org/dataoecd/51/53/41373470.pdf*) et sur le rapport « Impact de l'augmentation du transport aérien international sur l'environnement : Tendances passées et perspectives d'avenir » présenté par Eric Pels de l'Université VU, aux Pays-Bas, au même Forum (*www.oecd.dataoecd/44/18/41508474.pdf*).
2. Le secteur du transport aérien a créé des associations internationales qui dialoguent avec les États et des organisations telles que l'OACI. L'Association du transport aérien international (IATA) aide les compagnies aériennes à mener une politique de la concurrence respectueuse de la loi et à assurer l'uniformité de leurs stratégies tarifaires.
3. La Norvège et la Suisse sont également parties à la plupart de ces traités.
4. Par exemple en octobre 2001, la Commission européenne a également adopté des propositions en vue de la création d'un Ciel unique européen et d'une instance de régulation communautaire pour la gestion du trafic aérien englobant l'Union européenne, la Norvège et la Suisse.
5. Une étude américaine montre que les cadres d'entreprises de haut niveau technologique prennent plus souvent l'avion (60 % en plus en fait) que leurs homologues d'entreprises courantes. Une analyse économétrique approfondie révèle que pendant les années 90, une ville américaine dotée d'un aéroport-pivot comptait quelque 12 000 emplois à haute teneur technologique de plus qu'une ville comparable dépourvue d'un tel aéroport (Button *et al.*, 1990). L'analyse des lignes transatlantiques permet de constater que l'augmentation du nombre de liaisons et de la fréquence de desserte fait augmenter, dans des proportions toutefois décroissantes, le nombre d'emplois à haute teneur technologique (Button et Taylor, 2002).

6. Le classement des compagnies par nombre total de passagers est quelque peu différent parce que la longueur des vols n'est pas prise en compte dans ce classement. D'après l'IATA, Ryanair a transporté 40 532 000 passagers in 2006, Lufthansa 38 236 000, Air France 30 417 000, British Airways 29 498 000 et KLM 22 322 000.
7. Les statistiques du Conseil international des aéroports indiquent que l'aéroport international de Memphis a traité 3 840 491 tonnes de marchandises en 2007, l'aéroport international des Nouveaux territoires de HongKong 3 773 964 tonnes, l'aéroport international de Shanghai Pudong 2 559 310 tonnes et l'aéroport international d'Incheon 2 555 580 tonnes.
8. La récession économique actuelle a stoppé la croissance antérieure. Le Conseil international des aéroports (2009) constate qu'en janvier – septembre 2009, leur trafic passagers, leur trafic fret total et leur trafic fret international était inférieur de respectivement 4, 14 et 17 % à ceux de janvier-septembre 2008.
9. Le traitement des différents éléments du graphique est statique, car on considère que la technologie est constante. D'après la théorie économique moderne, le changement technique est au moins en partie endogène, c'est-à-dire fonction des structures de marché et institutionnelles.
10. Cette approche particulière pour observer les implications de la déréglementation internationale des marchés du transport aérien a été élaborée dans le contexte spécifique des liaisons transatlantiques, mais les arguments sont de portée générale (Button, 2009a). Ce document évalue en outre l'analyse quantitative réalisée sur les implications d'un accord « Open Skies » États-Unis-Union européenne.
11. En pratique, les tarifs étaient la résultante de la puissance de négociation des parties et des objectifs généraux du pays au regard du marché des compagnies aériennes. Les pays d'Europe continentale ont une longue tradition de soutien à leur compagnie nationale pour diverses raisons liées à leur intérêt national réel ou perçu. Dans certains cas, ces tarifs étaient inférieurs au niveau requis pour couvrir les coûts, dans d'autres ils étaient plus élevés notamment si l'un des partenaires cherchait par ce biais à subventionner des services nationaux.
12. Si l'offre de services de transport aérien sur ce marché permet des économies de portée ou de densité, comme c'est souvent le cas, la courbe de coût est inclinée vers le bas; dans ce cas, le déplacement vers la droite de la demande renforce davantage la courbe des coûts et les tarifs vont forcément baisser.
13. Toutefois, si les coûts baissent, ce pouvoir de monopole peut être nécessaire pour permettre de couvrir les coûts fixes associés à la fourniture d'un service régulier.
14. Dans certains cas, ces liaisons locales peuvent emprunter un autre mode. Par exemple, Lufthansa offre des services locaux par rail et la plupart des transports de conteneurs entre Heathrow et Londres se font par camion, même s'ils ont un numéro de vol.
15. *Source : www.klm.com*.
16. Si les compagnies aériennes ont, dans l'ensemble, du mal à couvrir leurs coûts économiques totaux, d'autres maillons de la chaîne de valeur du transport aérien réussissent à tirer leur épingle du jeu. Les compagnies aériennes internationales peuvent être considérées comme « le tiroir caisse » au bout de cette chaîne et comme les collecteurs des recettes qui financent l'ensemble de la chaîne (Button, 2004).
17. Le coût du carburant aérien (kérosène) a augmenté à plusieurs reprises comme jamais auparavant entre 2001 et 2008. Le carburéacteur est ainsi passé de 30.5 UDS le baril en 2001 à 81.9 USD en 2006, 113.4 USD en décembre 2007 et plus de 140 USD en juillet 2008. Il s'en suit que les coûts de carburant, qui représentaient 13 % des coûts d'exploitation des compagnies aériennes aux États-Unis en 2001, en représentaient 26 % en 2006 et 30 à 50 % en 2008. Le coût du kérosène a toutefois nettement diminué entre 2008 et 2009.
18. Même lorsqu'il n'y a pas de concurrence véritable, l'entrée potentielle sur le marché est possible, au moins pendant un certain temps avant le décollage. Il s'agit d'une faible concurrence due à la contestabilité (Button, 2006).
19. Pour un aperçu très accessible de cette théorie, voir Telser (1987). La littérature universitaire appliquant cette théorie aux compagnies aériennes est mince; on pourra se reporter à Button *et al*. (2007) et Button (1996).
20. Dans l'Union européenne, Ryanair a tenté des stratégies de ce type pour les services internationaux européens, mais s'est heurté à la législation, qui entrave l'utilisation de fonds publics pour financer des services.

21. Levine (2002) allègue que les prix peuvent être différenciés sans qu'il y ait puissance de marché et qu'il s'agit là d'un mode normal de couverture des coûts. S'il est vrai que la différenciation des prix pratiquée par les compagnies aériennes sous la forme d'une tarification en temps réel peut être indispensable à la couverture des coûts, il est par contre difficile d'imaginer comment une compagnie aérienne pourrait y arriver si elle ne dispose pas d'une certaine puissance de marché. Le problème est surtout de savoir dans quelle mesure la puissance de marché est nécessaire pour une discrimination tarifaire optimale et quand elle devient un outil de recherche de rente.

22. À partir du milieu des années 90, les prévisionnistes commencent à intégrer à leurs prévisions une analyse axée sur des scénarios, même si de simples extrapolations continuent d'être la norme (British Airways, 1995). L'OCDE (1997) présente une méthode plus souple d'estimation de l'avenir du transport aérien international.

23. L'écart entre les évaluations de Boeing et d'Airbus s'explique en partie par le fait que le premier estime que la croissance du trafic long-courrier sera satisfaite par des services point-à-point, alors qu'Airbus prévoit une forte demande pour son super-gros porteur A380 pour relier les gros aéroports-pivots entre eux.

24. On parle souvent de « migrations Sud-Sud », par opposition aux « migrations Sud-Nord », qui couvrent traditionnellement les mouvements entre pays en développement et pays développés. 80 % des migrations « Sud-Sud » se font entre pays limitrophes et 65 % du reste entre pays non limitrophes du 40e percentile en termes de distance.

25. Ces théories ne s'intéressent qu'aux motivations étroitement économiques de l'émigration et ne tiennent pas compte de théories sociopolitiques qui intègrent des éléments tels que les conflits armés et les migrations forcées.

26. Dans l'hypothèse d'un marché strictement fluide, il n'y a pas de chômage dans ce type de modèle, les migrations de main-d'œuvre étant déterminées par les salaires réels relatifs. L'effet chômage est ajouté pour indiquer d'éventuelles imperfections de court terme dans les marchés du travail des deux régions.

27. Il s'agit souvent de « travailleurs à objectif » qui retournent dans leur pays dès qu'ils ont accumulé une certaine somme d'argent ou acquis une qualification.

28. Il existe toujours d'importants flux de migrants non qualifiés temporaires, qui sont reconnus officiellement comme tels dans certains cas. Le Canada, par exemple, a instauré un Programme des travailleurs agricoles saisonniers, ouvert en 2006 à 13 000 travailleurs mexicains. Ces travailleurs sont tous venus par avion.

29. Les progrès des télécommunications ont aussi contribué au maintien de liens étroits avec « le pays », rappelant en cela les effets du transport aérien.

30. Pour une évaluation plus détaillée de ce type de stratégie dans le contexte de la compagnie portugaise TAP, voir Button *et al.* (2005).

31. Devant la dégradation de sa situation financière, Zoom a demandé le bénéfice du règlement judiciaire en août 2008 (voir *http://en.wikipedia.org/wiki/Zoom_Airlines*).

32. Exprimé en tonnes/km, environ 19 % du trafic consiste en biens d'équipements, 13.5 % en ordinateurs, 12.4 % en biens intermédiaires et 7.4 % en biens périssables.

33. Korean Air Cargo a réalisé 8 680 tonnes/km internationales en 2006, Lufthansa Cargo 8 077, Singapore Airlines Cargo 7 991, Cathay Pacific 691 et FedEx Express 6 136.

34. Une version cargo était prévue, mais seule une commande a été reçue et le projet a été abandonné.

35. Le terme « économies en transition » est maintenant un peu dépassé, mais il est utile pour désigner ce groupe de pays. Il convient toutefois de souligner que la crise économique actuelle a frappé plusieurs de ces pays de plein fouet.

36. Les 157 000 tonnes de 1980 sont passées à 4.5 millions en 2003.

37. Voir OCDE, 2009. In 2008, les taux de croissance étaient de 6 et 9 % et l'OCDE estime que le PIB augmentera de 4.3 % en Inde et de 6.3 % en Chine.

Bibliographie

Airbus (2007), *Fly by Nature*; Global Market Forecast 2007-2026, Airbus, Toulouse.

Boeing Commercial Airplane (2007), *Current Market Outlook*, 2008-2027, Boeing, Seattle.

Brattle Group (2002), *The Economic Impact of an EU-US Open Aviation Area*, étude réalisée pour la Commission européenne, Brattle Group, Washington DC.

British Airways (1995), *Global Scenarios*, British Airways, Londres.

Brueckner J. K. et Y. Zhang (2001), « A Model of Scheduling in Airline Networks: How a Hub-and-Spoke System Affects Flight Frequency, Fares and Welfare », *Journal of Transport Economics and Policy*, 35, pp. 195-222.

Burghardt, A.F. (1971), « A Hypothesis about Gateway Cities », *Annals of the Association of American Geographers*, 61(2), pp. 269-285.

Button, K.J. (1996), « Liberalising European Aviation: is there an Empty Core Problem? », *Journal of Transport Economics and Policy*, 30(3), pp. 275-292.

Button, K.J. (2004), *Wings Across Europe: Towards an Efficient European Air Transport System*, Ashgate, Aldershot.

Button, K.J. (2006), « Is the Debate over the Contestability of Airline Markets Really Dead? » dans B. Jourquin, P. Rietveld et K. Westin, *Towards Better Performing Transportation Systems*, Routledge, Londres.

Button, K.J. (2007), « Distance and competitiveness – the role of gateways, corridors, and competition », dans *North American Networks: Gaps and Opportunities*, University of Saskatchewan, Saskatoon.

Button, K.J. (2008), « Air Transportation Infrastructure in Developing Countries: Privatization and Deregulation », dans C. Winston et G. de Rus (eds.) *Aviation Infrastructure Performance: A Study in Comparative Political Economy*, Brookings Institution, Washington DC.

Button, K.J. (2009a), « The Impact of EU-US 'Open Skies' Agreement on Airline Market Structures and Airline Networks », *Journal of Air Traffic Management*, vol. 15, pp. 59-71.

Button, K.J. (2009b), « The Economist's Perspective on Regional Endogenous Development » dans R. Stimson et R. Stough (eds.) *Regional Endogenous Development*, Edward Elgar, Cheltenham.

Button, K.J. et G. McDougal (2006), « Institutional and Structural Changes in Air Navigation Service Providing Organizations », *Journal of Air Traffic Management*, 12(5), pp. 236-252.

Button, K.J. et S. Y. Taylor (2000), « International Air Transport and Economic Development », *Journal of Air Transport Management*, 6(4), pp. 209-222.

Button, K.J. et H. Vega (2007), « The Uses of the 'Temporal-Fares-Offered Curve' in Air Transportation », *Journal of the Transportation Research Forum*, 46(2), pp. 83-100.

Button, K.J. et H. Vega (2008), « The Effects of Air Transport on the Movement of Labour », *GeoJournal*, 71(1), pp. 67-81.

Button, K.J., C. Costa et V. Reis (2005), « How to Control Airline Routes from the Supply Side – The Case of TAP », *Journal of Air Transportation*, 10(3), pp. 50-72.

Button, K.J., C. Costa et C. Cruz (2007), « Ability to Recover Full Costs through Price Discrimination in Deregulated Scheduled Air Transport Markets », *Transport Reviews*, 27(2), pp. 213-230.

Button, K.J., S. Lall, R. Stough et M. Trice (1999), « High-technology Employment and Hub Airports », *Journal of Air Transport Management*, 5(1), pp. 3-59.

Cairncross, F. (1997), *The Death of Distance*, Harvard Business School Press, Cambridge, Mass.

Connekt (2001), *Ontwikkeling van het hub-concept*, Delft: Connekt.

Conseil international des aéroports (2009), *Monthly Traffic Data,* Conseil international des aéroports, accessible à *www.airports.org*.

Dana, J.J. Jr. (1998), « Advance-Purchase Discounts and Price Discrimination in Competitive Markets », *Journal of Political Economy*, 106(2), pp. 395-422.

Dennis, N.P.S. (1998), *Competition between hub airports in Europe and a methodology for forecasting connecting traffic*. Document présenté lors de la Conférence mondiale sur la recherche dans les transports, Antwerp.

Edgeworth, F.Y. (1881), *Mathematical Physics*, Kegan Paul, Londres.

Fung, M.K., A. Zhang, L. Leung et J. S. Law (1995), « The Air Cargo Industry in China: Implications of Globalization and WTO Accession », *Transportation Journal*, 44(4), pp. 44-62.

Friedman, T.L. (2005), *The World Is Flat: A Brief History of the Twenty-first Century*, Farrar, Straus and Giroux, New York.

Goetz, A. et C. Sutton (1997), « The geography of deregulation in the US airline industry ». *Annals of the Association of American Geographers* 87 2, pp. 238-263.

Hart, R.A. (1975a), « Interregional economic migration: some theoretical considerations (Part I) », *Journal of Regional Science*, 15 (2), pp. 127-138.

Hart, R.A. (1975b), « Interregional Economic Migration: Some Theoretical Considerations (Part II) », *Journal of Regional Science*, 15(3), pp. 289-305.

Jin, F., F. Wang et Y. Liu (2004), « Geographic Patterns of Air Passenger Transport in China 1980-1998: Imprints of Economic Growth, Regional Inequality, and Network Development », *The Professional Geographer*, 56 (4), pp. 471-487.

Kahn, A.E., (1988), « Surprises of Airline Deregulation », *American Economic Review, Papers and Proceedings* 78-2, pp. 316-322.

Levine, M.E. (2002), « Price Discrimination without Market Power », *Yale Journal on Regulation*, 19(1), pp. 1-36.

Morrison, S.A. (2001), « Actual, Adjacent and Potential Competition: Estimating the Full Effect of Southwest Airlines », *Journal of Transport Economics and Policy*, 35(2), pp. 239-257.

Morrison, S. et C. Winston (1995), *The Evolution of the Airline Industry*, Brookings Institution, Washington DC.

National Commission to Ensure Consumer Information and Choice in the Airline Industry (2002), *Travel Information Systems in the 21st Century*, disponible sur *www.ncecic.dot.gov/ncecic/hearings*.

Nolan, J., P. Ritchie et J. Rowcroft (2005), « Small Market Air Service and Regional Policy », *Journal of Transport Economics and Policy*, 3(3), pp. 363-78.

O'Connell, J.F. et G. Williams (2006), « Transformation of India's Domestic Airlines: A Case Study of Indian Airlines, Jet Airways, Air Sahara and Air Deccan », *Journal of Air Transport Management*, 12(6), pp. 358-374.

OCDE (1997), *L'avenir du transport aérien international,* OCDE, Paris.

OCDE (2009), *Perspectives économiques de l'OCDE, Rapport intermédiaire*, mars 2009, OCDE, Paris, accessible à l'adresse *www.oecd.org/dataoecd/18/1/42443150.pdf*.

Peeters, P.M., J. Middel et A. Hoolhorst (2005), « Fuel Efficiency of Commercial Aircraft. An Overview of Historical and Future Trends », Peeters Advies and National Aerospace laboratory, disponible sur *www.transportenvironment.org/Publications/prep_hand_out/lid:398*.

Penner, J.E., *et al.* (1999), *Aviation and the global atmosphere; a special report of IPCC working groups I and III*, Cambridge University Press, Cambridge, disponible sur *www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/125.htm*.

Rodrigue, J-.P. (2006), « Challenging the Derived Transport Demand Thesis: Issues in Freight Distribution », *Environment and Planning A*, 38(8), pp. 1449-1462.

Telser, L.G. (1987), « The Usefulness of Core Theory in Economics », *Journal of Economic Perspectives*, 8 (2), pp. 151-164.

UK Civil Aviation Authority (2006), *No-frills Carriers: Revolution or Evolution?*, A Study by the Civil Aviation Authority, Civil Aviation Authority, Londres.

US Department of Transportation (2001), « Dominated Hub Fares », *Domestic Aviation Competition Series*, Office of the Assistant Secretary for Aviation and International Affairs, Washington, DC.

Vega, H. (2009), « Air Cargo, Trade and Transportation Costs of Perishables and Exotics from South America », *Journal of Air Transport Management*, à paraître.

Wang, J. et F. Jin (2007), « China's Air Passenger Transport: An Analysis of Recent Trends », *Eurasian Geography and Economics*, 48(4), pp. 469-480.

Zhang, A. (1996), « An Analysis of Fortress Hubs in Airline Networks », *Journal of Transport Economics and Policy*, 30, 3, pp. 293-307.

Zhang, A. et H. Chen (2003), « Evolution of China's Air Transport Development and Policy Towards International Liberalization », *Transportation Journal*, 42(3), pp. 31-49.

Chapitre 5

Impact de la mondialisation sur le niveau d'activité du transport international de marchandises par route et par chemin de fer

par
Allan Woodburn, Julian Allen, Michael Browne, Jacques Leonardi et Huib van Essen[1]

Le présent chapitre décrit les tendances récentes du commerce mondial, identifie les différentes façons dont la croissance des échanges affecte le transport routier et ferroviaire international de marchandises et s'interroge, enfin, sur l'évolution future du transport terrestre international. Dans le secteur du fret international, les volumes transportés par route et par rail sont encore très faibles par rapport aux volumes acheminés par mer. Toutefois, l'augmentation très probable du volume total du commerce mondial (produits de plus en plus souvent manufacturés loin des consommateurs, parce que les livraisons sont facilitées par des services de transport plus fiables et plus rapides, bénéficiant des progrès technologiques) devrait accroître les quantités de marchandises échangées entre pays.

Le chapitre retrace l'évolution récente du commerce mondial puisqu'il s'agit de l'un des moteurs du développement du transport international. Il analyse le commerce et le transport internationaux dans une perspective politique et économique, avant d'évoquer l'importance des procédures de dédouanement et de passage des frontières ainsi que les préoccupations croissantes en matière de sécurité du transport international. Il s'étend longuement sur le transport par route et par chemin de fer en mettant plus particulièrement l'accent sur les problèmes d'infrastructures, les politiques et réglementations, le déroulement des opérations de transport et les technologies utilisées. Il jette pour terminer un regard sur les perspectives d'avenir. Avec la suppression des goulets d'étranglement et des améliorations opérationnelles, l'efficience du transport routier et ferroviaire international de marchandises devrait augmenter considérablement dans de nombreuses régions.

5.1. Introduction

Dans le présent chapitre, le terme international est utilisé pour rappeler que les flux analysés sont transfrontières et non en référence à des comparaisons de tendances et perspectives qui seraient établies entre les pays. Il n'en demeure pas moins que les flux internationaux de marchandises varient considérablement en termes de fréquence, de complexité, de distance et de type de véhicule utilisé. Par exemple, le transport routier de marchandises entre les Pays-Bas et la Belgique est très régulier, relativement simple (du fait de l'absence de contrôles aux frontières intérieures de l'Union européenne) et effectué sur de courtes distances (parfois plus courtes que celles du trajet moyen à l'intérieur d'un pays) par des véhicules articulés dont le poids peut être inférieur au maximum autorisé. Les déplacements entre l'Asie et l'Europe sont par contre souvent occasionnels, très complexes (passage de nombreuses frontières) et effectués sur des distances extrêmement longues (plusieurs milliers de kilomètres) par des véhicules articulés chargés au maximum afin de minimiser le coût unitaire du transport. C'est pourquoi, lorsqu'on étudie le fret international, il est important de ne pas oublier la diversité des types de déplacements considérés et l'impact que leurs caractéristiques peuvent avoir sur l'organisation et le coût du transport.

Dans la mesure du possible, les cas décrits et étudiés dans ce document illustrent la situation à l'échelle du globe. L'accent sera cependant mis sur les flux transfrontières entre pays d'Europe, d'Asie et d'Amérique du Nord, étant donné que le transport international par voie terrestre a surtout lieu dans ces trois régions et que les informations publiées à ce sujet sont considérables. L'évaluation se fonde autant que faire se peut sur des données documentées, mais pâtit de l'hétérogénéité des définitions et des unités de mesure, tant sur le plan spatial que temporel, ainsi que de l'insuffisance des données spécifiquement relatives aux flux transfrontières de marchandises.

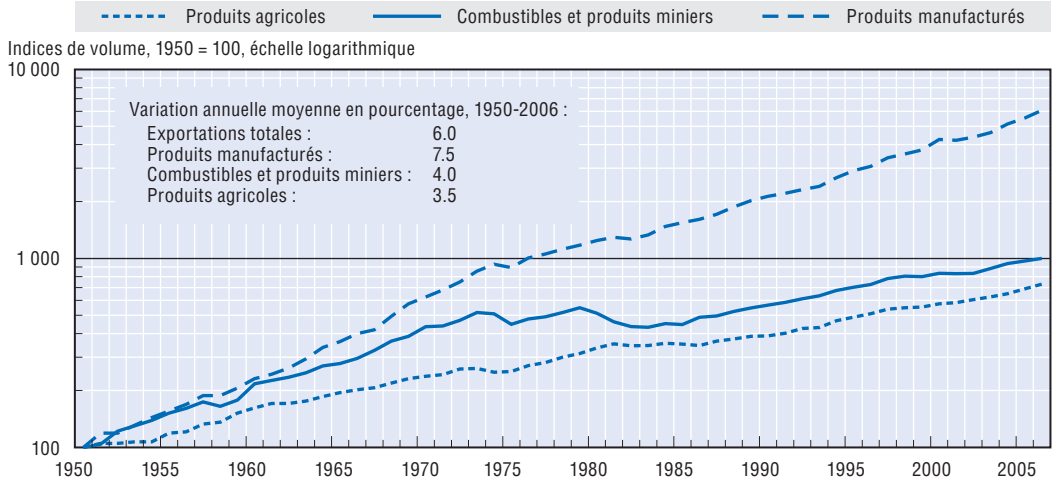
5.2. Évolution récente du commerce mondial

Les données les plus complètes sur le volume du commerce mondial et son évolution sont fournies par l'Organisation mondiale du commerce (OMC). Cette section met en lumière les caractéristiques du commerce mondial qui ont le plus d'impact sur les échanges de marchandises et le choix du mode de transport. Le graphique 5.1 illustre la croissance à long terme du volume du commerce mondial pour toutes les catégories de produits, en particulier les produits manufacturés.

Sur cette période, la croissance du commerce est globalement plus élevée que celle du PIB. Elle est même près de deux fois supérieure à celle du PIB entre 2000 et 2006 (OMC, 2007). Le tableau 5.1 indique la valeur des principaux courants d'échanges internationaux de marchandises entre les différentes régions du monde ou à l'intérieur de certaines régions en 2006. Les six premiers flux, qui ne concernent que l'Europe, l'Asie et l'Amérique du Nord ou les échanges entre ces régions, représentent les trois quarts de la valeur du commerce mondial. À lui seul, le flux de marchandises à l'intérieur de l'Europe s'élève à près du tiers de la valeur du commerce mondial. Sur les dix pays les plus commerçants, six sont européens, deux nord-américains et deux asiatiques.

Graphique 5.1. **Volume du commerce mondial des marchandises par grand groupe de produits**

1950-2006



Source : OMC (2007).

Tableau 5.1. **Commerce intrarégional et interrégional de marchandises, 2006**

Courants d'échanges de marchandises	Valeur commerciale (milliards USD 2006)	% de la valeur du commerce en 2006
Intra-Europe	3 651	31.4
Intra-Asie	1 638	14.1
Asie- Amérique du Nord	1 022	8.8
Asie – Europe	970	8.3
Intra-Amérique du Nord	905	7.8
Europe – Amérique du Nord	709	6.1
Asie – Moyen-Orient	451	3.9
CEI – Europe	388	3.3
Afrique – Europe	268	2.3
Amérique du Sud et centrale – Amérique du Nord	242	2.1

Source : OMC (2007).

Le tableau 5.2 indique la croissance annuelle moyenne des importations et des exportations de chaque région entre 2000 et 2006. A l'échelle du globe, la valeur des marchandises échangées a augmenté de 11 % par an en moyenne. L'Amérique du Nord enregistre une hausse inférieure à ce chiffre. Les régions les moins commerçantes enregistrent des taux de croissance supérieurs à ce chiffre, mais, en valeur absolue, leurs échanges restent relativement faibles par rapport à ceux de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique du Nord.

Le graphique 5.2 illustre les différences observées entre régions en termes de structure sectorielle des exportations de marchandises. En Afrique, au Moyen-Orient et dans les pays de la CEI, les exportations concernent avant tous les combustibles et produits des industries extractives, tandis qu'en Asie, en Europe et en Amérique du Nord, ce sont les produits manufacturés qui prédominent très largement. En Amérique du Sud et en Amérique centrale, les exportations se répartissent de manière assez égale entre les trois catégories de marchandises. C'est justement dans cette région que la part des produits agricoles est la plus élevée. La part des produits manufacturés dans la valeur du commerce

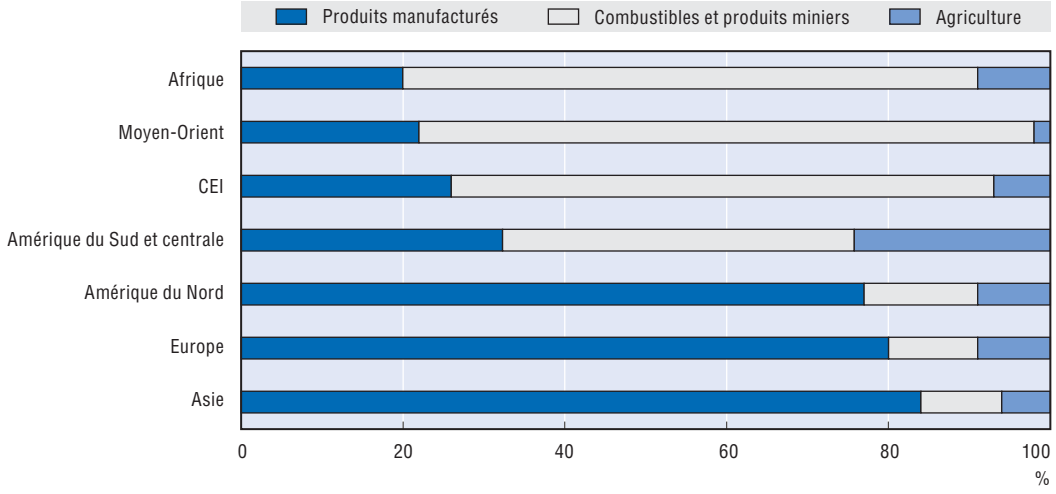
Tableau 5.2. **Croissance annuelle moyenne, en pourcentage, du commerce mondial de marchandises par région**

2000-2006

Région	Exportations	Importations
CEI	20	23
Moyen-Orient	16	15
Afrique	16	14
Amérique du Sud et centrale	14	10
Asie	12	12
Europe	11	11
Monde	**11**	**11**
Amérique du Nord	5	7

Source : D'après OMC (2007).

Graphique 5.2. **Structure sectorielle des exportations de marchandises par région, 2006**



Source : D'après OMC (2007).

mondial n'a cessé d'augmenter pour atteindre aujourd'hui près de 70 %, un chiffre qui reflète la domination des trois régions où les produits manufacturés représentent la majeure partie de la valeur des échanges.

L'émergence de blocs commerciaux régionaux, suivie de leur expansion géographique et de l'élargissement de leur champ d'action, a eu une incidence importante sur le transport international de marchandises par route et par rail. Le tableau 5.3 montre que les deux blocs commerciaux qui pèsent le plus dans le commerce mondial sont de loin l'Union européenne et l'Accord de libre-échange nord-américain (ALENA). L'Union européenne s'est progressivement élargie (elle compte 27 États membres depuis 2007) e a supprimé ses barrières commerciales internes tout en concluant des accords commerciaux uniformisés pour ses échanges avec les pays tiers. En 2006, l'Union européenne a totalisé 38 % de la valeur du commerce mondial de marchandises, les deux tiers de ses échanges ayant lieu entre ses États membres (OMC, 2007) alors que les échanges intrarégionaux de l'ALENA (Canada, Mexique et États-Unis) ne représentaient qu'un peu plus de 40 % de la valeur totale des échanges commerciaux de ces pays et qu'au sein de nombreux autres blocs, la part des flux intrarégionaux dans la valeur totale des flux commerciaux du bloc était

encore plus faible. L'importance de l'Europe découle non seulement de sa place dans le commerce mondial (voir tableau 5.1), mais aussi de sa capacité à faire du commerce à l'intérieur même de ses frontières qui témoigne du nombre important de petits pays désormais capables d'échanger librement des marchandises les uns avec les autres.

Tableau 5.3. **Participation des principaux blocs commerciaux au commerce mondial de marchandises**

En % de la valeur totale du commerce mondial de marchandises, 2006

Bloc commercial	Exportations	Importations
Union européenne	37.5	38.3
Accord de libre-échange nord-américain (ALENA)	13.9	20.5
Association des nations de l'Asie du Sud-Est (ANASE)	6.4	5.5
Conseil de coopération du Golfe (CCG)	3.9	1.7
Association européenne de libre-échange (AELE)	2.3	1.7
Marché commun du Sud (Mercosur)	1.6	1.1
Arrangement commercial préférentiel sud-asiatique (ACPSA)	1.3	1.9
Communauté de développement de l'Afrique australe (SADC)	1.0	1.0
Marché commun de l'Afrique de l'Est et de l'Afrique australe (COMESA)	1.0	1.0

Source : D'après OMC (2007).

La route et les chemins de fer acheminent surtout les flux intrarégionaux, puisque deux des trois grandes liaisons interrégionales (Asie – Amérique du Nord et Europe – Amérique du Nord) sont impossibles par voie terrestre et donc surtout assurées par mer et que la troisième (Asie – Europe), même si elle se prête au transport terrestre, utilise ce mode de façon très limitée au profit, là encore, du transport maritime. La route et le rail assurent une grande part des transports terminaux de ces services maritimes interrégionaux : ils assurent les liaisons vers les points d'origine et de destination à l'intérieur des continents et font, dans certains cas, office de ponts terrestres.

A l'intérieur des régions, la route et le rail sont plus souvent les modes de transport principaux, même si, dans certaines zones, la navigation fluviale joue également un rôle non négligeable. Compte tenu de la distribution géographique des échanges commerciaux, la présente étude porte surtout sur les trois régions à l'intérieur desquelles le commerce est le plus important, à savoir l'Europe, l'Asie et l'Amérique du Nord.

5.3. Commerce mondial et transport : considérations politiques et économiques

Comme le déclare Kopp (2006) : « De l'avis général, la baisse des coûts du transport et des communications à grande distance est pour beaucoup dans la mondialisation que nous connaissons aujourd'hui ». Pendant longtemps, on a pensé que les coûts des échanges n'avaient qu'une incidence minime sur la structure et le volume du commerce mondial.

Les coûts des échanges peuvent varier ou ne pas varier en fonction du temps de transport (Deardorff, 2005). Il s'agit principalement des coûts suivants :

- Coûts indépendants du temps :
  - coût des ressources de transport (coût du transport de marchandises d'un point à un autre du globe) ;
  - assurance ;

- coût en devises ;
- autres (coûts juridiques, charges liées aux procédures de transit, paiements de facilitation légaux et illégaux, etc).

- Coûts dépendants du temps :
  - intérêts ;
  - entreposage ;
  - dépréciation.

Tous ces coûts (en particulier le coût du transport) peuvent réduire le volume des échanges internationaux s'ils les rendent déficitaires. Les pays sont alors plus dépendants de leurs propres ressources et perdent les bénéfices qui découlent du commerce mondial.

Ce problème est souvent rencontré par les pays en développement sans littoral qui, compte tenu de leur handicap géographique, se heurtent à des difficultés particulières lorsqu'ils tentent de s'intégrer dans le système commercial mondial, essentiellement parce que les marchandises qui sortent d'un pays sans littoral ou qui y entrent sont soumises à des obstacles commerciaux supplémentaires tels que des procédures interminables pour le passage des frontières. Nombre de pays en développement sans littoral souffrent en outre de la faiblesse des dispositifs juridiques et institutionnels, de la médiocrité des infrastructures, du manque de technologies de l'information, du sous-développement du secteur logistique et de l'absence de coopération avec les pays de transit voisins. Enfin, l'éloignement des marchés par rapport aux pays qui ont un accès direct aux ports maritimes est aussi un inconvénient dans certains cas (CNUCED, 2007). Entre 1992 et 2002, la croissance économique des pays sans littoral a été inférieure de 25 % à celle des pays de transit voisins (CNUCED, 2007).

Le coût du transport de marchandises d'un point à un autre du globe (coût des ressources de transport) est sans doute, pour la plupart des produits, le plus élevé de tous les coûts des échanges. Il dépend de la distance, du poids et de la densité apparente des marchandises ainsi que des besoins de manutention en transit. Parmi les autres coûts des échanges internationaux, figurent les assurances (en fonction du volume et de la valeur des marchandises), le coût du financement (en fonction du temps écoulé entre la production et la réception du paiement) et les coûts en devises (car le commerce transfrontière entraîne souvent l'utilisation de plusieurs devises) (Deardorff, 2005).

Le temps est également un facteur clé pour le coût des échanges internationaux (Deardorff, 2005). Il faut du temps pour transporter les marchandises de leur lieu d'expédition à leur lieu de livraison, pour effectuer les chargements et les déchargements et pour traiter les marchandises et le véhicule lors des procédures de dédouanement et de passage des frontières. Étant donné la durée du transport international de marchandises, les entreprises doivent disposer de stocks. Or, ces stocks induisent plusieurs types de coûts, parmi lesquels le coût d'entreposage, le coût des intérêts et le coût de la dépréciation lié à la détérioration physique ou au changement des goûts des consommateurs. Tous ces coûts proportionnels au temps écoulé varient aussi en fonction du produit vendu. Néanmoins, pour les limiter, il importe surtout de réduire le délai de mise sur le marché et, partant, de choisir le mode de transport le plus rapide (en tenant compte, à l'évidence, du coût des ressources de chaque mode).

Les transporteurs s'avèrent plus préoccupés par les retards et la variabilité des temps de transit que par les coûts directs du transport, car les premiers influent sur la capacité

des entreprises à respecter les délais de livraison convenus et, par conséquent, les obligent à conserver d'importants volumes de marchandises. En s'appuyant sur les coûts de différents modes de transport, Hummels (2001) déduit le coût des délais à partir des montants que les sociétés sont prêtes à engager pour les réduire. Selon ses résultats, le retard d'une journée d'une expédition induit un coût moyen équivalent à une taxe de 0.8 %.

Les coûts des échanges sont élevés. Dans leur acception la plus large, ils incluent tous les coûts engagés pour qu'un bien parvienne jusqu'à son utilisateur final, déduction faite du coût marginal de production. Selon une estimation approximative, la taxe « représentative » du coût des échanges dans les pays industriels équivaut à 170 % de la valeur « d'origine ». Cette taxe comprend les coûts du transport et du commerce international à hauteur de 74 % (dont 21 % pour les coûts du transport et 44 % pour les obstacles aux échanges liés au passage de frontières) et les coûts de distribution locaux à hauteur de 55 %. Quant aux coûts du transport, ils intègrent les coûts du fret mesurés directement et 9 % correspondant à la valeur du temps pour les marchandises (Anderson et Wincoop, 2004).

Le secteur des produits manufacturés s'internationalise à mesure que les entreprises s'implantent dans des zones à bas salaires et faibles coûts fonciers pour réduire leurs coûts de production (Rodrigue et Hesse, 2007). En conséquence, les marchandises doivent être transportées sur de plus longues distances. Parallèlement, les goûts des consommateurs évoluent plus vite que jamais, en particulier pour les produits de haute technologie ou de haute valeur. Dans ce dernier cas, il est donc essentiel pour les fabricants et les distributeurs de commercialiser les produits aussi rapidement que possible.

Les innovations technologiques dans les domaines des transports et de l'information et la communication contribuent à réduire les délais de commercialisation. On peut désormais fabriquer des produits très loin de leurs marchés et effectuer des échanges commerciaux autrefois impossibles (par exemple, transport par avion de fleurs coupées). Cependant, il faut pour cela des systèmes de transport international de marchandises de haute qualité, rapides et fiables dont le coût des ressources est suffisamment faible pour garantir la rentabilité.

De nouvelles opportunités s'ouvrent donc au transport terrestre (routier et ferroviaire) international. Jusqu'à présent, l'habitude voulait que les déplacements internationaux de marchandises se fassent par avion pour les produits de valeur dont la qualité se détériore rapidement et par bateau pour les produits moins coûteux pour lesquels le facteur temps est moins important. Désormais, les améliorations des infrastructures et les accords internationaux rendent de plus en plus viables des itinéraires toujours plus longs de transport international par route ou par rail (d'où une augmentation des volumes des échanges internationaux par voie terrestre). En conséquence, la part des modes de transport terrestre dans les flux transfrontières de marchandises devrait progressivement augmenter, à mesure que les services proposés deviendront moins chers (mais plus lents) que ceux du transport aérien et plus rapides (mais plus chers) que ceux du transport maritime.

Toutefois, le volume des échanges internationaux par voie terrestre est encore très faible par rapport aux volumes transportés par route ou par rail à l'intérieur des pays.

5.4. Autres considérations relatives aux échanges mondiaux de marchandises

Dédouanement et passage des frontières

Les procédures longues et complexes de dédouanement et de passage des frontières peuvent considérablement retarder le transport routier international de marchandises et rendre certains temps de parcours impossibles à déterminer avec fiabilité. Elles peuvent également induire des coûts supplémentaires, qu'il s'agisse de droits ou de redevances pour un service fourni, de paiements non officiels (pots-de-vin) ou de coûts liés aux retards de livraison et aux incertitudes quant aux délais. Dans le pire des cas, plusieurs jours peuvent être perdus aux postes frontières. Comme on l'a vu à la section 5.3, ces coûts augmentent le coût total des marchandises échangées et peuvent nuire à la compétitivité. Une étude révèle que les coûts directs et indirects associés au passage des frontières peuvent représenter jusqu'à un quart du coût total du transport (Chambre de commerce des États-Unis, 2006). Ce problème est majeur dans certains pays d'Asie centrale, parce qu'il semble bien que l'acheminement par la route de marchandises vers ces pays serait jusqu'à trois fois plus cher et prendrait deux fois plus de temps que dans une « situation idéale » (c'est-à-dire avec des passages de frontières directs et des droits de douane peu élevés et sans difficulté de visa ni paiement non officiel) (Chambre de commerce des États-Unis, 2006).

Les pays sans littoral sont confrontés à des difficultés spécifiques en termes de durée et de coût du passage des frontières. La région CESAP (Asie et Pacifique) abrite 12 des 30 pays en développement sans littoral du monde. Pour la plupart des pays de cette région, le transport en transit « pâtit principalement des retards excessifs et du coût trop élevé du passage aux frontières. La lenteur du passage frontalier et des services de douane, l'utilisation de documents non standardisés et compliqués, la mauvaise organisation et le manque de qualifications dans le secteur des transports sont parmi les principales causes de ce problème. Le chevauchement des obligations dû à la superposition de plusieurs accords bilatéraux, triangulaires et sous-régionaux, la nécessité de conclure des accords bilatéraux multiples et l'absence de cadre juridique harmonisé en matière de transport en transit, notamment d'arrangements concernant les droits de transit, accentuent les difficultés du transport en transit » (CESAP-ONU, 2003).

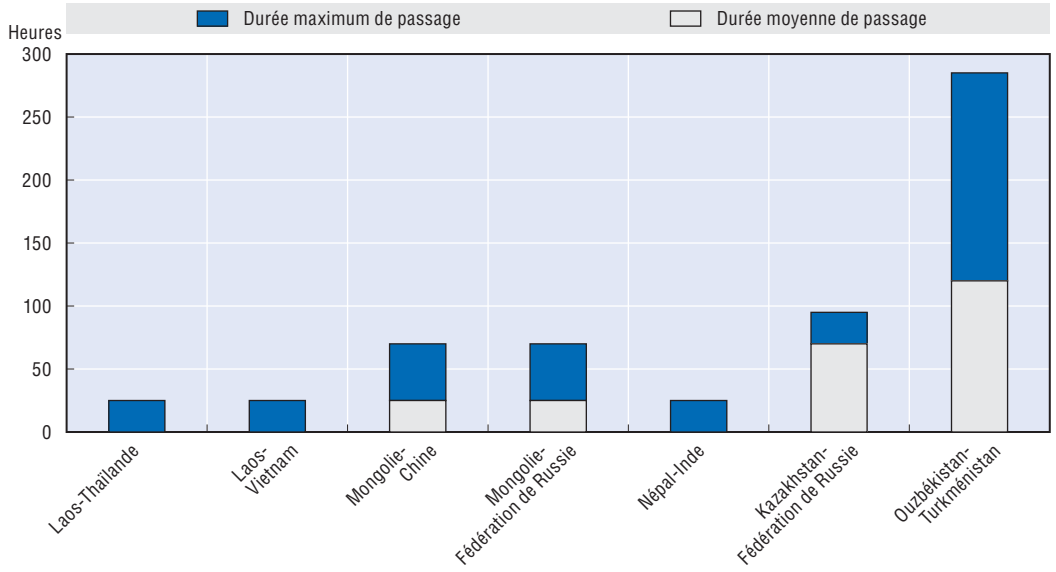
En 2003, la CESAP-ONU a réalisé une série d'études de cas pour « recenser les questions et préoccupations communes relatives aux obstacles matériels et non matériels qui caractérisent les réseaux de transport en transit des pays en développement sans littoral et de transit de la région de la CESAP » (CESAP-ONU, 2003).

Les États étudiés sont certains des pays les moins avancés ou des économies en transition. Les graphiques 5.3 et 5.4 illustrent respectivement les durées et les coûts de passage des frontières relevés au cours de ces études de cas. Elles montrent que les délais vont de 3 heures à 120 heures, tandis que les coûts sont compris entre 100 et 650 USD environ[2].

En dépit des réformes engagées dans certains pays et du recours croissant à des conventions internationales pour réduire la durée du passage des frontières et mettre fin aux retards qui s'y accumulent, les procédures de dédouanement et de contrôle aux frontières restent fastidieuses dans de nombreux pays. Elles peuvent inclure les types de contrôles et d'inspections suivants (CEMT, 2000) :

- Contrôles douaniers des marchandises transportées (qui peuvent inclure le contrôle de la documentation associée et, parfois, de l'origine et de la destination des produits).
- Inspection des marchandises (parfois par prélèvement d'échantillons ou sondage).

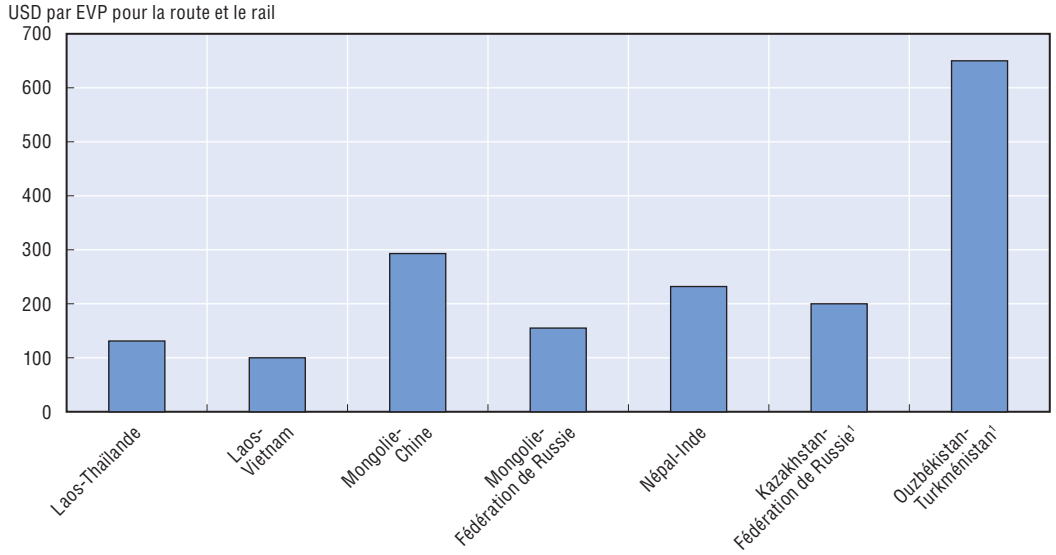
Graphique 5.3. **Durée du passage des frontières pour le transport routier et ferroviaire**



Note : Ces résultats tiennent compte des temps de passage des véhicules routiers et ferroviaires.
Source : CESAP-ONU (2003).

Graphique 5.4. **Coûts du passage des frontières pour le transport routier et ferroviaire**

Par EVP – Equivalent vingt pieds



1. Coût du passage aux frontières par camion de 12 mètres.
Source : CESAP-ONU (2003).

- Contrôles des véhicules (en particulier contrôle du respect des normes de sécurité et de protection de l'environnement et contrôle des permis).
- Contrôles d'immigration (notamment contrôles des passeports et des visas et fouilles éventuelles des véhicules pour vérifier qu'ils ne transportent pas d'immigrants clandestins).
- Prélèvements de taxes, droits et redevances liés aux contrôles et inspections susmentionnés.

Encadré 5.1. **Entraves au passage des frontières**

Là où il n'existe pas de procédure uniformisée pour les formalités douanières ni de document unique expliquant l'ensemble des contrôles et des paiements requis, on constate parfois une aggravation des problèmes et une augmentation des risques d'extorsion de paiements illicites. L'usage limité des technologies de l'information et des communications pour le dédouanement ainsi que les règles en matière de visas peuvent également entraîner des retards aux frontières. Voici quelques exemples de situations récentes :

- L'ancienne République yougoslave de Macédoine impose un paiement de 100 EUR par ligne tarifaire du certificat d'importation, pour toutes les importations de produits agricoles bénéficiant de préférences tarifaires.
- Les autorités locales roumaines sont libres d'imposer des taxes supplémentaires, par exemple pour des raisons liées à la protection de l'environnement. Ces taxes sont très variables et ne sont pas fixées de façon transparente.
- En Ouzbékistan, la procédure de dédouanement nécessite dix documents différents, émis par divers départements et ministères, d'où des formalités douanières pouvant durer jusqu'à 2 ou 3 mois.
- En République de Moldavie, plusieurs organes gouvernementaux sont représentés à la frontière. Chacun agit au nom d'un ministère différent et perçoit des droits en conséquence.
- Les conducteurs de camions ne peuvent pas obtenir de visa pour la Bulgarie à la frontière.
- Les exigences très strictes en matière de visa pour les personnes en voyage d'affaires, y compris les transporteurs, peuvent allonger substantiellement les délais d'exportation vers la Serbie.
- L'insuffisance des équipements informatiques et la mauvaise formation du personnel retardent le dédouanement et le trafic transfrontalier dans toute la région, mais surtout en République du Monténégro, en Albanie et en Bosnie-Herzégovine.

L'enquête sur l'indice de performance logistique (LPI) fait ressortir que « le niveau de transparence des procédures de contrôle aux frontières décroit régulièrement avec le LPI : (…) les pays dont le LPI est faible sont également ceux dont les procédures de contrôle aux frontières sont les moins transparentes ». Seules 10 % des réponses indiquent que la sollicitation de paiements illicites est une pratique courante dans les pays à revenus élevés, tandis que plus de 50 % des réponses indiquent que ces types de paiements sont une pratique courante dans les pays à revenus faibles.

Sources : CEE-ONU (2006); Arvis *et al.* (2007).

Sécurité

Comme le rappelle la CEE-ONU (2008), les systèmes de transport courent le risque d'être utilisés à des fins terroristes ou d'être la cible d'attaques terroristes parce qu'ils n'ont pas été conçus pour faire face aux menaces de sécurité et que la priorité a toujours été jusqu'à présent d'assurer des flux continus, rapides et fiables, relativement sécurisés, plutôt que d'appliquer des normes de sécurité. En outre, il est très facile d'accéder aux infrastructures de transport routier qui sont souvent insuffisamment surveillées (principaux axes routiers, ponts et tunnels, par exemple) ou de se procurer des véhicules commerciaux pour transporter des armes, voire pour les transformer en armes. La complexité est également un problème majeur. Les chaînes d'approvisionnement qui incorporent du transport routier international mettent en jeu des milliers d'entreprises et les réglementations nationales sont souvent très hétérogènes. L'harmonisation internationale des normes de sécurité nationales pourrait empêcher l'utilisation terroriste des routes et du transport routier, mais elle est difficile à mettre en œuvre.

Le Comité des transports intérieurs de la CEE-ONU a passé en revue les questions qu'il conviendrait d'étudier de plus près sous l'angle de la sécurité. Dans le secteur du transport terrestre de marchandises, ces questions sont notamment les suivantes (CEE-ONU, 2008) :

- Réglementations applicables aux véhicules (notamment règles relatives aux systèmes d'alarme et d'immobilisation des véhicules, accords sur les dispositions d'immobilisation d'un véhicule après une utilisation non autorisée et installation de systèmes de positionnement à bord des véhicules pour faciliter leur localisation).
- Marchandises dangereuses et cargaisons spéciales (nécessité d'émettre des recommandations de sécurité pour le transport de marchandises dangereuses et d'ajouter les questions de sécurité aux programmes de formation des conducteurs et autres personnels de transport de marchandises dangereuses).

Le Comité des transports intérieurs constate que, tandis que des mesures de protection sont appliquées dans les ports et les aéroports, les transports intérieurs sont relativement peu protégés et semblent être le maillon faible de la chaîne d'approvisionnement actuelle. Il ajoute que certaines infrastructures vulnérables (telles que les ponts et les tunnels routiers) sont difficiles à protéger puisque directement accessibles au public et qu'il importe donc de soutenir la recherche dans le domaine des nouvelles technologies de protection des infrastructures (par exemple, systèmes de contrôle et de détection, y compris le contrôle du personnel travaillant à proximité des infrastructures critiques). Enfin, il n'existe aucun organisme international de supervision de la sécurité des transports terrestres (de marchandises et de passagers) comme il en existe pour la sécurité maritime et aérienne. Ce type d'organisation faciliterait la mise en œuvre de normes et de règles internationales (CEE-ONU, 2008).

5.5. Évolution récente du trafic routier et ferroviaire international

Dans les sections précédentes, l'étude de la croissance du commerce mondial portait sur la *valeur* des marchandises échangées, puisqu'il s'agit de la priorité de l'OMC. Cependant, lorsqu'on analyse les tendances par mode de transport, il est plus fréquent d'utiliser des statistiques relatives aux *poids*. C'est pourquoi la majeure partie de cette section concerne les tonnages.

Azar *et al.* (2003) ont estimé l'augmentation que le trafic mondial de marchandises devrait connaître entre 1990 et 2100 ainsi que le niveau auquel la consommation d'énergie devrait se situer en 2100. Les résultats de leurs calculs sont réunis dans le tableau 5.4.

La route et le chemin de fer assurent à l'heure actuelle des parts presque égales du trafic dans le monde (Azar *et al.*, 2003; FRI, 2007) et dans l'OCDE (OCDE, 2007).

Tableau 5.4. **Augmentation du trafic marchandises mondial**

	Trafic en Ttkm/année		Demande d'énergie en EJ/année	
	1990	2 100	1990	2 100
Route	6.4	40	23	72
Rail	6.1	13	3.1	4.3
Voies navigables	2.6	5.0	1.2	1.6
Transport maritime	29	126	5.8	16
Transport aérien	0.07	0.28	0.32	0.62
Total	**44**	**184**	**33**	**95**

Source : Azar *et al.* (2003).

Le tableau 5.4 montre que l'augmentation des quantités de marchandises transportées est maximale dans le cas de la route et nettement inférieure à la moyenne dans le cas des chemins de fer. La consommation mondiale d'énergie du transport de marchandises devrait tripler, malgré l'amélioration prévue de son efficience énergétique.

Union européenne

Les estimations de l'AEE indiquent que le taux de croissance du trafic marchandises est supérieur à celui de la croissance économique en Europe (AEE, 2008a). Cette progression du trafic, principalement routier, de marchandises est le principal moteur de l'augmentation de la demande d'énergie venant du transport de marchandises. Le trafic routier de marchandises devrait augmenter de 78 % entre 2000 et 2030 dans l'Union européenne. L'augmentation sera donc plus forte que celle des vingt dernières années (Smokers *et al.*, 2007).

Dans les 11 États membres de l'Union européenne pour lesquels on dispose de données homogènes, la part du fret international dans le nombre total de tonnes/kilomètre transportées par route est passée de 22 % en 1995 à 26 % en 2005 (Eurostat, 2004, 2007a). Cette légère augmentation représente néanmoins une hausse de 52 % en valeur absolue, compte tenu de la croissance globale du transport routier au cours de cette période. Sur l'ensemble du fret routier international de 2005 de ces 11 pays, 90 % du volume se rapporte à des échanges entre pays adjacents, ce qui montre la faible incidence du trafic tiers (transit *via* un ou plusieurs pays intermédiaires). Toujours en 2005, mais dans l'ensemble de l'UE25 à l'exclusion de la Grèce et de Malte, la part du fret international dans le volume total du fret routier a été de 30 %, le trafic tiers représentant cette fois-ci 15 % du fret international en raison du rôle plus important du trafic tiers dans certains pays d'Europe orientale (Eurostat, 2007a). Les pays depuis ou vers lesquels ont circulé ces flux internationaux de 2005 ont été, pour 94 % du volume transporté, les membres de l'Union européenne et, pour les 6 % restants, principalement la Suisse, la Norvège et la Fédération de Russie. L'augmentation du trafic international intracommunautaire routier de

marchandises (25 %) a été deux fois plus rapide que celle du trafic intérieur (12 %) entre 2000 et 2005 (Commission européenne, 2007b).

Par comparaison, la part des échanges internationaux est beaucoup plus importante sur le marché ferroviaire. Dans les pays de l'UE25, elle était de près de 51 % du volume de marchandises transportées par rail en 2005 (Eurostat, 2007b). Comme dans le cas du transport routier, la majeure partie concerne des échanges entre pays adjacents, le trafic tiers ne représentant que 20 % du total du fret international. Même si l'on ne dispose pas de statistiques historiques homogènes à l'échelle européenne, l'analyse des tendances nationales met en évidence la croissance de la part des flux internationaux dans le trafic ferroviaire de chaque pays. En Allemagne, par exemple, la part du fret ferroviaire international dans le volume total de marchandises transportées par rail est passée de 37 % en 1994 à 47 % en 2005. La progression a été de 76 % à 79 % aux Pays-Bas et de 30 % à 33 % en France (Eurostat, 2003, 2007b).

Amérique du Nord

Étant donné leur position centrale entre le Canada et le Mexique, les États-Unis participent à tous les échanges commerciaux internes de l'Amérique du Nord. La base de données sur les statistiques de transport en Amérique du Nord (NATSD) ne ventile des données sur le commerce nord-américain par mode de transport que depuis 2004 (NATSD, 2007), c'est pourquoi on ne dispose pas de chiffres détaillés et cohérents pour les années précédentes. Le tableau 5.5 fait la synthèse des flux de marchandises transportés par route ou par rail entre les États-Unis, le Canada et le Mexique en 2006. Ces deux modes sont les plus importants pour les exportations des États-Unis, puisqu'ils acheminent jusqu'à 60 à 65 % du tonnage transporté hors du pays. En revanche, dans le cas des importations vers les États-Unis, ce sont le transport maritime et, depuis le Canada, les pipelines, qui prédominent.

Tableau 5.5. **Commerce des États-Unis avec le Canada et le Mexique par route et par rail, 2006**

	Exportations des États-Unis		Importations des États-Unis	
	Part de chaque mode (%)	Tonnes (m)	Tonnes (m)	Part de chaque mode (%)
Canada				
Route	42	59	62	21
Rail	21	30	76	26
Mexique				
Route	38	31	28	20
Rail	26	21	11	8

Source : D'après NATSD (2007).

La part prise par la route dans le transport international de marchandises est nettement moindre (8 %) en Amérique du nord (ministère américain des transports, 2006; FRI, 2007) et la part internationale du trafic ferroviaire de marchandises n'y monte pas à plus de 5 %. La modicité de ces pourcentages trouve son explication dans le petit nombre de (très grands) pays en cause : le transport international de surface s'effectue en Amérique du nord entre le Canada, les États-Unis et le Mexique.

En 2002, la part du fret international dans le total du transport routier de marchandises en provenance, en direction ou à l'intérieur des États-Unis n'était que de

2 %, le chiffre équivalent étant de 6 % pour le transport ferroviaire (les volumes sont mesurés en tonnes chargées et les marchandises transportées par route ou par rail vers un port sont comptabilisées dans le transport national et non international). La route et le rail transportent ensemble 32 % des tonnes chargées et déchargées aux États-Unis (importations et exportations cumulées) (Office of Freight Management and Operations, 2007)[3].

Échanges entre l'Europe et l'Asie

La répartition modale varie considérablement d'un pays à l'autre. En Russie, le trafic marchandises des chemins de fer est de nombreuses fois plus important que celui de la route et en Chine aussi, la part du rail est de loin supérieure à celle de la route[4].

Les distances terrestres entre l'Europe et l'Asie sont généralement beaucoup plus courtes que les distances maritimes, surtout si les points d'origine et/ou de destination sont situés à l'intérieur des terres. Il est possible d'envisager une offre de services ferroviaires de la Chine vers l'Europe par l'Asie centrale qui ne prendrait qu'une vingtaine de jours au lieu des six semaines actuellement requises par voie maritime. Quant au transport routier euro-asiatique, sa durée a été évaluée à environ deux semaines (CEMT, 2006).

Aujourd'hui, les principales voies terrestres transasiatiques sont ferroviaires et comprennent notamment le Transsibérien, le corridor TRACECA et la route Sud par la Turquie et l'Iran. Les itinéraires routiers peuvent être préférables aux itinéraires ferroviaires lorsqu'il s'agit d'assurer un maillage plus dense vers les villes les plus importantes. En outre, au sud du continent, la nature du terrain convient généralement mieux aux routes qu'aux voies ferrées.

La Chine développe actuellement tout un réseau national d'infrastructures routières et ferroviaires destinées à établir des liaisons avec le Kazakhstan, la Mongolie et la Russie.

L'itinéraire terrestre entre l'Europe et l'Asie est l'une des plus anciennes routes commerciales du monde (route de la soie). Cependant, au fil du temps, le transport à longue distance de marchandises par cette route a été largement remplacé par le transport maritime. Depuis que la frontière entre la Chine et le Kazakhstan est rouverte aux échanges commerciaux, le transport à longue distance de marchandises par voie terrestre (route et rail) a repris entre les deux continents, mais les volumes acheminés de cette manière restent relativement faibles. A l'heure actuelle, les itinéraires terrestres servent surtout au transport de produits tels que le charbon, les produits agricoles, le fer et le pétrole ou les marchandises en vrac. Les volumes de marchandises conteneurisées transportées par voie terrestre sont très limités. Le tableau 5.6 donne une estimation de la distribution des conteneurs par mode de transport entre l'Europe et la Chine et montre très bien à quel point le trafic maritime reste prédominant dans ce secteur. On évalue la part du transport ferroviaire (en particulier la ligne du transsibérien) à environ 3 à 4 % de l'ensemble des flux de marchandises conteneurisées en 2005, la part du transport routier étant encore plus faible, à moins de 1 % du total des flux conteneurisés (Chambre de commerce des États-Unis, 2006).

Selon les estimations d'entreprises du secteur, environ 0.2 million de tonnes de marchandises transportées par camion (12 000 trajets) auraient traversé la frontière entre la Chine et le Kazakhstan en 2005. Le volume entre la Chine et la Russie serait de 1.8 million de tonnes (200 000 trajets en camion) la même année, soit une augmentation de 80 % en cinq ans (Chambre de commerce des États-Unis, 2006). Le transport routier de marchandises devrait certainement augmenter dans un avenir proche, suite à l'amélioration des infrastructures, notamment des routes, des terminaux de fret et des installations douanières.

Tableau 5.6. **Estimation des flux de conteneurs pleins entre l'Europe et la Chine**
2005, millions d'EVP pleins

	Vers l'Ouest	Vers l'Est	Total
Transport maritime	4.5	2.5	7.0
Transport ferroviaire	< 0.2	< 0.1	< 0.3
Transport routier (camions)	< 0.03	< 0.03	< 0.06

Source : Chambre de commerce des États-Unis (2006).

5.6. Facteurs de l'évolution récente du fret routier international

Infrastructure

Il existe une infrastructure de base pour le transport routier international, mais certains « hiatus » limitent le choix des itinéraires. En outre, les capacités insuffisantes de certains corridors internationaux et la mauvaise qualité des infrastructures augmentent le coût et la durée du transport routier international. D'autres infrastructures manquent, telles que les dépôts intérieurs de conteneurs, en particulier aux points de passage des frontières, qui appuient les opérations de groupage et de distribution des marchandises ainsi que le transbordement entre les réseaux routiers et ferroviaires (CESAP-ONU, 2003). La suite de cette section détaille certains des problèmes que posent les infrastructures routières internationales.

Présentée à le graphique 5.5 dans sa version la plus récente, la carte du réseau international « E » (du nom d'un système européen de numérotation des routes) illustre les itinéraires suivis par les routes de trafic telles que définies à l'annexe I de l'Accord

Graphique 5.5. **Réseau international « E »**

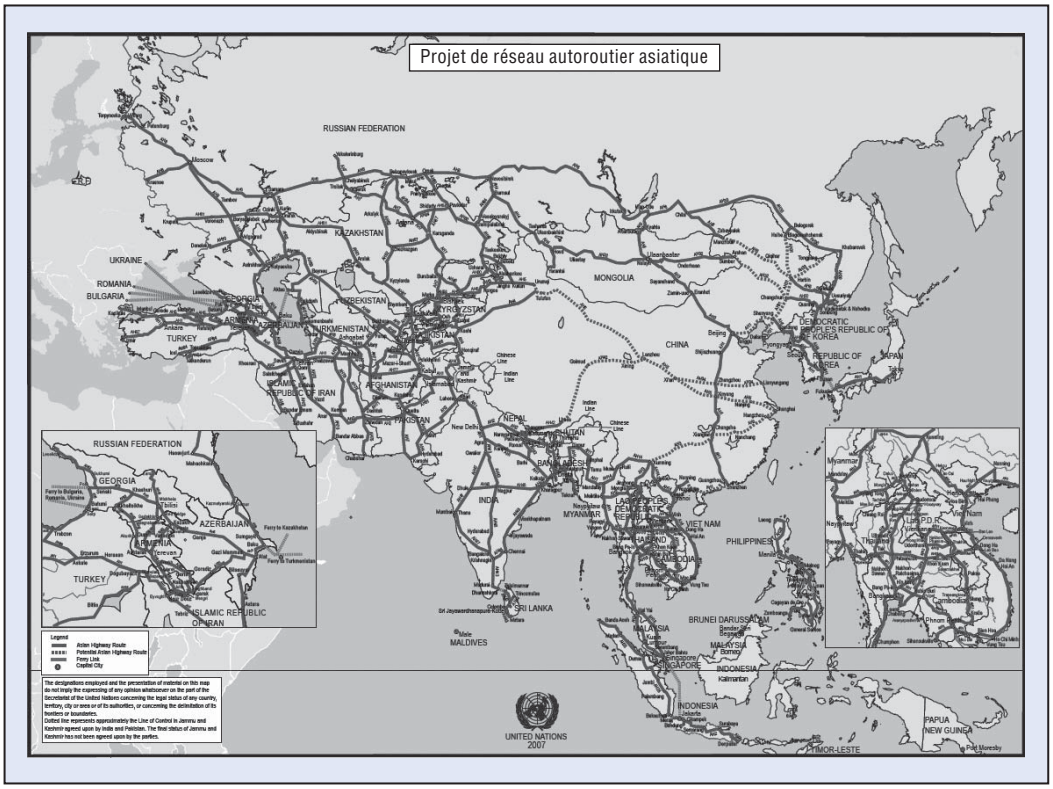


Source : http://en.wikipedia.org/wiki/File:International_E_Road_Network_green.png.

européen sur les grandes routes de trafic international (AGR) conclu à Genève en novembre 1975 (CEE-ONU, 2007). L'AGR a été élargi en 2000 pour inclure le réseau routier des pays du Caucase et de l'Asie centrale nouvellement membres de la CEE-ONU. En conséquence, des numéros « E » ont également été attribués aux axes routiers de ces pays, qui s'étendent jusqu'aux frontières avec la Chine. Outre le fait d'établir un réseau routier cohérent, l'AGR définit des caractéristiques techniques minimales à respecter lors de la construction de routes « E ».

L'Asie possède également un réseau routier dense qui relie les principales villes, en particulier dans la partie sud du continent (notamment en Inde, au Pakistan et dans la péninsule de l'Asie du Sud-Est). Certains axes routiers sont parallèles aux lignes ferroviaires Est-Ouest du nord du continent. Le réseau des grands axes routiers asiatiques (graphique 5.6) établit des liaisons vers et à travers la région. Il comprend 141 000 km de routes normalisées d'interconnexion entre 32 pays d'Asie et de liaison avec l'Europe.

Graphique 5.6. **Projet de réseau autoroutier asiatique**



Source : CESAP-ONU (2008). *www.unescap.org/TTDW/common/TIS/AH/maps/ah_map_2007.jpg*.

Si la construction et la modernisation des infrastructures routières jouent un rôle important dans le développement du transport international de marchandises par route, d'autres facteurs sont également essentiels à l'établissement d'un réseau routier efficient et prospère. Il convient en particulier de normaliser et d'harmoniser, outre la qualité de construction des routes, de nombreux éléments tels que le code de la route, la réglementation des véhicules et les technologies de gestion du trafic. Les facteurs

Encadré 5.2. **Réseau transeuropéen de transport « RTE-T »**

Le réseau transeuropéen de transport (RTE-T) créé en 1993 se constitue d'infrastructures visant à établir des réseaux transeuropéens de transport unimodal, intermodal et multimodal de haute qualité capables de contribuer au bon fonctionnement du marché interne de l'Union européenne, en assurant la mobilité durable des biens et des personnes dans les meilleures conditions sociales, environnementales et de sécurité possibles. Il a pour objectif de résoudre les problèmes posés par les maillons manquants et les goulets d'étranglement. Quatorze projets prioritaires ont été définis par l'UE15 en 1996. Le champ d'action a ensuite été élargi à 30 axes prioritaires transnationaux en 2004, lors de l'entrée de nouveaux États dans l'Union européenne (UE25). En 2007, des discussions ont commencé à propos des modifications à apporter aux axes majeurs du RTE-T reliant l'Union européenne aux pays voisins. Il s'agit de redéfinir le RTE-T pour qu'il inclue les pays voisins de l'Union européenne jusqu'aux pays de la CEI et de l'Asie centrale, le long des principaux corridors de transport (comme précédemment réalisé pour les pays de l'Europe centrale et du pourtour méditerranéen).

Les projets routiers prioritaires comprennent notamment 1) l'axe autoroutier Igoumenitsa/Patras – Athènes – Sofia – Budapest, 2) l'axe routier Royaume-Uni/Irlande/Benelux et 3) l'axe autoroutier Gdansk – Brno/Bratislava – Vienne.

Outre les projets d'infrastructure prioritaires, le RTE-T prévoit des mesures horizontales visant à :

- accélérer les procédures de passage des frontières;
- simplifier et harmoniser la documentation sur le commerce et le transport (y compris le régime linguistique);
- déployer des technologies nouvelles compatibles;
- prendre des mesures pour améliorer la sûreté et la sécurité de tous les modes de transport et
- améliorer l'interopérabilité technique et administrative.

Parmi les mesures horizontales spécifiquement routières, figurent l'élaboration et l'application de dispositions visant à renforcer la sécurité routière en agissant sur le comportement des conducteurs, la sécurité des véhicules et la sécurité des infrastructures routières ainsi que la modernisation progressive du réseau routier le long des axes majeurs, pour que puissent y circuler des véhicules de transport de marchandises dont la charge à l'essieu va jusqu'à 11.5 tonnes et la hauteur jusqu'à 4 m.

Source : CEMT (2006), Fontaine (2007), Commission européenne (2005).

spécifiques à prendre en compte lors de la normalisation et de l'harmonisation du réseau routier comprennent:

- les systèmes de gestion du trafic (y compris les règles appliquées et les technologies utilisées);
- les accords sur le passage des frontières et les temps d'attente aux frontières résultant des politiques appliquées en matière de douane et de transport;
- la signalisation routière et les informations sur les conditions de circulation et les travaux routiers;
- les opérations d'urgence (numéro d'appel unique, temps de réponse minimum garanti, etc.);

- les aires de stationnement pour les camions (y compris les emplacements des aires de restauration et de repos et les services aux conducteurs);
- les services de véhicules d'urgence (en cas de panne de véhicule ou d'autres incidents imprévus); et
- les systèmes de gestion des réparations, de la maintenance et des catastrophes (y compris réponse des services d'urgence en cas d'accidents de la route ou de mauvaises conditions météorologiques ou environnementales, par exemple inondations ou tremblements de terre, susceptibles d'endommager les routes ou de rendre la conduite dangereuse).

Plusieurs conventions sur le transport routier international peuvent aider à normaliser et harmoniser les réseaux routiers internationaux, parmi lesquelles la Convention sur la circulation routière qui vise à harmoniser les règles de la circulation routière, la Convention sur la signalisation routière qui a produit un nombre important de symboles communs et la Convention TIR qui permet aux camions transportant des marchandises de traverser plusieurs frontières sans contrôles douaniers ni acquittement de droits ou de taxes.

Politiques et réglementations

Accords multilatéraux

Par définition, le transport international de marchandises par route suppose le déplacement de véhicules de transport de marchandises entre deux ou plusieurs pays en vue d'une livraison ou d'une collecte. Sur certains itinéraires internationaux, les marchandises peuvent être amenées à traverser plusieurs pays intermédiaires (on parle alors de transit) pour se rendre du point de chargement au point de livraison. Les réglementations nationales applicables aux véhicules de transport de marchandises, aux mouvements de marchandises et aux conducteurs diffèrent selon les États, de même que l'orientation et la teneur des politiques menées dans le domaine du transport international de marchandises par route. Des conventions ont ainsi été mises en place progressivement pour policer le transport international de marchandises et autoriser les transporteurs à traverser des pays et franchir des frontières pour effectuer leur travail.

La communauté internationale a adopté au fil des ans plusieurs instruments juridiques internationaux dont les dispositions visent à faciliter le transport international de marchandises par route et, notamment, l'accès aux ports maritimes en traversant des pays voisins. Les quatre principaux instruments juridiques destinés à réglementer le trafic de transit et le transit douanier sont (CNUCED, 2007) :

- la Convention et statut sur la liberté du transit, 1921 (entrée en vigueur le 31 octobre 1922; 50 parties);
- l'Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce (GATT), 1947, aujourd'hui intégré au GATT 1994 (entrée en vigueur provisoire le 1er janvier 1948; 150 membres de l'Organisation mondiale du commerce);
- la Convention relative au commerce de transit des États sans littoral, 1965 (entrée en vigueur le 9 juin 1967; 38 États parties);
- la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, 1982 (entrée en vigueur le 16 novembre 1994; 155 États parties).

En outre, l'Accord général sur le commerce des services (AGCS) étend aux services les principes de circulation plus libre et équitable des biens établis par le GATT, une mesure qui concerne notamment les entreprises de transport de marchandises cherchant à développer leur activité à l'étranger (Latrille, 2007).

Comme chacun des instruments susmentionnés traite de questions spécifiques en matière de trafic de transit et de transit douanier, la notion de transit est naturellement définie différemment selon les textes. Le GATT, dans son article V, et la Convention relative au commerce de transit des États sans littoral n'incluent que les marchandises (y compris les bagages) dans leur définition du transit, tandis que la Convention et le statut sur la liberté de transit et la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer tiennent également compte des passagers et considèrent le transbordement comme un type de transit.

Une multitude d'autres conventions et accords juridiques internationaux ont été adoptés par divers organismes intergouvernementaux afin de faciliter le transport routier international et le trafic de transit. Chaque texte couvre des aspects différents du transport international, tels que le transport de marchandises dangereuses, la facilitation du passage des frontières ou le contrat de transport international de marchandises par route ou par rail. D'autres conventions juridiques traitent d'un mode de transport spécifique et régissent, par exemple, l'harmonisation de la signalisation routière ou le transport ferroviaire de marchandises.

Ces instruments juridiques internationaux complètent les accords de transport et de transit bilatéraux, régionaux ou entre pays d'un même corridor et sont souvent cités en référence dans les accords sur le transport ou sur les infrastructures, le stockage et les conditions générales du commerce (CNUCED, 2007). Plusieurs organisations de coopération régionale ont conclu des accords de transit et/ou de transport et la signature d'accords bilatéraux dans des domaines de coopération précis est, pour de nombreux pays, une pratique répandue depuis longtemps. Dans le secteur du transport routier, ces ententes sont souvent nécessaires pour permettre aux transporteurs d'un pays d'effectuer des transports bilatéraux, des transports vers un pays tiers ou des transports en transit *via* un autre pays. Un accord relatif à un corridor de transit s'applique à un itinéraire précis entre deux ou plusieurs pays, le long duquel les États sont convenus d'appliquer des procédures simplifiées. Ce type d'accord traite généralement de questions très spécifiques au corridor et au transit, par exemple les infrastructures, les douanes, le passage des frontières et les véhicules. Un accord de ce type a été conclu par le groupe du corridor de Walvis Bay (Walvis Bay Corridor Group) créé en 2000. Ce groupe réunit des partenaires des secteurs public et privé le long de quatre corridors de transport situés en Afrique australe et conduisant tous au port de Walvis Bay, en Namibie.

A l'évidence, la complexité des accords internationaux et le temps requis pour parvenir à ces accords constituent l'un des problèmes majeurs pour les systèmes de transport terrestre transfrontières et freinent en conséquence certaines des initiatives qui pourraient être prises dans une perspective commerciale et opérationnelle. Comme l'explique la suite de cette section, les opportunités de services sont beaucoup plus nombreuses et les opérations elles-mêmes peuvent être bien plus efficientes lorsque les régimes de transport sont libéralisés.

Libéralisation du transport international de marchandises par route

L'Union européenne fournit un exemple de libéralisation totale du transport routier international de marchandises entre ses États membres. Cette libéralisation du commerce et du transport de marchandises dans l'Union européenne trouve son origine dans le Traité de Rome qui a instauré la Communauté économique européenne. Le Traité de Rome visait notamment à instaurer une politique commune des transports, fondée sur les principes de l'économie de marché, dans le but de supprimer les entraves à la libre concurrence entre transporteurs de pays différents. Des autorisations communautaires multilatérales établies en 1969 se sont ensuite progressivement substituées aux accords bilatéraux. Puis, avec la suppression de ces autorisations multilatérales et la création des licences communautaires, l'ouverture du marché unique européen a servi de catalyseur à la libéralisation du transport international de marchandises par route qui est devenue totale en 1998. Les opérateurs établis dans un État membre ne doivent satisfaire que deux exigences pour pouvoir acheminer des marchandises entre des pays quelconques de l'Union européenne, à savoir *i)* être reconnus en tant que transporteurs routiers professionnels et *ii)* détenir une licence communautaire. Pour satisfaire à la première exigence, ils doivent remplir les trois conditions d'honorabilité, de solvabilité et de capacité professionnelle. Tout transporteur en conformité avec ces règles et avec les autres réglementations nationales d'accès au marché obtient une licence communautaire. Il peut alors effectuer des opérations de transport dans toute la zone géographique de l'Union européenne (CEMT, 2005).

La Commission européenne a harmonisé les réglementations sociales pour empêcher la libéralisation totale d'induire des distorsions de la concurrence du fait des différences entre pays concernant certains facteurs comme les taux de rémunération. Ces réglementations couvrent des questions telles que les horaires de travail, les temps de conduite et de repos des conducteurs et les contrôles techniques périodiques des véhicules à moteur et de leurs remorques.

Exploitation

Au fil du temps, la croissance du commerce mondial et l'amélioration des infrastructures routières et ferroviaires ont facilité le développement du transport international de marchandises par voie terrestre. Dans l'Union européenne, la déréglementation, la suppression des frontières intérieures et l'harmonisation des normes fiscales et techniques, parallèlement à l'introduction de l'euro, ont encouragé les échanges transfrontières intrarégionaux. Dans les autres régions et pays, la meilleure organisation et l'accélération des contrôles aux frontières ainsi que les accords sur le commerce et le transport ont aussi, bien que dans une moindre mesure, favorisé la croissance des échanges internationaux de marchandises par voie terrestre. Les prestataires de services logistiques peuvent de ce fait proposer aujourd'hui plus facilement de faire du transport international routier et ferroviaire de marchandises.

Pour s'implanter sur des marchés étrangers, les prestataires de services logistiques peuvent établir des centres d'opération dans d'autres pays, puis élargir progressivement leur réseau. Néanmoins, plutôt que de suivre cette méthode d'évolution graduelle assez lente, certaines entreprises préfèrent développer leur activité internationale en procédant à des fusions ou acquisitions ou en formant des alliances commerciales stratégiques avec des opérateurs établis dans d'autres pays européens.

L'internationalisation croissante du commerce a contraint les prestataires de services logistiques à revoir leurs stratégies pour répondre aux nouveaux besoins de leurs clients. Il s'agit pour eux de déterminer dans quelle mesure ils peuvent satisfaire l'ensemble de la demande d'une entreprise européenne ou s'il est plus réaliste de ne répondre qu'à une partie de cette demande. Dans de nombreux cas, il subsiste des disparités potentielles entre les besoins logistiques des entreprises européennes et la capacité d'un unique prestataire de services à satisfaire ces besoins. Il arrive donc fréquemment que des sociétés manufacturières soient déçues lorsqu'elles décident de rationaliser leur réseau logistique et qu'elles réduisent le nombre de prestataires de services avec lesquels elles font affaire au niveau européen. Très souvent, la société manufacturière découvre que très peu de ses fournisseurs sont prêts à s'engager à gérer l'ensemble de ses activités européennes.

Les prestataires de services logistiques doivent considérer deux aspects de leur activité en priorité : la zone géographique desservie et la gamme de services proposés. Ces deux aspects montrent à quel point il est difficile pour une seule entreprise de fournir un « service centralisé » à ses clients. Certains prestataires sont déjà en mesure de fournir des services qu'on peut qualifier d'européens, dans la mesure où ils assurent les liaisons à longue distance d'un réseau utilisé par les sociétés manufacturières. C'est le cas des transporteurs aériens, maritimes, transitaires ou groupeurs. Il est clair que c'est au niveau de la distribution locale et nationale que la fourniture de services de transport s'internationalise le plus lentement.

Les prestataires de services logistiques peuvent assurer un grand nombre d'opérations logistiques. Les services de transport et d'entreposage sont très largement répandus depuis plusieurs décennies, tout comme les services de documentation connexes fournis en appui des flux de produits (par exemple, documents relatifs à la livraison ou aux formalités douanières). Les prestataires de services logistiques commencent cependant depuis peu à proposer un éventail toujours plus large d'autres services, tels que l'assemblage final des produits, la gestion des stocks, l'étiquetage des produits et des emballages, le suivi et le repérage des produits le long de la chaîne d'approvisionnement, la planification et le traitement des commandes et les services de logistique inverse (reprise et collecte des produits en fin de vie et des emballages usagés le long de la chaîne d'approvisionnement).

En dépit d'une période d'incertitude quant aux avantages d'échelle dont pourraient bénéficier les prestataires de services logistiques, quelques développements importants ont eu lieu ces dernières années. Les plus gros prestataires ont poursuivi leur croissance en procédant principalement à des fusions et acquisitions et semblent avoir l'intention de développer des capacités plus globales.

Du fait de l'hétérogénéite des marchés mondiaux, les prestataires de services logistiques qui souhaitent satisfaire la demande croissante de services internationaux doivent adopter des approches spécifiques et adaptées à chaque marché différent. Les transporteurs internationaux qui effectuent des opérations transfrontières ont déjà compris que les stratégies nécessitent parfois d'être ajustées à la situation particulière de chaque pays où ils opèrent.

Lorsqu'ils décident de profiter des nouvelles opportunités nées de la mondialisation, les prestataires de services logistiques doivent sélectionner de façon claire celle des stratégies qu'ils veulent poursuivre :

- Stratégie A (mondiale) – Fourniture d'un service mondial de distribution à la fois à l'intérieur d'un certain nombre de pays et entre ces pays.

- Stratégie B (multinationale) – Fourniture de services nationaux dans plusieurs pays.
- Stratégie C (de liaison globale) – Fourniture de tout ou partie d'une panoplie de services essentiellement internationaux entre les principaux marchés mondiaux.

La stratégie la plus ambitieuse est bien sûr la première : fournir un service réellement global. Plusieurs prestataires de services logistiques s'efforcent actuellement d'atteindre cet objectif, même s'il constitue un vrai défi. Le fondement de la stratégie multinationale semble être la duplication réussie de services nationaux dans d'autres pays, les services d'origine étant adaptés le cas échéant.

Encadré 5.3. **Une caravane internationale de camions relie Pékin à Bruxelles**

Destinée à couvrir un trajet de 12 000 km, la caravane de camions a quitté la Conférence Euro-Asie sur le transport routier organisée par l'Union internationale des transports routiers (IRU) le 27 septembre 2005 et rallié Bruxelles le 17 octobre. Des transporteurs routiers de plusieurs pays participaient au projet.

Initié par KAZATO, une association kazakhe membre de l'IRU, et soutenu par divers États, institutions internationales et associations de transporteurs routiers, le projet avait pour objectif de démontrer que le transport routier est un mode efficient d'acheminement de marchandises par voie terrestre entre l'Europe et les pays de la région Asie-Pacifique.

La caravane est partie de Horgos, en Chine, avec des conteneurs pleins fournis par des transporteurs chinois. Les conteneurs (sous le couvert de carnets TIR) ont alors entamé leur voyage dans des camions kazakhs, lettons, lituaniens, polonais et russes.

Le président de l'IRU, Paul Laeremans, a déclaré que cette caravane avait prouvé que des marchandises peuvent être transportées de façon efficiente de la Chine jusqu'aux pays de la CEI, voire de l'Union européenne en trois fois moins de temps qu'il n'en faut par mer. Cette caravane montre que, sur un marché mondial toujours plus concurrentiel, le transport routier a cessé d'être un simple moyen de transport pour devenir un véritable outil de production irremplaçable pour toutes les entreprises et économies.

Peter-Hans Keilbach, représentant principal de la Chambre de Commerce des États-Unis, a déclaré pour sa part : « Le commerce entre la région Asie-Pacifique et l'Europe pèse plus de 300 milliards de dollars par an. Les entreprises américaines ont investi plus de 4 milliards de dollars en Chine en 2004 et ce chiffre augmente chaque année. Les actifs américains en Europe représentent près de 3 300 milliards de dollars. Les échanges actuels entre l'Asie et l'Europe se font principalement par mer et *via* des ports de manutention de fret très coûteux. Le transport routier permettra de ramener le temps de transit à moins de 3 semaines, de diminuer les coûts et de faciliter les livraisons de porte à porte ».

Lors de la table ronde sur le potentiel de transit de la Russie en matière de fret routier, organisée le jour de l'arrivée de la caravane de camions à Moscou, M. Rounov, délégué général de l'IRU auprès de la CEI, a insisté sur les avantages concurrentiels du transport routier en termes de rapidité de déplacement et de capacité de livraison de porte à porte. M. Sukhin, président de l'Association russe des transporteurs routiers internationaux, a indiqué que la vitesse moyenne de transport par route (16 km/h) était supérieure à celles des transports maritime (4 km/h) et ferroviaire (8 km/h).

Source : IRU (2005).

Criminalité à l'encontre des transporteurs routiers

Les conducteurs de véhicules de transport international de marchandises sont souvent victimes d'attaques qui peuvent viser les véhicules, les cargaisons et leur propre personne. Le fait qu'ils circulent dans des pays étrangers, parfois dans des lieux isolés, les expose à des risques plus importants que dans leur pays d'origine.

En 2005 et 2006, l'IRU et le FIT (anciennement CEMT) ont mené une enquête sur les attaques subies par les conducteurs de véhicules de transport international de marchandises (IRU, 2008). Effectuée auprès de conducteurs, d'entreprises de transport et d'autorités des transports de 35 pays d'Europe et d'Asie centrale, cette enquête documente la nature et la gravité des attaques qui visent les conducteurs de véhicules de transport de marchandises en déplacement à travers l'Europe, ainsi que la façon dont les pouvoirs publics font face à la situation. Quelque 1 300 entretiens en tête à tête ont été conduits et 700 réponses à un questionnaire diffusé sur Internet ont été collectées. Les personnes interrogées devaient faire part de leur expérience sur la période 2000-2005. Les principales conclusions se résument comme suit (IRU, 2008; Crass, 2007) :

- 17 % des conducteurs interrogés ont été victimes d'une attaque au cours de cette période de 5 ans;
- 30 % des conducteurs attaqués ont été victimes d'au moins deux attaques;
- 21 % des conducteurs attaqués ont été victimes d'agressions physiques;
- 60 % des attaques visaient le véhicule et son chargement et 40 % des attaques se sont accompagnées du vol d'effets personnels du conducteur.

Technologies

Cette section s'intéresse à deux aspects de la technologie ayant une influence sur le transport routier international. Elle examine les questions liées aux spécifications techniques des véhicules eux-mêmes et aux progrès rapides des technologies de l'information et de la communication. Il est clair que ces derniers ont un impact majeur sur l'efficience et les opportunités commerciales du transport routier international de marchandises à longue distance.

Technologies des véhicules

La CEE-ONU a rédigé deux accords importants concernant les technologies applicables aux véhicules de transport routier international de marchandises. Ces accords sont ouverts à tous les membres de l'ONU (Ferrer, 2005) :

- « Accord concernant l'adoption de prescriptions techniques uniformes applicables aux véhicules à roues, aux équipements et aux pièces susceptibles d'être montés ou utilisés sur un véhicule à roues et les conditions de reconnaissance réciproque des homologations délivrées conformément à ces prescriptions », également appelé « Accord de 1958 ».
- « Accord concernant l'établissement de règlements techniques mondiaux applicables aux véhicules à roues, ainsi qu'aux équipements et pièces qui peuvent être montés et/ou utilisés sur les véhicules à roues », également appelé « Accord de 1998 ». Ce texte sert de cadre juridique à la mise en œuvre de règlements techniques mondiaux applicables aux véhicules routiers. Son premier objectif est de répondre aux préoccupations des États-Unis concernant le système d'homologation par type inclus dans l'Accord de 1958 et leur perception d'une perte de souveraineté.

Ces deux accords de la CEE-ONU servent de cadre juridique à l'élaboration de règlements techniques visant à améliorer la sécurité et la performance environnementale des véhicules routiers, notamment les véhicules de transport de marchandises. Ils permettent de supprimer certains obstacles non tarifaires dus à l'hétérogénéité des normes applicables aux véhicules et de simplifier l'harmonisation des différentes normes nationales.

Dans le but de limiter les rejets de polluants produits par les transports routiers de marchandises, l'Union européenne a établi des règles régissant les normes d'émissions des moteurs des véhicules de transport de marchandises neufs (normes Euro). La mise en application de ces normes doit notablement améliorer la qualité de l'air en Europe, principalement grâce à la réduction des concentrations de polluants atmosphériques et de particules. Par ailleurs, les États membres doivent accepter les véhicules de transport de marchandises venant d'autres États membres s'ils respectent les limites maximales de poids (poids total en charge autorisé et charge à l'essieu) et de dimensions (longueur et hauteur). Le poids maximal autorisé est de 40 tonnes pour les trains routiers et les véhicules articulés avec remorque à 2 ou 3 essieux et de 44 tonnes pour les véhicules à moteur à trois essieux avec semi-remorque à 2 ou 3 essieux transportant un conteneur de 40 pieds ISO. Les États membres peuvent également autoriser les poids lourds de dimensions et de masses supérieures à circuler sur leurs routes nationales.

Technologies de l'information et de la communication

Un grand nombre de technologies de l'information et de la communication désormais couramment appliquées aux opérations logistiques et aux activités de transport de marchandises ont fait gagner le transport international de marchandises par route en efficience et en sécurité. Au nombre de ces technologies figurent :

- les systèmes de suivi des véhicules et des remorques;
- les systèmes de communication embarqués;
- les systèmes de planification et d'organisation informatisées de la circulation des véhicules;
- les systèmes de navigation par satellite;
- les systèmes de suivi et de repérage;
- la dématérialisation des documents et des formalités de dédouanement.

Systèmes de suivi des véhicules et des remorques. Les systèmes de suivi des déplacements des véhicules de transport de marchandises existent depuis de nombreuses années. Ils peuvent être utilisés pour surveiller aussi bien les chargements que les véhicules ou les remorques. Ils comprennent généralement un ordinateur embarqué, un recepteur GPS et un module de communication. Ils permettent d'empêcher et de détecter les vols de véhicules et de marchandises et, partant, de renforcer la sécurité des conducteurs. Parmi les applications de sécurité les plus courantes figurent *i)* le bouton d'alarme utilisé par le conducteur pour prévenir l'entreprise qui peut ainsi alerter la police et localiser le véhicule, *ii)* l'immobilisation du véhicule à distance, avec parfois verrouillage des portes et activation des feux clignotants et du klaxon et *iii)* les postes de suivi de véhicules, proposés par plusieurs fournisseurs de systèmes de suivi, qui repèrent les véhicules ou remorques qui sortent d'une zone prédéfinie ou circulent en dehors des heures de service habituelles.

Systèmes de communication embarqués. Ces systèmes peuvent aller des téléphones mobiles et satellitaires aux systèmes informatiques ou de messagerie électronique

embarqués. Ils permettent aux conducteurs de rester en liaison avec leur employeur et avec les entreprises sur les sites desquelles ils doivent charger ou livrer des marchandises. Les conducteurs peuvent être avertis à l'avance d'un changement de planning ou de l'apparition d'un problème. Ils peuvent aussi contacter des partenaires de la chaîne d'approvisionnement, des services de dépannage ou la police en cas d'urgence.

Systèmes de planification et d'organisation informatisées de la circulation des véhicules. Ces systèmes fournissent des cartes numériques et des paramètres personnalisables permettant de planifier les itinéraires et les calendriers de déplacement des véhicules pour satisfaire au mieux les commandes. Ils améliorent la qualité du service rendu au client et le processus de planification et réduisent la longueur et la durée des trajets, ce qui limite les frais de carburant.

Systèmes de navigation par satellite. Les systèmes de navigation par satellite fournissent au conducteur des instructions et des cartes lui permettant d'atteindre sa destination. Ils sont particulièrement utiles lors de déplacements à l'étranger, quand le conducteur ne connaît pas les villes ou les pays qu'il traverse parce qu'ils réduisent le temps de sélection de l'itinéraire et évitent de prendre la mauvaise direction. Cependant, ils posent encore certains problèmes. Il arrive par exemple que des systèmes guident des conducteurs de manière erronée et leur fassent emprunter un itinéraire plus long que l'itinéraire optimal existant. De plus, les chauffeurs de poids lourds se plaignent souvent du fait que certains parcours indiqués sont impraticables pour cause de contraintes telles que hauteurs de ponts, largeurs de routes ou limitations de poids, car ces données ne figurent pas dans les logiciels de cartographie informatisée (Freight Best Practice, 2006). En Europe, les médias citent souvent des cas de chauffeurs de poids lourds étrangers qui, guidés par un système de navigation par satellite, se sont retrouvés bloqués pendant plusieurs jours sur une route inappropriée, dont ils ont en outre interrompu la circulation.

Systèmes de suivi et de repérage. Les systèmes de suivi et de repérage servent à localiser les produits tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Grâce à eux, la visibilité des produits est garantie à tout moment et à chaque étape de la chaîne. Ces systèmes sont très largement utilisés dans le secteur de la messagerie internationale, où les entreprises peuvent ainsi garantir des livraisons plus sûres, plus fiables et ponctuelles. Ils permettent en outre d'améliorer la planification et, le cas échéant, de retrouver des produits égarés en cours de route. Les technologies d'identification par radiofréquence (RFID) ou de sceaux électroniques[5] sont de plus en plus appliquées au suivi des conteneurs et autres chargements transportés par route à travers plusieurs pays.

Dématérialisation des documents et des formalités de dédouanement. Les systèmes de documentation électroniques permettent de télécharger les données des connaissements dans le terminal d'un conducteur au début et tout au long de sa journée de travail, pour une plus grande flexibilité des opérations. Les bons de livraison électroniques raccourcissent les délais de livraison et constituent une preuve immédiate de l'arrivée à bon port et de la réception des marchandises. L'abandon du support papier a également pour avantages de réduire la paperasserie, les coûts administratifs ainsi que les erreurs de livraison et de facturation et d'améliorer le suivi des commandes et des expéditions. En conséquence, les coûts d'exploitation sont plus faibles et le service proposé au client est de meilleure qualité.

De nombreuses autorités douanières se sont informatisées pour accélérer les procédures et les rendre plus fiables, mieux sécurisées et moins vulnérables à la fraude et à la corruption. L'informatique peut aussi aider à collecter les recettes douanières, réduire de beaucoup le nombre requis d'inspections physiques des marchandises, appliquer des procédures de dédouanement anticipé et réaliser des analyses de risques. Elles peuvent servir à mieux planifier l'heure et le lieu des inspections physiques et raccourcir ainsi des temps d'attente des camions et des conteneurs. L'une de ces applications TIC est le Système douanier automatisé (SYDONIA) de la CNUCED, utilisé pour gérer les systèmes de transit douanier (CNUCED, 2006). Il est également prévu d'informatiser certains documents du transport routier international, par exemple les carnets TIR.

5.7. Évolution récente du transport international de marchandises par chemin de fer

Le transport ferroviaire est généralement plus réglementé que le transport routier et, très souvent, les pouvoirs publics participent directement à la fourniture des services, en sus de leurs responsabilités en matière de gestion des infrastructures. La présente section est divisée en quatre parties (infrastructures; politiques et réglementations; exploitation; technologies), mais il existe de nombreuses interrelations entre les différents problèmes soulevés.

Infrastructure

Pour que les trains de marchandises puissent traverser librement les frontières, le critère physique le plus critique est l'interconnexion active des réseaux. Dans certains pays, les réseaux ferroviaires sont nationaux par nature et les liaisons transfrontalières ou bien n'ont jamais été construites, ou bien ne fonctionnent plus. En Amérique du Sud par exemple, les liaisons qui existaient auparavant entre la Colombie et le Venezuela et entre le Guatemala et le Salvador ont disparu (CEPALC, 2003). En Europe, les différents réseaux ferroviaires nationaux sont plutôt bien interconnectés, mais la qualité des liaisons transfrontalières est souvent moins bonne que celle des corridors nationaux. Quand il existe une liaison transfrontalière physique, c'est l'écartement des voies (c'est-à-dire la distance entre les deux rails), autrefois fixé par les pays lors de la construction de leur réseau ferré, qui constitue le problème d'infrastructure majeur pour le trafic ferroviaire. Ce problème subsiste encore à l'intérieur même de certains États, mais c'est aux frontières qu'il est le plus important. Les deux écartements les plus fréquents sont l'écartement métrique (1000 mm) et l'écartement standard (1435 mm), mais on trouve encore d'autres écartements dans certaines régions du monde. Lorsque l'écartement n'est pas le même de part et d'autre d'une frontière, le passage de cette frontière nécessite plus de temps et d'argent puisqu'il faut transborder les cargaisons d'un train à un autre ou bien changer les essieux des wagons pour qu'ils puissent poursuivre leur trajet sur l'autre type de voie.

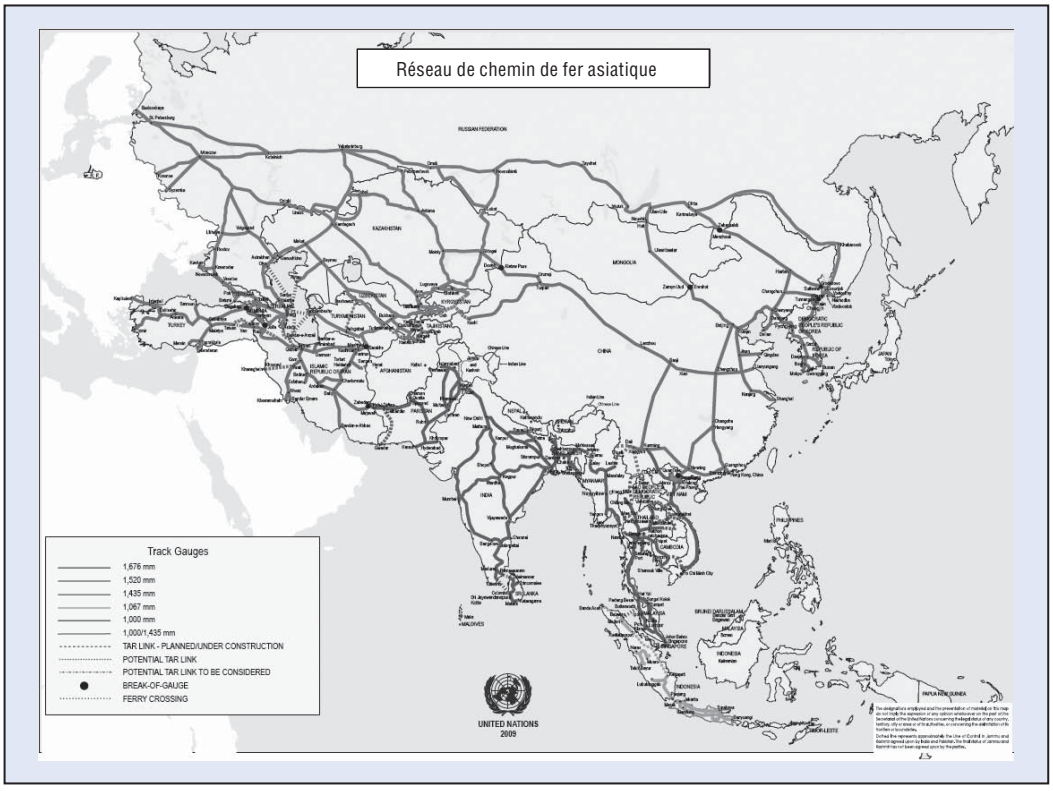
L'écartement des voies change aux frontières suivantes :

- Le Sud du Brésil est équipé de voies à écartement métrique tandis que l'Uruguay et l'Argentine ont opté pour l'écartement standard. Il n'y a compatibilité qu'au niveau de la liaison entre la Bolivie et le Brésil (CEPALC, 2003).
- La France utilise l'écartement standard, mais les voies ferrées traditionnelles espagnoles et portugaises ont des écartements de respectivement 1672 mm et 1664 mm. De nouvelles lignes ferroviaires à grande vitesse sont actuellement construites dans la péninsule ibérique avec l'écartement standard (Commission européenne, 2005), mais le transport de

marchandises devra continuer d'emprunter les voies traditionnelles sur lesquelles les différences d'écartement devraient encore exister pendant plusieurs années.

- En Asie, il existe au moins cinq écartements différents, allant de la norme métrique dans la majeure partie de l'Asie du Sud-Est jusqu'à 1676 mm dans le sous-continent indien. La Chine applique en général la norme standard, tandis que la Russie utilise un écartement de 1520 mm (voir graphique 5.7).

Graphique 5.7. **Réseau de chemin de fer asiatique**



Source : UNESCAP (2006), *www.unescap.org/ttdw/Publications/TIS_pubs/pub_2434/integrated_2434_full.pdf*.

L'autre problème d'infrastructure rencontré au passage des frontières est celui des différences de tensions des lignes électrifiées, qui nécessite un changement de locomotive lorsque celle-ci fonctionne à l'électricité. Toutefois, cette contrainte n'est pas aussi importante que celle de l'écartement des voies car le changement de locomotive prend moins de temps que le changement des essieux de tout un train. En outre, les services transfrontaliers sont souvent assurés par des locomotives diesel (même si le réseau ferroviaire est électrifié) et, comme on le verra plus loin, il existe des locomotives électriques polycourant pour les services internationaux.

Plusieurs initiatives ont été mises en œuvre pour améliorer l'interconnexion des réseaux ferroviaires nationaux et ainsi fournir un service de meilleure qualité sur des corridors à longue distance, en particulier en Europe où, plus qu'ailleurs, les pays sont petits et le trafic marchandises international des chemins de fer important. L'une de ces initiatives est RailNetEurope (voir encadré 5.4). Dans le reste du monde, les alliances et/ou conflits politiques ont une incidence sur la poursuite de l'utilisation des infrastructures

Encadré 5.4. **RailNetEurope**

Créé en 2004, RailNetEurope (RNE) compte aujourd'hui 31 membres gestionnaires d'infrastructures ferroviaires dans l'Union européenne, responsables à eux tous d'un réseau d'environ 230 000 km. Ces membres entendent développer une approche européenne cohérente en matière de trafic ferroviaire international en procédant à une meilleure harmonisation des systèmes et en supprimant certains des obstacles actuels.

RNE a pour mission :

- de développer le trafic sur le réseau ferroviaire européen;
- de faciliter l'accès aux infrastructures ferroviaires européennes;
- d'améliorer la qualité du service ferroviaire; et
- d'augmenter les performances des procédures de planification et d'exploitation associées.

A titre d'exemple, l'une des initiatives de RNE est le concept de service centralisé « One-Stop-Shop » qui réunit des réseaux ferroviaires distincts au sein d'un même corridor international et propose un point de contact unique aux prestataires de services qui souhaitent opérer sur deux ou plusieurs réseaux des fournisseurs d'infrastructures. Ce dispositif devrait contribuer à réduire les entraves au passage des frontières et simplifier le processus d'établissement de nouveaux flux de transport ferroviaire international de marchandises.

Source : RailNetEurope (2008).

transfrontalières existantes ou sur la mise en service de nouvelles lignes. Par exemple, avec la dissolution de l'Union soviétique et les troubles qui l'ont suivie dans la majeure partie du Caucase, de nombreux itinéraires ferroviaires reliant la Russie, l'Arménie, la Géorgie et l'Azerbaïdjan ont été abandonnés et les volumes de marchandises transportées par rail ont baissé (Jackson, 2008). Des nouvelles voies sont aujourd'hui proposées dans cette région ainsi que des itinéraires extérieurs vers la Turquie et l'Iran qui pourraient un jour faire partie des corridors internationaux stratégiques à longue distance prévus pour le continent asiatique. Des nouvelles lignes sont également prévues en Asie du Sud-Est pour relier la Chine à la Thaïlande, à Singapour et au sous-continent indien (Briginshaw, 2007). Si l'ensemble des réseaux actuellement envisagés ou en construction voient le jour, on devrait assister à une nette amélioration de l'interconnexion ferroviaire en Asie et donc à l'apparition d'un large éventail de nouvelles opportunités de mobilité internationale.

Politique/réglementation

Dans de nombreuses régions du monde, on considère que le réseau ferroviaire relève de la responsabilité du secteur public. Beaucoup d'États ont néanmoins engagé un processus de libéralisation. L'impulsion a été donnée par l'Amérique du Nord, mais le mouvement se poursuit à peu près partout, notamment en Australasie, en Amérique du Sud et en Europe. Il n'existe pas de processus de libéralisation standard, mais la concurrence entre entreprises de transport de marchandises par chemin de fer est désormais largement répandue. Le tableau 5.7 montre que les stratégies adoptées par l'Amérique du Nord et l'Europe sont très différentes. En conséquence, le secteur public continue à jouer un rôle très important sur le marché ferroviaire européen. Cette situation pourrait également être due à la fragmentation de ce marché, qui contraste avec l'environnement beaucoup plus intégré de l'Amérique du Nord où trois pays seulement se

Tableau 5.7. **Différences institutionnelles entre l'Amérique du Nord et l'Europe**

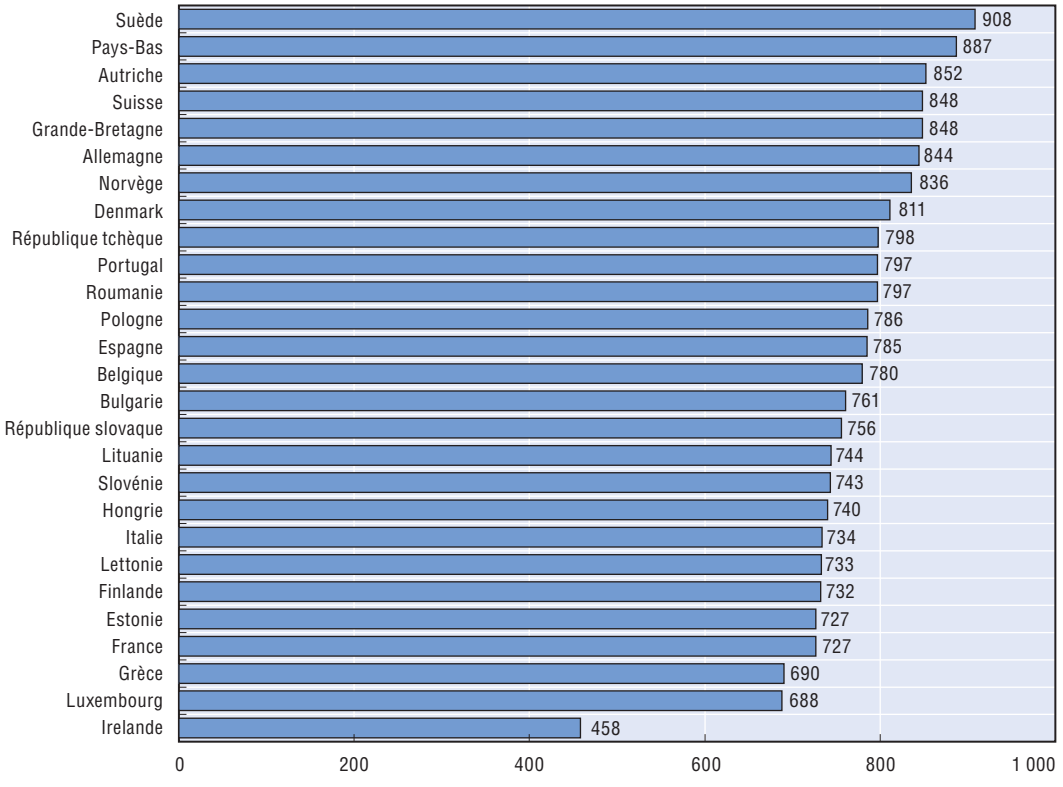
	Amérique du Nord	Europe
Politique ferroviaire	Concurrence	Régulation
Concurrence ferroviaire	Voies parallèles	Voies partagées
Contrôle des infrastructures	Exploitant	Autorité de régulation
Financement des infrastructures	Privé	Public

Source : Posner (2008).

partagent une masse continentale très étendue. Par ailleurs, quelle que soit la nature du marché, les politiques publiques restent un facteur très important.

L'Union européenne a fait de la croissance du fret ferroviaire international un objectif politique, pour des raisons économiques, environnementales et sociales. Au cours de la dernière décennie, elle a mis en place une série de paquets visant à libéraliser le marché du fret ferroviaire, en particulier pour le trafic transfrontière. Le graphique 5.8 montre l'état d'avancement actuel de la libéralisation du transport de marchandises par chemin de fer dans l'Union européenne. Comme on peut le constater, les expériences diffèrent, 8 pays étant même considérés comme « en avance ». Un seul pays, l'Irlande, se retrouve dans la catégorie « en retard ». Selon la législation européenne, le fret ferroviaire international doit maintenant être libéralisé, même si certains pays sont moins enthousiastes que d'autres à l'idée du développement de la concurrence entre prestataires de services.

Graphique 5.8. **Libéralisation du transport ferroviaire de marchandises en Europe**



Légende : Entre 1000 et 800 : pays en avance ; entre 799 et 600 : pays dans les temps ; entre 599 et 300 : pays en retard.
Source : IBM Global Business Services (2007).

Opérations

L'internationalisation des transports influe sur le fret ferroviaire de plusieurs manières. Cette section présente trois des facteurs en jeu pour illustrer l'étendue des effets constatés :

- Expansion géographique des opérateurs.
- Fourniture de nouveaux services internationaux grâce à la coopération entre opérateurs.
- Corridors ferroviaires de ponts terrestres.

Avec la libéralisation de la fourniture de services de transport ferroviaire dans plusieurs régions du monde, les opérateurs nationaux de fret ferroviaire ont entrepris d'étendre leur activité à l'étranger. L'un des premiers exemples, qui date des années 90, est l'expansion de la compagnie ferroviaire américaine Wisconsin Central, aujourd'hui filiale du Canadien National (CN), en Nouvelle-Zélande, au Canada, au Royaume-Uni et en Australie, souvent par le rachat d'activités de fret ferroviaire privatisées par certains États (Canadien National, 2008). L'opérateur brésilien privé America Latina Logistica (ALL) propose désormais ses services de l'autre côté de la frontière, dans le nord de l'Argentine (Kolodziejski, 2005). Plus récemment, Railion Logistics a entrepris d'élargir rapidement son activité à toute l'Europe (voir encadré 5.5).

Encadré 5.5. **Expansion européenne de Railion Logistics**

Railion est une filiale de la compagnie ferroviaire nationale allemande Deutsche Bahn AG qui détient la majorité de ses actions, dont une petite partie est par ailleurs aux mains des compagnies ferroviaires nationales néerlandaise et danoise. Elle opère principalement en Allemagne, sous le nom de Railion Deutschland, mais propose aussi directement ses services aux Pays-Bas, au Danemark, en Italie et en Suisse, par l'intermédiaire de filiales implantées dans ces pays. Elle étend son champ d'ativité par voie d'acquisitions et de partenariats. Elle a ainsi, en 2007:

- créé une entreprise commune avec l'opérateur suédois Green Cargo pour améliorer la fourniture de services entre la Scandinavie et l'Europe centrale,
- acquis EWS, premier opérateur de fret ferroviaire britannique, qui a également développé ses opérations en libre accès à l'infrastructure en France, et
- racheté la majorité des parts de Transfesa, une société logistique espagnole possédant d'importants intérêts dans le secteur ferroviaire.

Du fait de sa rapide expansion géographique, entamée peu après la libéralisation du marché du fret ferroviaire de l'Union européenne, Railion est en train de devenir un véritable opérateur européen de fret ferroviaire.

Source : Railion (2007, 2008).

Parallèlement à l'expansion territoriale des opérateurs de fret ferroviaire, on assiste au développement des services internationaux grâce à des accords de coopération conclus entre fournisseurs de services et/ou gestionnaires d'infrastructures, lorsque deux ou plusieurs opérateurs de fret sont responsables du transit entre un point d'origine et une destination. La compagnie ferroviaire nationale russe RZD a ainsi établi des partenariats avec plusieurs pays voisins et créé une entreprise commune, Eurasia Rail Logistics, avec l'Allemagne, la Pologne et la Biélorussie (Lukov, 2008). Plusieurs partenariats se sont également noués au sein de l'Union européenne depuis le début du processus de libéralisation et diverses initiatives ont par la

suite été lancées en vue d'améliorer la qualité du service dans le droit fil de la Charte de qualité CER-UIC-CIT[6] de 2003 (CER, 2005). Cette charte se concentre principalement sur la ponctualité des trains et l'établissement de contrats qualité entre les compagnies ferroviaires et les clients. La CER prétend que la ponctualité des services est désormais nettement meilleure sur les corridors internationaux, le pourcentage de trains arrivant avec moins d'une heure de retard par rapport à l'heure prévue étant passé de 50 % en 2001 à 72 % en 2004. L'adoption très rapide de la charte, qui englobe de plus en plus de services, devrait entraîner d'autres améliorations.

Le troisième facteur, qui peut découler de l'expansion de certains opérateurs comme de la coopération entre opérateurs, est la capacité du réseau ferroviaire à assurer les liaisons terrestres des chaînes d'approvisionnement internationales dominées par le transport maritime, principalement pour les conteneurs. Le pont terrestre américain qui achemine jusqu'à la Côte Est des conteneurs expédiés d'Asie *via* l'Océan Pacifique est bien établi et les conteneurs internationaux représentent la majorité des quelque 15 millions d'unités intermodales transportées par rail entre l'ouest et l'est des États-Unis (Briginshaw, 2007). La croissance du trafic entre l'Asie et l'Amérique du Nord a entraîné la croissance similaire du pont terrestre pour les opérateurs nord-américains tels que Union Pacific, BNSF Railway, Canadien Pacifique et Canadien National (Lustig, 2006). En Asie du Sud-Est, le pont terrestre qui relie la Malaisie à la Thaïlande est lui aussi en plein développement, malgré la concurrence des navires (Abdullah, 2006). Un projet de pont terrestre similaire est actuellement à l'étude en Arabie Saoudite, pour relier la mer Rouge au Golfe et permettre ainsi le transport plus direct de marchandises de l'important port islamique de Jeddah sur la mer Rouge jusqu'à la région du Golfe (Jackson, 2005).

Enfin, on observe l'élaboration de plans encore plus innovants de nouveaux services à longue distance qui mettraient à profit l'amélioration des réseaux et l'assouplissement de la réglementation susmentionnés. L'encadré 5.6 décrit, à titre d'exemple, un essai de transport ferroviaire de conteneurs entre la Chine et l'Europe réalisé au début 2008, qui pourrait bien marquer le début d'un effort concerté des compagnies ferroviaires, visant à leur faire gagner des parts du marché en rapide expansion du transport de marchandises entre l'Extrême-Orient et l'Union européenne.

Encadré 5.6. **Essai de transport ferroviaire de conteneurs entre la Chine et l'Allemagne**

Compte tenu de l'augmentation des volumes échangés entre la Chine et l'Union européenne, un train de conteneurs, transportant toute une gamme de produits de grande consommation a été testé en janvier 2008 entre Pékin et Hambourg. Le parcours de 10 000 kilomètres à travers 6 pays (Chine, Mongolie, Russie, Biélorussie, Pologne et Allemagne) a duré 15 jours, soit environ deux fois moins longtemps que le trajet par mer entre les deux villes. Au vu du succès de cet essai, il est envisagé de démarrer un service de transport régulier sur ce corridor.

Source : Deutsche Bahn AG (2008).

Technologies

Bien que les avantages potentiels des nouvelles technologies soient plus importants sur un marché continental fragmenté, les pays européens ont moins tendance que l'Amérique du Nord à y recourir pour favoriser la concurrence dans le secteur du fret

ferroviaire. D'une façon générale, ce secteur est lent à développer et mettre en œuvre des innovations technologiques. Le double handicap de l'utilisation encore fréquente de techniques traditionnelles et de l'incompatibilité entre les différents systèmes nationaux, à laquelle les solutions technologiques adoptées n'ont pas pu remédier, entrave considérablement les échanges internationaux par rail.

Les États-Unis ont progressivement modernisé leurs systèmes, par exemple en optant pour des charges par essieu plus importantes, le suivi automatique des wagons ou l'attelage automatique, alors que l'Europe tarde à appliquer de nouvelles méthodes (Anon, 2008). Cette situation pourrait être le reflet de la différence entre l'impératif commercial des opérateurs nord-américains, qui voient dans les investissements un moyen de renforcer leur position sur le marché ferroviaire, et le mode de fonctionnement des structures européennes, sous le contrôle ou l'influence des États et peu enclines à l'innovation. L'Agence ferroviaire européenne annonce comme l'un de ses principaux objectifs le développement et l'application de nouvelles technologies et pratiques d'exploitation normalisées, dans le but de rendre le rail plus compétitif face à la route, en particulier pour les flux transfrontières pour lesquels l'interopérabilité est actuellement un obstacle majeur (ERA, 2007). L'encadré 5.7 présente plusieurs technologies en développement ou sur le point d'être déployées dans l'Union européenne dans le but de remédier aux différences d'infrastructures et d'améliorer la qualité des services de transport international de marchandises par chemin de fer.

Encadré 5.7. **Technologies visant à améliorer l'interopérabilité dans l'Union européenne**

L'interopérabilité peut être améliorée par les technologies suivantes :

- Locomotives électriques polycourant : plusieurs nouveaux modèles de locomotives peuvent désormais franchir des frontières. La locomotive Traxx, par exemple, est équipée de convertisseurs qui lui permettent de rouler sur la plupart des réseaux électrifiés européens.
- Systèmes de signalisation : l'un des composants clés du Système européen de gestion du trafic ferroviaire (ERTMS) est un nouveau système de signalisation interopérable conçu pour réduire les coûts d'exploitation et augmenter la compétitivité du rail grâce à l'application, sur tout le continent, de normes communes intégrant les technologies modernes.
- Changements d'écartement des essieux : en attendant la normalisation complète des écartements des voies dans toute l'Union européenne, des nouvelles technologies permettent de changer plus rapidement l'écartement des essieux des wagons, afin de réduire les temps d'attente aux frontières entre pays dont les écartements diffèrent.
- Charge utile des trains : l'Europe développe des solutions technologiques pour rendre les trains de marchandises plus longs, plus larges et/ou plus lourds, ce qui permettrait de réaliser des économies d'échelle et donc de faire baisser le coût unitaire du transport ferroviaire.
- Technologies de l'information (par exemple, suivi des expéditions) : une spécification technique d'interopérabilité (TSI) a été développée en liaison avec l'adoption d'applications télématiques normalisées destinées à alimenter le système ERTMS.

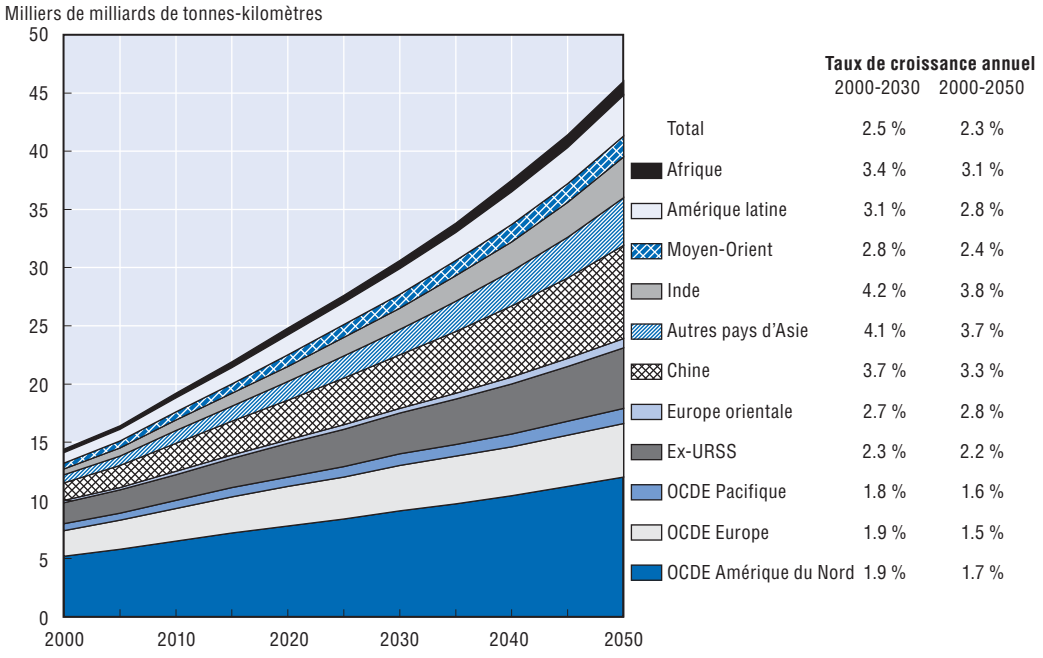
Si certaines de ces initiatives commencent déjà à réduire le temps de passage des frontières et à améliorer la performance des services de transport international de marchandises, les progrès sont néanmoins relativement lents dans leur ensemble et l'application complète de certaines mesures (par exemple, le système ERTMS) devrait prendre encore plusieurs années.

Source : CER (2007a), CER (2007b) et Vitins (2008).

5.8. Perspectives pour l'avenir

Des projections concernant les volumes totaux (c'est-à-dire nationaux et internationaux) de marchandises transportées par route et par rail ont été établies en 2004 dans le cadre du projet Mobilité durable du World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2004). Selon ces prévisions, le trafic marchandises routier et ferroviaire devrait augmenter substantiellement jusqu'en 2050. Le graphique 5.10 ventile les chiffres par région tandis que le graphique 5.10 les ventile par mode (route – avec distinction entre utilitaires légers et poids lourds – et rail). Aux États-Unis, les flux internationaux et nationaux de marchandises devaient augmenter de respectivement 111 % et 91 % entre 2002 et 2035 alors que le trafic marchandises routier et ferroviaire international devrait croître de respectivement 188 % et 112 % au cours de la même période (Office of Freight Management and Operations, 2007).

Graphique 5.9. **Évolution du fret routier et ferroviaire jusqu'en 2050, par région**

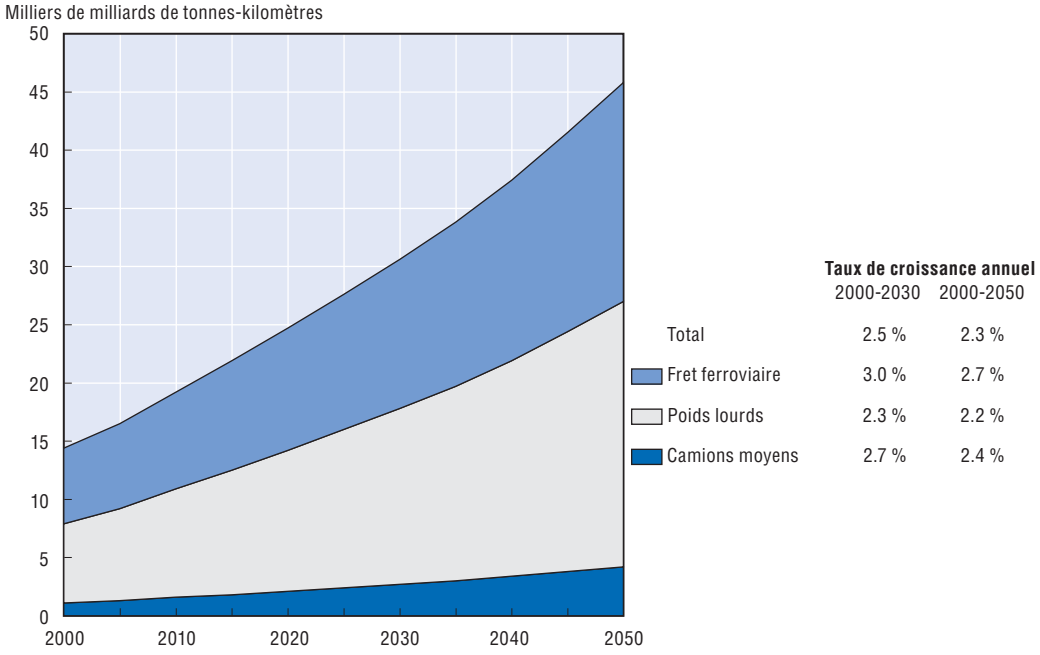


Source : WBCSD (2004).

Ces prévisions ne distinguent pas les flux internationaux des autres, mais il est permis de supposer que si le transport routier et ferroviaire international devait suivre la tendance générale évoquée ci-dessus, il deviendrait impérativement nécessaire d'améliorer les infrastructures et de supprimer les goulets d'étranglement.

Tout n'est cependant pas qu'une simple question d'infrastructure. Les travaux récemment entrepris pour développer un indice de performance logistique (LPI) suggèrent que les décideurs devraient voir au-delà de l'approche traditionnelle de « facilitation des échanges », centrée sur l'amélioration des infrastructures routières et l'informatisation des procédures douanières, pour s'engager également dans la réforme des marchés des services logistiques et dans la réduction des défauts de coordination, en particulier ceux des organes publics chargés des contrôles aux frontières (Arvis *et al.*, 2007). L'indice de performance logistique est un outil d'évaluation comparative développé par la Banque

Graphique 5.10. **Évolution du fret routier et ferroviaire jusqu'en 2050, par mode**



Source : WBCSD (2004).

mondiale pour mesurer les performances nationales le long des chaînes logistiques d'approvisionnement. Des transitaires et transporteurs express du monde entier ont été interrogés. Les résultats obtenus permettent de comparer les situations respectives de 150 pays. Cet indice a pour but d'aider les États à mieux identifier les défis et les opportunités qui les attendent, afin d'améliorer leur performance logistique de manière à rendre le transport international de marchandises plus rapide, plus fiable et moins coûteux (Arvis *et al.*, 2007).

Il est clair que de nombreuses multinationales optimisent le nombre de leurs prestataires de services logistiques, tout comme elles ont rationalisé leurs opérations de production et d'entreposage (il y a bien sûr un lien entre toutes ces évolutions). Cette tendance, ajoutée à la croissance des échanges intrarégionaux, devrait faire augmenter la demande de services de transport et de logistique. Les changements politiques ont ouvert de nouveaux marchés géographiques, tant pour la production que pour la consommation. Pour tirer le meilleur parti de ces opportunités commerciales, il est vital de concevoir et de mettre en œuvre les bonnes stratégies logistiques. Un grand nombre de ces changements concernent au premier plan les prestataires de services logistiques, en particulier ceux qui visent les marchés internationaux.

Dans le secteur du transport international de marchandises, les volumes transportés par route et par rail sont encore très faibles par rapport aux volumes acheminés par mer, en particulier lorsqu'il s'agit de déplacer des produits entre deux régions économiques différentes. Toutefois, l'augmentation très probable du volume total du commerce mondial (l'activité manufacturière continuera à se développer dans des lieux éloignés parce qu'elle peut compter sur des services de transport rendus plus fiables et plus rapides par des progrès technologiques) devrait faire croître la quantité de marchandises transportées entre les pays. En outre, le moindre coût et la plus grande rapidité des modes de transport

terrestre par rapport aux modes de transport maritime et aérien devraient favoriser la demande de transport international par route et par rail.

Cependant, le transport terrestre international ne pourra se développer de cette manière que si les pouvoirs publics continuent à prendre des mesures et lancer des initiatives pour améliorer son efficience. Dans de nombreux pays et régions en développement sans littoral, la croissance du commerce et la mondialisation ne porteront leurs fruits que si des améliorations majeures sont apportées pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des systèmes routiers et ferroviaires. Les pays qui participent déjà aux grands flux commerciaux internationaux doivent continuer à réduire les barrières physiques et non physiques afin de maintenir leur position concurrentielle. Il leur faudra pour ce faire :

- améliorer les infrastructures routières et ferroviaires pour réduire les goulets d'étranglement et établir les liaisons manquantes;
- harmoniser les réseaux routiers et ferroviaires à l'échelle internationale;
- réduire les délais de dédouanement et de passage des frontières;
- lutter contre la criminalité visant les conducteurs et les chargements afin de garantir la sûreté du transport terrestre; et
- réduire la corruption aux postes frontières.

Pour atteindre ces objectifs, les États doivent conclure avec leurs voisins des accords sur le commerce et le transport international. À cette fin, les accords internationaux seront plus profitables que les accords bilatéraux ou régionaux. Ces derniers devraient, là où il s'en signe, s'inscrire dans le cadre tracé par les conventions internationales existantes.

Les producteurs, les distributeurs et les prestataires de services logistiques sont de plus en plus conscients de l'importance du temps dans la chaîne d'approvisionnement. Ce temps peut être source de frais supplémentaires dans la mesure où il oblige à constituer des stocks coûteux. De plus, le raccourcissement du cycle de vie des produits contraint les producteurs et les distributeurs à commercialiser leurs marchandises dès que possible. Le transport terrestre ne pourra donc devenir un maillon plus important des chaînes d'approvisionnement mondiales que s'il garantit des niveaux de service suffisamment rapides et fiables pour satisfaire cette demande.

Les technologies de l'information et des communications peuvent contribuer à réduire la durée des services de transport terrestre et des services douaniers et frontaliers. Elles améliorent la transparence des formalités de douane et de passage des frontières ainsi que la fiabilité et l'efficience des services de transport. Elles contribuent également à renforcer la sûreté et la sécurité des conducteurs le long des itinéraires internationaux. Les deux secteurs, public et privé, ont un rôle important à jouer pour s'assurer que ces technologies sont bien intégrées et utilisées au maximum de leurs capacités.

Le terrorisme représente une menace spécifique pour le transport routier et ferroviaire international. Les infrastructures utilisées par ces modes (telles que les routes, ponts et tunnels principaux) sont aisément accessibles et peu souvent surveillées. En outre, il est très facile de se procurer des véhicules routiers de transport de marchandises, d'autant que la surveillance de leur utilisation n'est pas aisée. Il est donc important de déployer des efforts au plan mondial pour harmoniser les normes de sécurité nationales aux frontières afin de prévenir les risques d'activités terroristes liées à la route ou au rail.

L'indice de performance logistique (Arvis *et al.*, 2007) montre qu'il existe des différences majeures entre les pays et les régions en matière de performance logistique,

notamment entre pays au même niveau de développement. Les pays en développement dont l'indice est faible, en particulier ceux qui n'ont pas accès à la mer, doivent concentrer leurs efforts sur le niveau de service (en termes de coût, de rapidité et de fiabilité) fourni par les réseaux routiers et ferroviaires s'ils veulent pouvoir bénéficier de la mondialisation des échanges dans les années à venir. Toutefois, ces efforts ne doivent pas uniquement porter sur la construction d'infrastructures routières et ferroviaires. Il est également crucial pour ces États de réduire le coût du transport terrestre (au niveau national et dans les pays de transit), de négocier avec les pays de transit des accords de transport adaptés et d'agir en commun dans le but d'accélérer les formalités de douane et de passage des frontières. Grigoriou (2007) observe à ce propos que les corridors de transit sont des biens publics régionaux qui doivent être gérés en tant que tels dans le cadre d'une coopération internationale et que les institutions financières internationales peuvent jouer, et jouent, un rôle capital à cet égard, en fournissant assistance et coordination, ainsi qu'en participant au dialogue politique.

Si les services de transport terrestre parviennent à ces nouveaux niveaux d'efficience, il est probable qu'ils augmenteront progressivement leur part sur le marché du fret international.

Projets d'amélioration du fret international

Cette section présente des exemples de projets visant à améliorer les échanges et le transport international de marchandises dans certaines régions spécifiques. L'encadré 5.8 présente quelques examples en Europe du Sud-Est.

Encadré 5.8. **Programme de facilitation des échanges et des transports en Europe du Sud-Est**

La Banque mondiale, en collaboration avec les organismes d'aide bilatérale de pays tels que les États-Unis, les Pays-Bas, la France et l'Autriche, administre un programme régional de facilitation des échanges et des transports en Europe du Sud-Est (TTFSE). Lancé en 2001, ce programme concerne l'Albanie, la Bosnie-Herzégovine, la Bulgarie, la Croatie, l'ancienne République yougoslave de Macédoine, la Moldavie, la Roumanie et la Serbie-Monténégro.

Le programme vise à favoriser les échanges dans la région en rendant les flux commerciaux entre les pays du sud-est de l'Europe plus efficients et moins coûteux et en proposant des normes douanières compatibles avec celles de l'Union européenne. Ce programme vise également à réduire les coûts non tarifaires du commerce et du transport, à diminuer la contrebande et la corruption au passage des frontières et à renforcer et moderniser les administrations douanières et les autres organismes de contrôle aux frontières. Au cours des premières années, il était essentiellement axé sur le transport routier, mais le champ d'action a depuis lors été élargi pour inclure d'autres modes, en particulier le transport ferroviaire.

L'un des éléments importants de ce programme est l'utilisation de critères et de systèmes de surveillance qui permettent de suivre l'amélioration des performances tout au long de la vie du projet. Des indicateurs de performance spécifiques ont été établis après consultation des organismes de contrôle aux frontières et des équipes de projet locales ont été mises en place aux postes frontières pour analyser les résultats et résoudre les problèmes en mettant à profit la collaboration entre organismes au niveau local. Les progrès obtenus et la situation en matière de corruption ont été confirmés par des enquêtes menées auprès des utilisateurs.

Encadré 5.8. **Programme de facilitation des échanges et des transports en Europe du Sud-Est** *(suite)*

Les premiers résultats du programme sont très positifs puisque les temps de dédouanement se sont considérablement réduits (jusque 87 %) à certains des postes frontières les plus importants ainsi qu'aux terminaux intérieurs et que les volumes échangés ont augmenté, tout comme les droits et la TVA collectés par les administrations douanières.

Des « pro-comités » public-privé, établis pour faciliter la communication entre les secteurs public et privé, ont permis d'améliorer le dialogue entre les parties et d'identifier des solutions pragmatiques aux problèmes auxquels les entreprises de transport et les acteurs commerciaux de la région sont confrontés.

Le deuxième programme TTFSE a l'ambition est aussi d'aller plus loin en abordant d'autres aspects de la facilitation des échanges afin de veiller à la bonne collaboration de toutes les organisations qui interviennent aux frontières (douanes, administration routière, police des frontières, organismes de contrôles phytosanitaires et vétérinaires), de tous les modes de transport utilisés dans la région (route, rail, navigation intérieure et transport multimodal) et de tous les passages de frontières sur les principaux corridors RTE-T traversant l'Europe du Sud-Est et reliant la région aux pays voisins.

Sources : Banque mondiale (2005) et TTFSE (2008).

L'Union européenne continue de concentrer ses efforts sur le fret ferroviaire international, comme le prouve un document d'orientation de fin 2007 qui vise à tracer un réseau européen de corridors sur lequel la priorité serait donnée aux flux de marchandises (Commission européenne, 2007a) (voir encadré 5.9).

Encadré 5.9. **Réseau ferroviaire à priorité fret**

Le graphique 5.11 illustre la proposition initiale de réseau ferroviaire à priorité fret qui pourrait être mis en place dans l'Union européenne. L'objectif est de traiter en commun les questions d'infrastructures et d'exploitation afin d'améliorer la qualité du service et de rendre le rail plus concurrentiel face à la route. Les temps de parcours, la fiabilité et la capacité sont les éléments clés que cette initiative cherche à améliorer. Le projet propose notamment :

- d'établir la définition légale et les règles d'exploitation associées d'un corridor à priorité fret;
- d'encourager les gestionnaires d'infrastructures à coordonner leurs activités pour promouvoir ces corridors;
- d'identifier les sources de financement du développement de ces corridors;
- de prévoir une action législative relative à la publication d'indicateurs de qualité;
- d'examiner les mesures prises par les opérateurs ferroviaires pour améliorer la qualité du service;
- de coordonner les améliorations techniques pour tirer le meilleur parti de la capacité disponible et supprimer les goulets d'étranglement;
- d'améliorer les sillons internationaux en améliorant la coordination et en accordant la priorité aux trains internationaux (en s'appuyant sur le concept de RailNetEurope);
- de donner plus spécifiquement la priorité aux services internationaux en cas de perturbation du trafic;
- de veiller à ce qu'existent suffisamment de terminaux et de gares de triage de bonne qualité.

Source : Commission européenne (2007a).

Graphique 5.11. **Déploiement possible d'un réseau ferroviaire à priorité fret**



Source : Commission européenne (2007a). *http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0608:FIN:EN:PDF*.

L'encadré 5.10 présente le corridor de fret d'un nouveau pont terrestre qui pourrait être établi entre l'Asie et la Scandinavie. Le tableau 5.8 compare les distances des deux principaux itinéraires ferroviaires traversant l'Asie à celles du corridor maritime. Il montre que les distances terrestres sont en général inférieures de moitié aux distances maritimes.

Encadré 5.10. **Proposition de corridor de fret mer-rail Nord-Est-Ouest**

L'Union internationale des chemins de fer (UIC) propose de développer un corridor mer-rail entre la Chine, la Russie, les pays nordiques et l'Amérique du Nord. Le tronçon ferroviaire relierait la Chine à la Norvège, le reste du trajet jusqu'en Amérique du Nord se faisant par voie maritime. L'un des objectifs principaux de ce projet est d'établir un itinéraire est-ouest de substitution qui permettrait d'éviter les goulets d'étranglement majeurs des parcours habituels situés plus au sud. La liaison ferroviaire entre la Chine et la Norvège existe déjà, à travers le Kazakhstan, la Russie, la Finlande et la Suède, même si les écartements des voies varient entre largeur standard et grande largeur. En dépit des obstacles techniques et politiques liés aux différences d'écartement et aux passages des frontières, l'UIR estime que les temps de parcours entre Urumchi (ouest de la Chine) et Halifax (Canada) par les voies ferroviaire et maritime pourraient être de 15 à 16 jours tout au plus, soit un gain de temps important sur les itinéraires actuels. Cependant, ce projet nécessite une amélioration considérable de l'organisation des opérations ferroviaires ainsi que le renforcement de la coopération internationale et la rationalisation des procédures.

Source : UIC (2004).

Tableau 5.8. **Distances par voies maritime et terrestre entre la Chine et Rostock, en Allemagne (km)**

De	A	Rostock		
		Par mer	Par rail	
			Transsibérien	Euro-asiatique
Port chinois :	Tianjin	22 500	9 900	10 400
	Lianyungang	21 800	10 700	10 200
	Shanghai	21 200	11 100	10 600
Japon		22 800	13 300	12 700
Hong-Kong, Chine		19 700	–	11 200

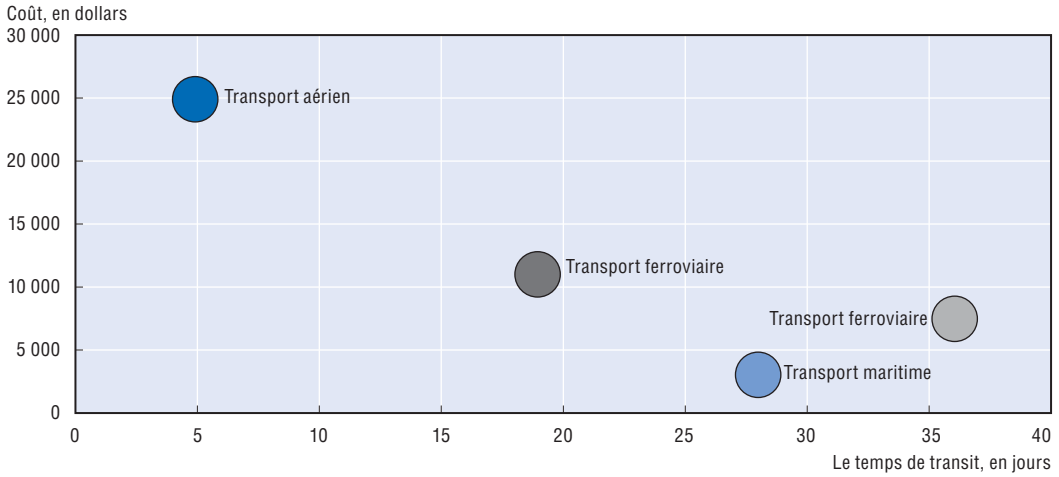
Source : CESAP-ONU (1995).

5.9. Conclusions

Les sections précédentes ont clairement montré qu'avec la suppression des goulets d'étranglement et des améliorations opérationnelles, l'efficience du fret routier et ferroviaire international devrait augmenter considérablement dans de nombreuses régions. Bien sûr, il ne s'agit pas que d'un problème de temps de transport et de fiabilité (même si ces deux facteurs sont extrêmement importants), il s'agit aussi d'un problème de coût. Le graphique 5.12 illustre le coût et la durée totaux du transport de porte à porte d'un chargement conteneurisé entre l'Asie et l'Europe selon les différents modes utilisés. Ces résultats ont été obtenus à partir des devis émis par des transporteurs et des transitaires pour une liste spécifiée de services de transport et de destinations.

Ces résultats indiquent que le transport aérien est le mode le plus cher et le plus rapide, que le transport maritime est le moins coûteux, mais très lent et que le c se situe

Graphique 5.12. **Coût et durée du transport de marchandises conteneurisées entre l'Asie et l'Europe**



Note : Les taux de fret sur lesquels ces résultats reposent ont été établis pour le transport d'un conteneur de 40 pieds contenant un chargement de 20 tonnes. Les taux de fret prennent également en compte le transport en camion sur une distance de 100 km au point d'origine ainsi qu'au point de destination. Les assurances et autres garanties de responsabilité civile ne sont pas comptabilisées. Les durées de transport ont été fournies par les transporteurs/transitaires. Pour chacun des tronçons du parcours considéré, l'échantillon des entreprises interrogées est relativement restreint.

Source : Chambre de commerce des États-Unis (2006).

entre les deux précédents tant en termes de prix que de durée de transport. Quant au transport ferroviaire, les résultats qui le concernent s'échelonnent le long de plages de coûts (4 000-10 000 USD) et de temps (14 à 45 jours) très étendues. Pour ce mode, on observe des différences majeures entre les durées de transport officiellement prévues et les durées citées par les transitaires pour les transports de porte à porte (les prix annoncés par ces mêmes transitaires sont eux aussi supérieurs de 30 à 60 % aux prix affichés). Comme les durées de transport ferroviaire entre la Chine occidentale et l'Europe occidentale sont estimées à 15-20 jours dans d'autres études, les résultats obtenus ici pour le rail doivent être interprétés avec circonspection.

Il est évidemment difficile de prédire avec précision et certitude une évolution future. De nombreuses analyses qui tablaient sur des améliorations technologiques et opérationnelles des transports se sont vues contredites par les événements et, dans certains cas, les transports sont même devenus non pas plus accessibles et plus rapides, mais plus complexes et parfois plus lents. Un examen plus approfondi de le graphique 5.12 montre que l'augmentation des performances d'un mode peut avoir une incidence majeure sur son utilisation. Il est peu probable que la vitesse des avions ou des navires augmente sensiblement au cours des 15 prochaines années. En outre, les préoccupations croissantes concernant les émissions de CO_2 pourraient modifier l'image du transport aérien dans la chaîne d'approvisionnement, voire conduire la communauté internationale à demander aux transporteurs maritimes d'opérer à des vitesses plus lentes (d'où un allongement des durées de transport) afin d'économiser le carburant. Compte tenu de ces incertitudes, il est intéressant de noter le potentiel du rail, en termes de réduction des temps de trajet principalement, mais aussi, peut-être, des coûts. S'il n'est pas envisageable d'obtenir pour la route des raccourcissements des temps de transport aussi remarquables que pour le rail, il existe néanmoins de nombreuses opportunités d'amélioration opérationnelle du transport

routier et donc d'augmentation des performances économiques et environnementales du transport routier de marchandises à longue distance.

Il a déjà été souligné dans l'introduction que les échanges internationaux de marchandises par route et par rail sont extrêmement diversifiés. Les changements qui influent sur le transport routier de marchandises à courte distance sont très différents de ceux qui ont un impact sur le transport ferroviaire à longue distance. L'étude a montré qu'il reste un large éventail d'opportunités d'amélioration de l'efficience et de réduction de l'impact environnemental du transport routier et ferroviaire international de marchandises. Bon nombre d'entre elles ne peuvent se concrétiser sans que les pouvoirs publics modifient leur orientation politique et la réglementation ou améliorent les infrastructures. Le champ d'action, déjà complexe à l'échelle d'un pays, l'est encore plus à l'échelle internationale. Il importe cependant, étant donné les développements attendus dans les 15 ans à venir, de tenir compte du rôle croissant joué par les grands prestataires de services logistiques dans le transport international. Le processus de consolidation auquel on assiste signifie que des entreprises sont désormais capables de fournir à elles seules des services véritablement intégrés d'une manière encore impossible il y a quelques années. Parallèlement, l'attention croissante portée par les entreprises à leur chaîne d'approvisionnement est tout aussi indéniable. Il est essentiel que les décideurs et les autorités de régulation prennent conscience de ces changements, afin d'optimiser les opportunités d'amélioration de l'efficience du fret routier et ferroviaire international, tout en s'assurant que ces améliorations se font dans le respect des contraintes environnementales bien plus strictes imposées au secteur des transports.

Notes

1. Le présent chapitre se fonde pour l'essentiel sur le rapport « Impact de la mondialisation sur le niveau d'activité du transport international de marchandises par route et par chemin de fer : Tendances passées et perspectives d'avenir » présenté par Allan Woodburn, Julian Allen, Michael Browne et Jacques Leonardi, Transport Studies Department, Université de Westminster, Londres, Royaume-Uni, au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation, qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008 (*www.oecd.org/dataoecd/52/29/41373591.pdf*). Quelques paragraphes ont également été tirés du rapport « Impact de l'augmentation du transport routier et ferroviaire de marchandises : Tendances passées et perspectives d'avenir » présenté par Huib van Essen, CE Delft, Pays-Bas, au même Forum (*www.oecd.org/dataoecd/10/62/41380980.pdf*).
2. Plusieurs traités commerciaux régionaux ont encore d'autres impacts sur l'environnement, dans la mesure par exemple où ils induisent la construction de nouveaux postes-frontières, parfois énormes, qui dévorent des hectares et aggravent la pollution de l'air.
3. Ces chiffres doivent être interprétés avec circonspection parce que le transport, par route ou par chemin de fer, de marchandises importées par la voie maritime est dit être du transport *intérieur* plutôt qu'*international*. Tous les transports effectués quotidiennement par plus de 15 000 camions au départ des ports californiens de Los Angeles et Long Beach sont ainsi comptabilisés dans les transports intérieurs.
4. Nikomborirak et Sumano (2008) observent qu'en Thaïlande, la part routière du transport international a augmenté rapidement entre 2000 et 2007 sous la poussée d'une progression des échanges régionaux facilitée par le développement accéléré du réseau routier. L'augmentation du transport routier s'est toutefois opérée au depart d'un volume de trafic très limité. Le transport maritime a été dopé par la conteneurisation, mais le trafic ferroviaire est resté négligeable.
5. Identification par radiofréquence.
6. Communauté européenne du rail et des compagnies d'infrastructure – Community of European Railways and Infrastructure Companies (CER), Union internationale des chemins de fer – International Union of Railways (UIC), Comité international du transport ferroviaire – International Railway Transport Committee (CIT).

Bibliographie

Abdullah, D. (2006), « Malaysia Plans Five Years of Rail Growth », *Railway Gazette*, 1er octobre.

Anderson, J. et van Wincoop, E. (2004), « Trade costs », *Journal of Economic Literature*, vol. 42, pp. 691-751.

Anon (2008), « Freight Standards Need Updating », *Railway Gazette*, 9 janvier.

Arvis, J-F. *et al.* (2007), *Connecting to Compete – Trade Logistics in the Global Economy: The Logistics Performance Index and its Indicators,* Banque mondiale, Washington DC Disponible à l'adresse : *http://siteresources.worldbank.org/INTTLF/Resources/lpireport.pdf*.

Azar, C., K. Lindgren et B.A. Andersson (2003), « Global Energy Scenarios Meeting Stringent CO_2 Constraints – Cost-effective Fuel Choices in the Transportation Sector », *Energy Policy*, 31(10), pp. 961-976.

Banque mondiale (2005), *Trade and Transport Facilitation in Central Asia: Reducing the Economic Distance to Markets*, version finale, Banque mondiale, Washington DC.

Briginshaw, D. (2007), « Asian Railways Rise to Meet the Growth Challenge », *International Railway Journal*, 1er janvier.

Canadien National (2008), *Histoire du Wisconsin Central*, disponible en ligne à l'adresse : *www.cn.ca/about/company_information/history/en_AboutWisconsinCentral.shtml* (dernier accès : 20/02/08).

CEE-ONU, Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (2006), extrait de la contribution de la CEE-ONU au rapport annuel des Nations unies sur l'intégration régionale, ECE/TRADE/C/NONE/2006/2, 29 mai 2006, CEE-ONU.

CEE-ONU (2007), *Réseau international « E »*, CEE-ONU.

CEE-ONU (2008), *Multidisciplinary Group of Experts on Inland Transport Security*, rapport final soumis au Bureau du Comité des transports intérieurs le 18 février 2008, document informel, AC.11 No. 1/Rev.1 (2008), CEE-ONU.

CEMT (2000), *Intégration des marchés des transports terrestres européens*, CEMT/OCDE, Paris.

CEMT (2005), *Le transport routier international de marchandises en Europe – accès au marché et avenir du système des autorisations*, Rapport du Groupe consultatif spécial, CEMT/OCDE, Paris.

CEMT (2006), *Les liaisons de transport entre l'Europe et l'Asie*, CEMT/OCDE, Paris.

CEPALC (2003), « The Potential for More Trade by Rail between Brazil and its Neighbours in the Southern Cone », *Facilitation of Trade and Transport in Latin America and the Caribbean Bulletin*, édition 2005, septembre, CEPALC, Nations unies.

CER (2005), *Rail Freight Quality: Progress in a Competitive Market – Update Report on the CER-UIC-CIT Charter*, Communauté Européenne du rail et des compagnies d'infrastructure (CER).

CER (2007a), *A New Signalling System for Europe's Trains*, Communauté Européenne du rail et des compagnies d'infrastructure (CER).

CER (2007b), *Information Interchange on Rail Freight: Improving Customer Service by Innovative use of the Telematic Applications for Freight Regulation*, Communauté Européenne du rail et des compagnies d'infrastructure (CER).

CESAP-ONU, Commission économique et sociale des Nations Unies pour l'Asie et le Pacifique (1995), *Land Transport Linkages from Central Asia to Sea Ports in the South and the East*, CESAP-ONU.

CESAP-ONU (2003), *Le transport de transit dans les pays en développement sans littoral et de transit*, note du secrétariat, E/ESCAP/1282, CESAP-ONU.

CESAP-ONU (2006), *Integrated International Transport and Logistics System for North-East Asia*, CESAP-ONU.

CESAP-ONU (2008), *Asian Highway Route Map*, disponible à l'adresse : *www.unescap.org/TTDW/common/TIS/AH/maps/ah_map_2007.jpg*

Chambre de commerce des États-Unis (2006), *Land Transport Options between Europe and Asia: Commercial Feasibility Study*, La Chambre de commerce des États-Unis.

CNUCED, Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (2006), *Rapport de la réunion d'experts sur le rôle des TCI dans la facilitation du commerce aux frontières et dans les ports*, TD/B/COM.3/EM.27/3, CNUCED.

CNUCED (2007), Note du secrétariat de la CNUCED pour la réunion d'experts sur la coopération régionale pour le transport en transit, *Solutions pour les pays en développement sans littoral et les pays en développement de transit*, 27-28 septembre 2007, Genève, CNUCED.

Commission européenne (2005), *Réseau transeuropéen de transport : RTE-T, axes et projets prioritaires 2005*, Commission européenne, Bruxelles.

Commission européenne (2007a), *Vers un réseau ferroviaire à priorité fret*, COM(2007)608, Commission européenne, Bruxelles.

Commission européenne (2007b), *EU Energy and transport figures – Statistical pocketbook 2006*, Commission européenne, Bruxelles, 2007.

Crass, Mary (2007), Discours de l'Administratrice principale du Forum international des transports/CEMT lors de la quatrième Conférence Euro-Asie sur le transport routier de l'IRU, 14-15 juin 2007, Varsovie.

Deardorff, A. (2005), « Importance du coût et du temps de transport pour le commerce international », dans CEMT (2005), *Le temps et les transports*, Tables Rondes CEMT n° 127, CEMT.

Deutsche Bahn AG (2008), *Beijing-Hamburg Container Express Manages 10,000 Kilometres in only 15 Days*, communiqué de presse, 24 janvier.

ERA (2007), *Rapport annuel 2006*, Agence ferroviaire européenne (ERA).

Eurostat (2003), *Tendances des transports ferroviaires de marchandises 1990-2001*, Statistiques en bref, thème 7, 9/2003.

Eurostat (2004), *Tendances des transports routiers de marchandises 1990-2002*, Statistiques en bref, 7/2004.

Eurostat (2007a), *Trends in Road Freight Transport 1999-2005*, Statistiques en bref, 27/2007.

Eurostat (2007b), *Transport ferroviaire – Marchandises transportées, par type de transport*.

Ferrer, José Capel (2005), discours du directeur de la Division transport de la CEE-ONU lors de la troisième Conférence Euro-Asie sur le transport routier de l'IRU, 26-27 septembre 2005, Pékin.

Fontaine, P. (2007), discours du représentant de la direction générale de l'énergie et des transports de la Commission européenne lors de la quatrième Conférence Euro-Asie sur le transport routier de l'IRU, 14-15 juin 2007, Varsovie.

Freight Best Practice (2006), *Wayfinding Research: Using Satellite Navigation to Improve Efficiency in the Road Freight Industry*, rapport de recherche, Freight Best Practice Programme, Royaume-Uni.

FRI (2007), *World Road Statistics 2007 – Data 2000 to 2005, Fédération routière internationale (FRI)*, Genève, Suisse.

Grigoriou, C. (2007), *Landlockedness, Infrastructure and Trade: New Estimates for Central Asian Countries*, Document de travail de recherche sur les politiques WPS4335, Banque mondiale, Washington DC.

Hummels, D. (2001), *Time as a Trade Barrier*, document de travail GTAP n° 18, Global Trade Analysis Project, Purdue University. Disponible à l'adresse : *www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/2877.pdf*.

IBM Global Business Services (2007), *Rail Liberalisation Index 2007*.

IRU (2005), *IRU Praises Reopening of Silk Road*, communiqué de presse n° 807, 2 novembre 2005, IRU.

IRU (2006), « L'importance de la liaison de transport routier Europe-Asie – Contribution de l'IRU », annexe 2, dans CEMT (2006), *Les liaisons de transport entre l'Europe et l'Asie*, CEMT.

IRU (2008), *1 in 6 Drivers Attacked*, communiqué de presse, 18 février 2008, IRU.

Jackson, C. (2005), « Saudi Landbridge Ready to Launch », *Railway Gazette*, 1er mars.

Jackson, C. (2008), « Railways Realign in Troubled Region », *Railway Gazette*, 16 janvier.

Kolodziejski, J. (2005), « Grain Giant Targets Cross-border Logistics », *Railway Gazette*, 1er juin.

Kopp, A. (2006), « Synthèse de la discussion », dans CEMT (2006), *Transport et commerce international*, Tables rondes CEMT n° 130, CEMT.

Latrille, P. (2007), « Rôle de la structure du marché des transports sur les effets de la libéralisation : le cas de l'Organisation Mondiale du Commerce », dans CEMT (2007), *Accès au marché, commerce des services de transport et facilitation des échanges*, Tables rondes CEMT n° 134, CEMT.

Lukov, B. (2008), « RZD Adopts Long-range Development Strategy », *Railway Gazette*, 22 janvier.

Lustig, D. (2006), « Railroads invest in extra capacity to move Asian import windfall », *Railway Gazette*, 1er août.

NATSD, Statistiques des transports en Amérique du Nord, base de données (2007), disponible en ligne à l'adresse : *http://nats.sct.gob.mx/*.

Nikomborirak, Deunden et Boonwara Sumano (2008), *Globalization-Related Changes in Transport Activity in Thailand*. Rapport présenté au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008. Disponible en ligne à l'adresse : *www.oecd.org/dataoecd/33/8/41750006.pdf*.

OCDE (2007), *L'OCDE en chiffres 2007*, OCDE, Paris.

Office of Freight Management and Operations (2007), *Freight Facts and Figures 2006*, Federal Highway Administration, ministère des Transports, États-Unis.

OMC, Organisation mondiale du commerce (2007), *Statistiques du commerce international* 2007.

Posner, H. (2008), « Rail freight in the USA : lessons for Continental Europe », *CER Essay Series*, Communauté européenne du rail et des compagnies d'infrastructure (CER).

Railion (2007), Railion – The European Rail Freight Company.

Railion (2008), *www.railion.com* (dernier accès : 21/02/08).

RailNetEurope (2008), *www.railneteurope.com* (dernier accès : 08/02/08).

Rodrigue, J-P. et Hesse, M. (2007), « Globalized Trade and Logistics: North American Perspectives », chapitre dans Leinbach, T. et Capineri, C. (eds.) *Globalized Freight Transport: Intermodality, E-Commerce, Logistics and Sustainability*, Edward Elgar, Cheltenham, Royaume-Uni.

Smokers, R. *et al.* (2007), *State-of-the-Art CO_2 en Mobiliteit*, CE Delft, Delft, 2007.

TTFSE, Programme de facilitation des échanges et des transports en Europe du Sud-Est (2008), site internet du TTFSE, à l'adresse : *www.seerecon.org/ttfse/*.

UIC, Union internationale des chemins de fer (2004), *The Northern East West (NEW) Freight Corridor*, UIC.

Vitins, J. (2008), « Traxx Loco Family Meets European Needs », *Railway Gazette*, 7 janvier.

WBCSD, World Business Council for Sustainable Development (2004), *Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability*, projet Mobilité durable, rapport complet, WBCSD.

Chapitre 6

Impacts de l'élevation du niveau d'activité du transport maritime international sur l'environnement

par
Øyvind Endresen, Magnus Eide, Stig Dalsøren, Ivar S. Isaksen, Eirik Sørgård, James J. Corbett et James Winebrake[1]

Il est estimé que 80 % du trafic maritime sont concentrés dans l'hémisphère nord, à raison de 32 % dans l'Atlantique, 29 % dans le Pacifique, 14 % dans l'océan Indien et 5 % dans la Méditerranée. Les 20 % restants se retrouvent dans l'hémisphère sud où ils se répartissent de façon approximativement égale entre l'océan Atlantique, l'océan Pacifique et l'océan Indien. Le présent chapitre traite de l'impact du transport maritime sur l'environnement et analyse le débat que la consommation passée et actuelle de combustible du transport maritime, un des déterminants directs de son impact sur l'environnement, suscite dans le monde scientifique.

Le chapitre décrit la modélisation des émissions atmosphériques du transport maritime ainsi que l'inventaire d'émissions géographiquement réparties. Il s'intéresse aux impacts atmosphériques et constate que les polluants que les navires rejettent dans l'atmosphère sont souvent transformés chimiquement en espèces secondaires et se mélangent avec l'air ambiant. Il aborde aussi la question de l'impact sur les niveaux de pollution et le climat et observe, par exemple, que l'effet sur les taux d'ozone en surface fait apparaître une forte saisonnalité aux latitudes boréales. Il se termine par quelques réflexions sur les impacts futurs. La plupart des scénarios pour l'avenir proche, à savoir les 10 à 20 prochaines années, indiquent que les réglementations et mesures de réduction des émissions seront insuffisantes pour empêcher que l'accroissement du trafic n'entraîne une augmentation globale des émissions.

6.1. Introduction

Le présent chapitre traite, en s'appuyant sur l'analyse du niveau d'activité du transport maritime international développée dans le chapitre 3, de l'impact du transport maritime sur l'environnement. Comme le chapitre 3 l'a montré, la consommation passée et actuelle de combustible du transport maritime, un des déterminants directs de son impact sur l'environnement, fait actuellement débat dans le monde scientifique.

Le réchauffement climatique, l'acidification et la dégradation de la qualité de l'air font partie des impacts environnementaux qui occupent une place prioritaire dans le programme d'action international. Plusieurs études ont donc porté principalement sur les émissions anthropogéniques de composés conduisant à ce type d'impact environnemental : dioxyde de carbone (CO_2), oxydes d'azote (NO_x) et dioxyde de soufre (SO_2). Des études récentes indiquent que les émissions de CO_2, de NO_x et de SO_2 des navires représentent environ 2-3 % (sinon même 4 %), 10 à 15 % et 4 à 9 % des émissions anthropogéniques mondiales, respectivement (Buhaug *et al.* 2008; Corbett et Köhler, 2003; Dalsøren *et al.*, 2009; Endresen *et al.*, 2003; 2007; Eyring *et al.*, 2005a).

Les réglementations et les incitations pour limiter les sources de pollution visent souvent directement à réduire les émissions totales, en général au niveau individuel des sources. L'accent est mis soit sur les sources ayant les plus forts impacts, soit sur celles dont la maîtrise est la plus efficiente par rapport aux coûts (Corbett et Koehler, 2003). Les émissions des navires n'ont pas été jusqu'à présent réglementées, mais l'Organisation maritime internationale (OMI) et l'Union européenne ont récemment introduit certaines obligations pour les navires. Un nouvel ensemble de réglementations est en cours d'élaboration par l'OMI, l'Union européenne et l'EPA des États-Unis (Dalsøren *et al.*, 2007; Eyring *et al.*, 2005b). À ce jour, l'accent est mis principalement sur les émissions de NO_x et de SO_2, mais des stratégies de réduction du CO_2 sont également à l'étude (OMI, 2005).

Les émissions à l'échappement d'une machine diesel marine, qui représente le mode dominant de motorisation de la flotte mondiale, sont constituées en grande partie de dioxyde de carbone excédentaire et de vapeur d'eau ainsi que de quantités plus faibles de monoxyde de carbone, d'oxydes de soufre et d'azote, d'hydrocarbures, ayant partiellement réagi et imbrûlés, ainsi que de particules (Lloyd's Register of Shipping (LR), 1995). Les gaz d'échappement sont rejetés dans l'atmosphère *via* les cheminées du navire et ils sont dilués par mélange avec l'air ambiant. Durant le processus de dilution dans le panache de fumée du navire, des composés chimiques actifs sont partiellement transformés et déposés sur les sols et les étendues d'eau. De plus, durant le transport du fioul et son chargement dans les soutes, l'évaporation conduit à des émissions de composés organiques volatils (COV) (Endresen *et al.*, 2003). Le transport maritime produit également des émissions d'autres composés (par exemple produits réfrigérants et agents anti-feu), contribue à la propagation d'espèces invasives et a d'autres impacts négatifs sur la biodiversité (collision avec des baleines, etc.).

Afin de réduire les émissions à l'échappement, des mesures peuvent être prises soit avant la combustion (traitement et modification du combustible), soit pendant le processus de combustion (réduction de la formation de polluants atmosphériques dans le processus de combustion), soit par un traitement *a posteriori* des gaz d'échappement. La consommation de combustible et les émissions peuvent également être réduites par une amélioration des conditions techniques (système antisalissure, amélioration du rendement de la machine, etc.), par des aménagements opérationnels (par exemple réduction des vitesses, routage en fonction de la météorologie), par l'emploi de combustibles de substitution (par exemple GNL) et par des systèmes de propulsion alternatifs (par exemple, piles à combustible, voiles) (Eyring *et al.*, 2005b; Tronstad et Endresen, 2006). Différentes solutions opérationnelles et techniques pour la réduction des émissions de COV des navires (par exemple systèmes de récupération) sont disponibles.

Plusieurs techniques et stratégies opérationnelles, déjà en usage ou en cours d'évaluation, permettent de réduire les émissions de polluants, notamment les NO_x et les particules. Ces moyens techniques agissent avant, pendant ou après la combustion (Corbett et Fischbeck, 2002). Le tableau 6.1 donne un aperçu des moyens utilisables pour réduire les émissions de certains polluants. Étant donné toutefois que bon nombre d'entre eux font augmenter la consommation d'énergie et, partant, les émissions de CO_2, il est clair que la technologie ne peut pas résoudre les problèmes environnementaux à elle seule et que d'autres sources d'énergie ou une logistique plus durable du fret ont aussi un rôle à jouer.

Tableau 6.1. **Technologies de réduction des polluants atmosphériques émis par le transport maritime**

Stade	Technologie	Polluant
Pré-combustion	Emulsification eau-carburant	NO_x
	Moteur à combustion humide	NO_x
	Saturation de l'air servant à la combustion	NO_x
Combustion	Perfectionnement du réfrigérant final	NO_x
	Réduction de la puissance du moteur	NO_x
	Retard d'avance à l'injection	NO_x
	Amélioration de l'efficience des moteurs	NO_x, SO_x, particules, CO_2
Post-combustion	Réduction catalytique sélective	NO_x
	Epuration de l'eau de mer	SO_x
	Filtres à particules pour moteurs diesels	Particules
	Catalyseurs d'oxydation pour moteurs diesels	Particules
Construction des navires	Dessin des carènes	CO_2, polluants néfastes au ratio énergétique
	Hélices	CO_2, polluants néfastes au ratio énergétique

Source : Corbett et Winebrake (2008).

La majeure partie du dioxyde de soufre émis par les navires s'oxyde dans l'atmosphère pour former des sulfates, tandis que les oxydes d'azote forment de l'acide nitrique et des nitrates, contribuant ainsi à l'acidification. Les aérosols de sulfate et de nitrate associés aux particules émises directement telles que les particules organiques et le noir de carbone peuvent avoir un impact à la fois sur la santé et sur le climat. Les émissions d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone et de COV influent sur le niveau de pollution, notamment en contribuant à la formation d'ozone en surface. L'ozone est également un important gaz à effet de serre et les émissions de précurseurs d'ozone ont une incidence sur l'oxydation du méthane (CH_4), autre important gaz à effet de serre. Les émissions directes de gaz à effet

de serre (CO_2 et petites quantités de N_2O et CH_4) modifient le bilan radiatif de l'atmosphère. Le délai peut être important pour l'accumulation de concentrations de certains gaz à effet de serre (CO_2, par exemple) et donc l'impact sur le climat. Il est nécessaire de savoir comment les émissions des navires ont évolué au fil du temps pour chiffrer les effets sur le climat et les tendances. Comme les temps de réaction des composés influant sur le climat sont très différents, variant de quelques jours à plusieurs siècles, et que l'interaction chimique entre les polluants est fortement non linéaire, des études intégrées évaluant les impacts de plusieurs polluants différents fourniront une meilleure base pour évaluer les effets des différentes options pour la limitation des émissions.

Un inventaire fiable et à jour des émissions des navires est indispensable pour en évaluer les impacts, mais aussi pour évaluer les effets des différentes options de limitation des émissions. L'activité maritime a considérablement augmenté au cours du siècle dernier (Eyring *et al.* 2005a; Endresen *et al.*, 2007) et contribue actuellement de façon significative aux émissions mondiales de gaz à effet de serre et de polluants, notamment de NO_x et de SO_2 (Corbett *et al.,* 1999; Corbett et Koehler, 2003; Endresen *et al.*, 2003; 2007; Eyring *et al.*, 2005a). Néanmoins, l'information sur l'évolution dans le temps de la consommation de combustible et des émissions est en général limitée, peu de données ayant été publiées avant 1950. On constate par ailleurs d'importants écarts dans les estimations couvrant les trois dernières décennies et la consommation actuelle effective (voir chapitre 3). Il serait donc intéressant d'évaluer et de quantifier les impacts des émissions des navires sur l'environnement.

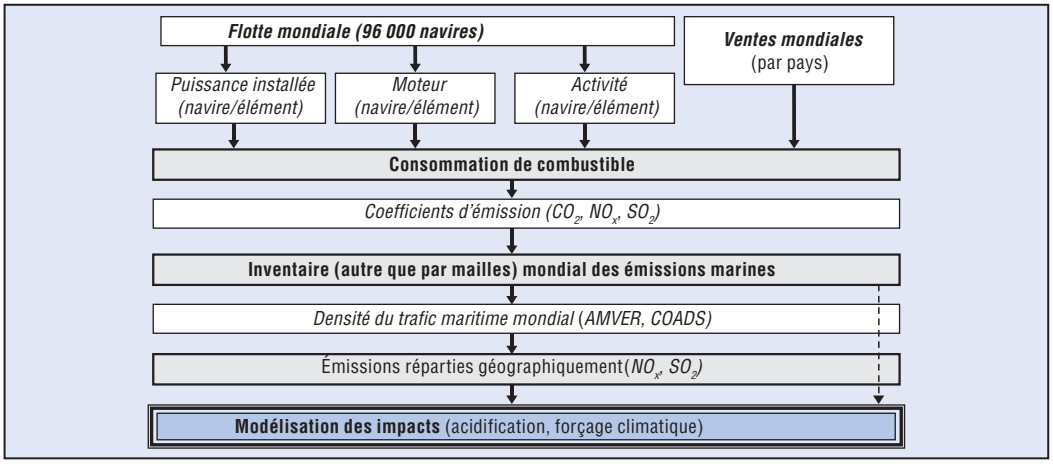
6.2. Modélisation des émissions atmosphériques du transport maritime

De façon générale, les émissions des navires sont calculées en chiffrant d'abord la consommation de combustible pour la production de force motrice, puis en multipliant cette consommation par les coefficients d'émission. (Les émissions de COV produites par le traitement du fret pétrolier ne sont pas prises en compte dans ces calculs).

Les émissions calculées peuvent être ventilées en fonction des données géographiques sur le trafic mondial (par exemple, Corbett *et al.*, 1999; Endresen *et al.*, 2003). Une autre solution consiste à élaborer des inventaires d'émissions par zone géographique de façon directe en calculant les émissions correspondant aux mouvements des différents navires sur des liaisons définies (par exemple, Whall *et al.,* 2002; Endresen *et al.*, 2003; Dalsøren *et al.,* 2007). Les inventaires d'émissions réparties géographiquement peuvent être utilisés ensuite pour calculer les impacts régionaux et mondiaux des émissions des navires (Capaldo *et al.*, 1999; Lawrence et Crutzen, 1999; Endresen *et al.*, 2003; Dalsøren *et al.,* 2007). Le graphique 6.1 illustre l'approche intégrée utilisée, dans laquelle les émissions et les impacts des navires sont calculés sur la base, d'une part, de la modélisation de l'activité de la flotte et, d'autre part, des ventes de combustibles maritimes.

Le graphique 6.2, extrait de Endresen *et al.* (2007), schématise l'évolution des émissions de CO_2 et de SO_2 de toute la flotte, englobant les flottes de pêche et les flottes militaires. Les émissions produites par le transport maritime contribuent de façon importante aux émissions mondiales et les scénarios sur les activités futures prévoient une forte augmentation de la consommation d'énergie et des émissions (Eyring *et al.*, 2005b; Dalsøren *et al.,* 2006; Skjølsvik *et al.,* 2000; Eide *et al.,* 2008). L'évolution future des émissions des navires dans l'atmosphère, comparées à celles d'autres modes de transport et branches d'activité, est essentielle pour quantifier les effets sur le climat et les

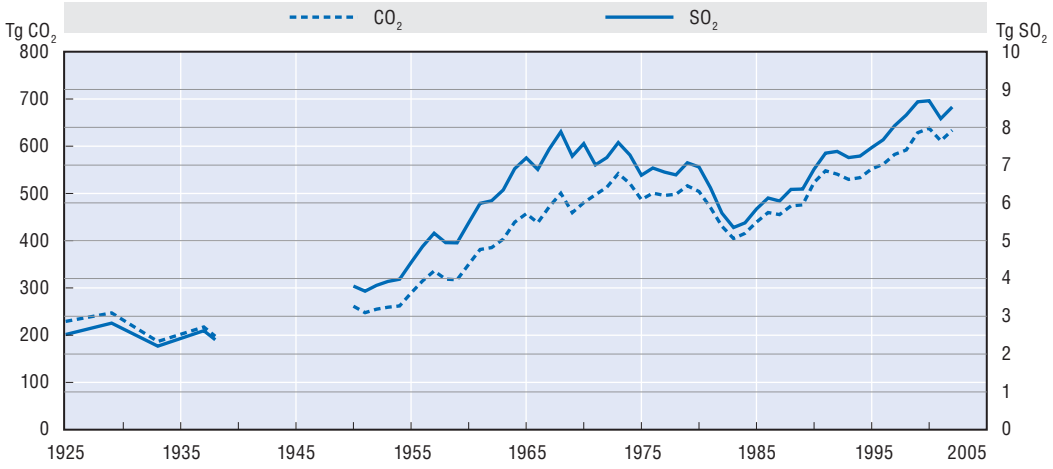
Graphique 6.1. **Modélisation intégrée de la consommation de combustible, des émissions et des impacts du transport maritime**



Source : Endresen *et al.* (2008).

Graphique 6.2. **Émissions de CO_2 et de SO_2 produites par les navires**

Y compris les bateaux de pêche et les navires de guerre, de 1925 à 2002



Note : On notera qu'aucune donnée n'est disponible pour la période de la Seconde Guerre mondiale. Sur la base d'estimations des ventes de combustibles maritimes.

Source : Endresen *et al.* (2007).

tendances et pour mettre en œuvre des mesures adéquates de réglementation et d'incitation. L'évolution des prix de l'énergie, de la réglementation et de la demande de transport maritime, les améliorations techniques et opérationnelles et l'introduction de combustibles de substitution et de nouveaux systèmes de propulsion expliqueront sans doute l'essentiel des évolutions de la consommation de combustible et des émissions de la flotte au cours des cent prochaines années.

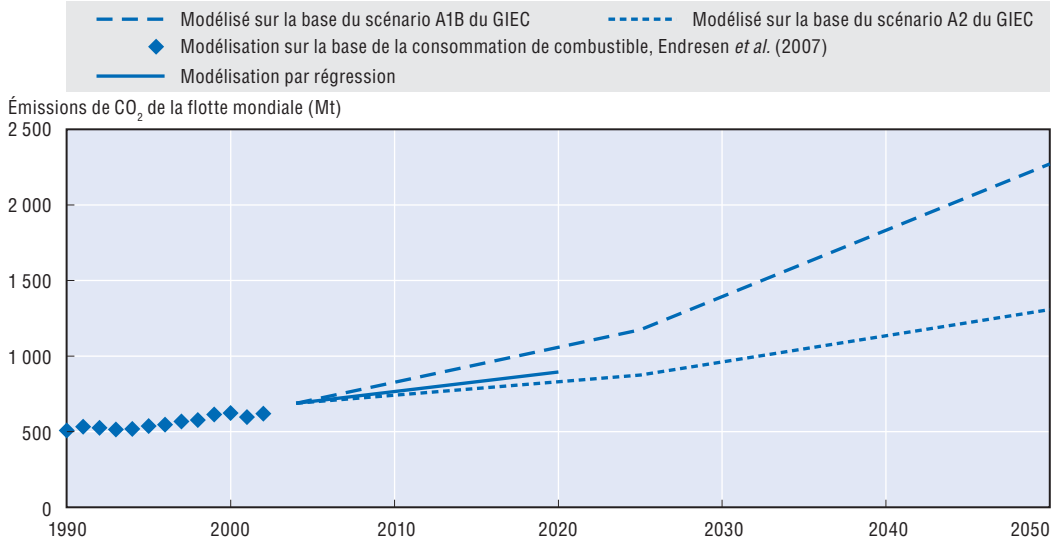
Les pressions augmentent sur l'industrie et les entreprises, notamment sur les divers modes de transport, pour contribuer au développement durable. Conjugué à la hausse attendue des prix de l'énergie, le développement de systèmes plus efficients sur le plan énergétique et plus respectueux de l'environnement pour les navires retiendra de plus en

plus l'attention. Le projet *FellowSHIP* (*www.fuelcellship.com/*) se propose ainsi d'élaborer des modules de puissance ultrapropres et hautement efficients pour l'industrie maritime, en synergie avec une technologie pointue de piles à combustible. Un module de puissance prototype sera testé en 2008-10 à bord d'un navire d'approvisionnement, qui ne devrait pas produire d'émissions de NO_x, de SO_2 ou de particules et pour lequel la réduction des émissions de CO_2 pourrait atteindre 50 %, comparée à celles des moteurs diesel alimentés au fioul.

Le graphique 6.3 montre, en se fondant sur certaines des projections relatives à l'évolution de la consommation de combustible présentées dans le chapitre 3, les quantités totales de CO_2 que le transport maritime pourrait produire d'ici à 2050. Il a ainsi été calculé que tous les navires de haute mer émettraient 1308 à 2271 Tg de CO_2, 17 à 28 Tg de NO_x et 2 à 12 Tg de SO_2 d'ici 2050 s'ils consommaient dans le même temps les 453 à 810 Mt de combustible prévues (Endresen *et al.*, 2008). Le scénario A1B donne les plus fortes estimations de CO_2 et le scénario A2 les estimations les plus faibles. Cela est cohérent avec les résultats sur la consommation de combustibles, pour laquelle A1 donne l'estimation la plus forte et A2 l'estimation la plus faible. Ces résultats donnent à penser qu'en 2050, les navires seront responsables d'une proportion sensiblement plus forte des émissions anthropogéniques mondiales de CO_2, alors qu'elle est de 2 à 3 % actuellement. Si la réduction des émissions de CO_2 dans les scénarios est pour l'essentiel tributaire d'une amélioration des conditions techniques et opérationnelles et du développement de combustibles et de systèmes de propulsion de substitution, la réduction des émissions de NO_x et CO_2 (et des autres composés présents dans les fumées) peut être obtenue par des mesures spécifiques de réduction des émissions (par exemple, post-traitement des fumées).

Graphique 6.3. **Émissions estimatives de CO_2 de la flotte mondiale**

1990-2050



Source : Endresen *et al.* (2008).

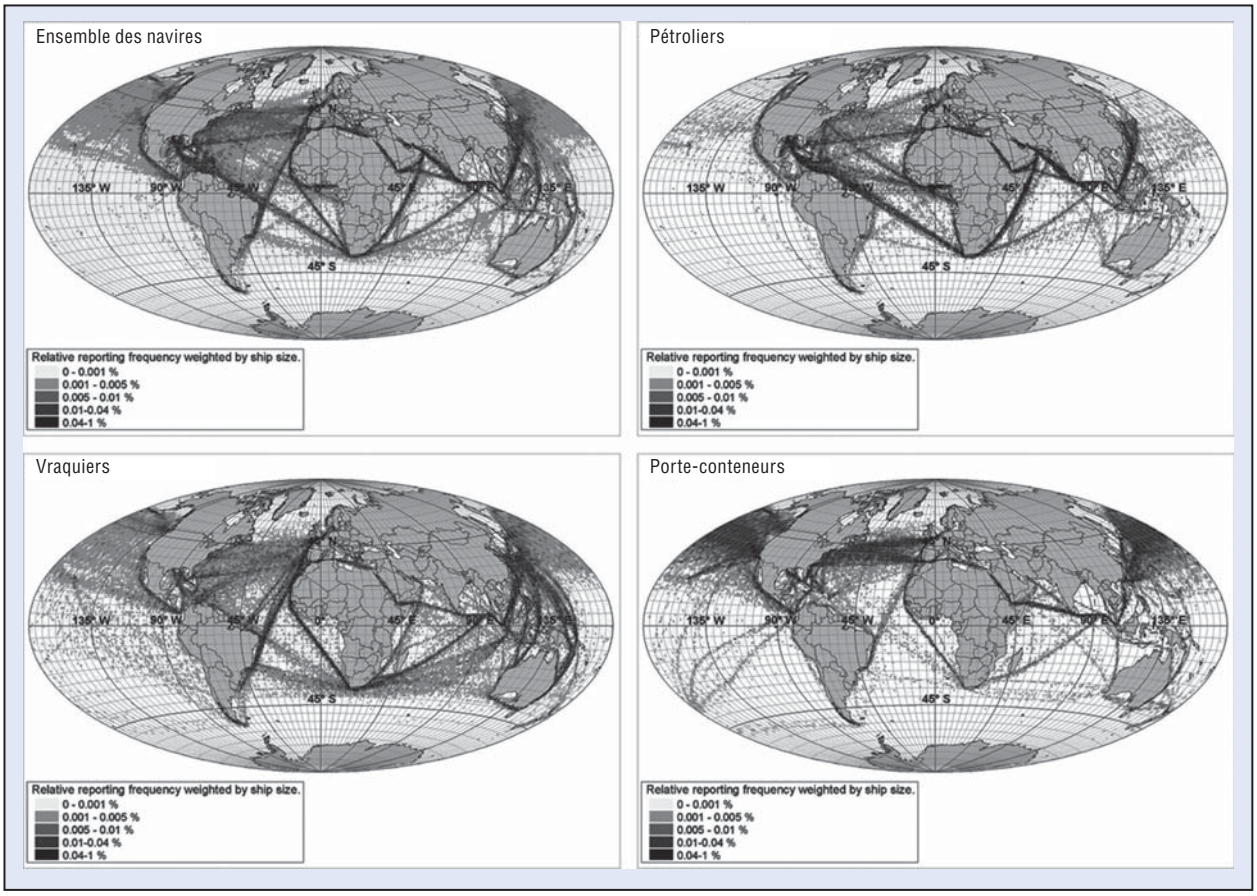
6.3. Inventaire d'émissions réparties géographiquement

Corbett *et al.* (1999) ont élaboré les premières représentations géographiques des émissions des navires à l'échelle mondiale au moyen d'un indicateur de substitution de l'intensité du trafic maritime déduit de l'ensemble de données COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set). Endresen *et al.* (2003) ont recueilli et présenté d'autres données mondiales et méthodologies pour la répartition géographique des émissions. Les modélisations des émissions de polluants dans les fumées ont été réparties au moyen d'un indicateur d'émissions au niveau individuel des cellules géographiques qui repose sur la fréquence relative de signalements de navires ou sur cette même fréquence pondérée par la taille des navires. L'indicateur était basé sur les fréquences de signalement des navires à l'échelle mondiale recueillies dans le cadre du COADS, de PurpleFinder et de l'AMVER (système automatisé d'assistance mutuelle pour le sauvetage de navires). La fréquence des signalements pondérée par la taille des navires n'était disponible que dans les données AMVER. Récemment, Wang *et al.* (2007) ont fait la démonstration d'une méthode permettant d'améliorer la représentativité de cet indicateur de substitution mondial. Endresen *et al.* (2003) ont également élaboré un inventaire séparé des émissions mondiales de vapeurs de COV en relation avec le transport de pétrole.

On estime que 80 % du trafic maritime sont concentrés dans l'hémisphère nord, à raison de 32 % dans l'Atlantique, 29 % dans le Pacifique, 14 % dans l'océan Indien et 5 % dans la Méditerranée. Les 20 % restants se retrouvent dans l'hémisphère sud où ils se répartissent de façon approximativement égale entre l'océan Atlantique, l'océan Pacifique et l'océan Indien (Endresen *et al.*, 2003). Compte tenu du nombre et du type et/ou de la taille des navires signalés et de l'année de référence, Endresen *et al.* (2007) estiment que la base de données du système AMVER est celle qui convient le mieux pour distribuer les émissions du transport maritime de marchandises. La fréquence relative des signalements, pondérée par la taille des navires, peut être utilisée pour prendre en compte l'importante variation des émissions entre navires de petit et fort tonnage (uniquement disponible dans les données AMVER). L'ensemble de données COADS était recommandé s'il s'agissait de considérer l'ensemble de la flotte mondiale (comprenant également des navires autres que les cargos). Toutefois, il conviendrait d'ajouter les inventaires nationaux couvrant la navigation côtière, comme indiqué par Dalsøren *et al.* (2006). Les inventaires élaborés par Endresen *et al.* (2003) ont été utilisés dans plusieurs études (par exemple, Dalsøren *et al., 2007*; Eyring *et al.*, 2005b; Beirle *et al.,* 2004). Ceci est important, car les navires de moins de 100 tonnes brutes généralement exploités pour la navigation côtière ne sont pas pris en compte (on dénombre actuellement quelque 1.3 million de navires de pêche). La part de la flotte côtière dans la consommation totale de combustible pourrait être importante. De même, il faut noter que l'évolution récente de la composition des échanges mondiaux, notamment dans les eaux asiatiques ces dernières années, doit être prise en compte dans les actualisations futures des inventaires mondiaux.

Endresen *et al.* (2004b) proposent une répartition géographique du trafic en fonction du type de navire, sur la base des données AMVER (vraquiers, pétroliers et porte-conteneurs) (graphique 6.4)[2]. Ces données, également utilisées par Eyring *et al.* (2005b), illustrent les fortes variations de la structure du trafic (et des émissions) pour différents types de navires.

Graphique 6.4. **Densités du trafic de navires pour l'année 2000, d'après les données AMVER**



Note : Supérieur gauche: ensemble des navires de charge et navires de passagers dans la flotte marchande AMVER, Supérieur droit: Pétroliers, Inférieur gauche: Vraquiers, Inférieur droit: Porte-conteneurs.

Source : Endresen *et al.* (2004b).

6.4. Impacts sur l'atmosphère

Les polluants que les navires rejettent dans l'atmosphère sont souvent transformés chimiquement en espèces secondaires. Celles-ci se mélangent avec l'air ambiant puis se déposent soit sous forme sèche, soit sous forme humide. La situation météorologique de l'atmosphère et l'insolation sont également décisifs dans les réactions chimiques. Ces facteurs font que les interactions entre des gaz chimiquement actifs sont fortement non linéaires et il peut exister de grands écarts entre les perturbations atmosphériques et les perturbations des émissions. Les émissions des navires peuvent affecter les niveaux d'ozone (climat, effets sur la santé), de sulfates (acidification, climat, effets sur la santé), de nitrates (acidification, eutrophisation), de NO_2 (pollution, précurseurs de l'ozone et nitrates), de COVNM (pollution, précurseurs de l'ozone), de SO_2 (pollution, précurseurs des sulfates), d'OH et ses effets sur le méthane (climat) et d'aérosols (pollution, climat). Les modèles informatiques sont largement utilisés pour quantifier les impacts. Les modèles de transport de produits chimiques à l'échelle mondiale et régionale comportent des modules chimiques détaillés, permettant les calculs pour un certain nombre ou la totalité des composés précités. Les données météorologiques (vents, températures, précipitations,

nébulosité, etc.) utilisées comme données d'entrée pour les calculs dans ces modèles proviennent des modèles de prévisions météorologiques ou des modèles climatiques.

Les observations par satellite font apparaître des concentrations élevées de NO_x le long des grands axes maritimes (Beirle *et al.*, 2004; Richter *et al.*, 2004). Les estimations régionales des émissions basées sur ces observations de concentrations concordent bien avec les inventaires mondiaux des émissions. Les phénomènes intervenant dans les fumées des navires ne sont généralement pas pris en compte dans les modèles mondiaux ayant une résolution (taille de cellules) d'une centaine à plusieurs centaines de kilomètres. Ces modèles répartissent donc les émissions sur des superficies plus vastes. Les études et mesures chimiques détaillées par modélisation améliorent notre compréhension des processus intervenant à des niveaux plus fins que la cellule dans les panaches non dilués à la sortie des cheminées et pendant les premières phases de dilution. Les études et mesures indiquent que la chimie des panaches de fumée doit être mieux prise en compte dans la modélisation des impacts (Kasibhatla *et al.*, 2000; Chen *et al.*, 2005; Song *et al.*, 2003; von Glasow *et al.*, 2003). Ces études tendent à indiquer une destruction plus forte des NO_x dans les panaches de fumée des navires. Il se peut que certains modèles surestiment l'effet des émissions des navires sur les bilans de NO_x, d'OH et d'ozone et un moyen d'y pallier est d'appliquer un coefficient de réduction (émission effective) ou d'introduire la chimie des panaches de fumées dans les modèles mondiaux. Toutefois, la quantité d'observations sur les fumées des navires est limitée et il faudrait davantage de données et d'études. C'est également la conclusion qui ressort d'une comparaison entre des modèles mondiaux et des observations de zones océaniques et côtières (Dalsøren *et al.*, 2007; Eyring *et al.*, 2007).

Impacts sur les niveaux de pollution et le climat

Les composants primaires, comme les particules, le NO_2, le CO, les COVNM et le SO_2, sont susceptibles de créer des problèmes dans les zones côtières et les ports à fort trafic du fait de leur impact sur la santé humaine à des niveaux élevés de concentration (Saxe *et al.*, 2004; EPA, 2003). Les espèces secondaires formées à partir des polluants des émissions des navires ont des durées de vie chimique plus longues et sont transportées dans l'atmosphère sur plusieurs centaines de kilomètres. Elles peuvent donc contribuer aux problèmes de qualité de l'air dans les zones émergées. C'est un processus important pour l'ozone et pour le dépôt de composés soufrés et azotés, qui provoquent l'acidification des écosystèmes naturels et des espaces aquatiques et menacent la biodiversité par un apport excessif d'azote (eutrophisation) (Vitousek *et al.*, 1997; Galloway *et al.*, 2004; Bouwman *et al.*, 2002).

Les plus fortes augmentations en surface de polluants à courte durée de vie comme le NO_2 s'observent à proximité des régions à fort trafic, autour de la mer du Nord et de la Manche. Les études sur modèle font généralement apparaître que le NO_2 a plus que doublé le long des grandes voies maritimes mondiales (Endresen *et al.*, 2003; Lawrence et Crutzen, 1999; Dalsøren *et al.*, 2007; Eyring *et al.*, 2007).

Les niveaux d'ozone dans la basse atmosphère sont fonction de réactions antagonistes entre les cycles de formation et de piégeage. L'abondance des NO_x ($NO + NO_2$) est cruciale pour la formation d'ozone, mais le nombre de molécules d'ozone formées dépend également de la présence de CO et de COVNM. De façon générale, l'effet perturbateur des émissions sur l'augmentation des concentrations d'ozone est particulièrement marqué dans les régions à faible niveau de fond de pollution. L'ozone est aussi un gaz à effet de serre majeur. On estime qu'il vient à la troisième place des gaz à effet de serre contribuant

le plus au réchauffement depuis l'époque préindustrielle (Ramaswamy *et al.*, 2001). L'exposition à des niveaux élevés d'ozone est liée à une aggravation de symptômes respiratoires tels que l'asthme, à une vulnérabilité accrue (aux infections, aux allergènes et aux polluants), à des phénomènes inflammatoires, à des douleurs thoraciques et à la toux (Mauzerall et Wang, 2001; EPA, 2003; OMS, 2003; HEI, 2004). Certaines de ces études ont apporté des éléments supplémentaires tendant à indiquer des effets à court terme sur la mortalité, mais les éléments sur les effets à long terme sur la santé sont limités. Une exposition répétée sur une longue période pourrait éventuellement conduire à un vieillissement prématuré du système pulmonaire et à des affections respiratoires chroniques comme l'emphysème et la bronchite chronique. Des niveaux élevés d'ozone durant la période de végétation peuvent provoquer des baisses de rendement dans les cultures agricoles et les exploitations forestières commerciales, une croissance moindre, une plus grande susceptibilité aux maladies et des atteintes visibles sur les feuilles de la végétation (Emberson *et al.*, 2001; Mauzerall et Wang, 2001). L'ozone pourrait également endommager des matériaux à base de polymères, comme les peintures, les matières plastiques et le caoutchouc.

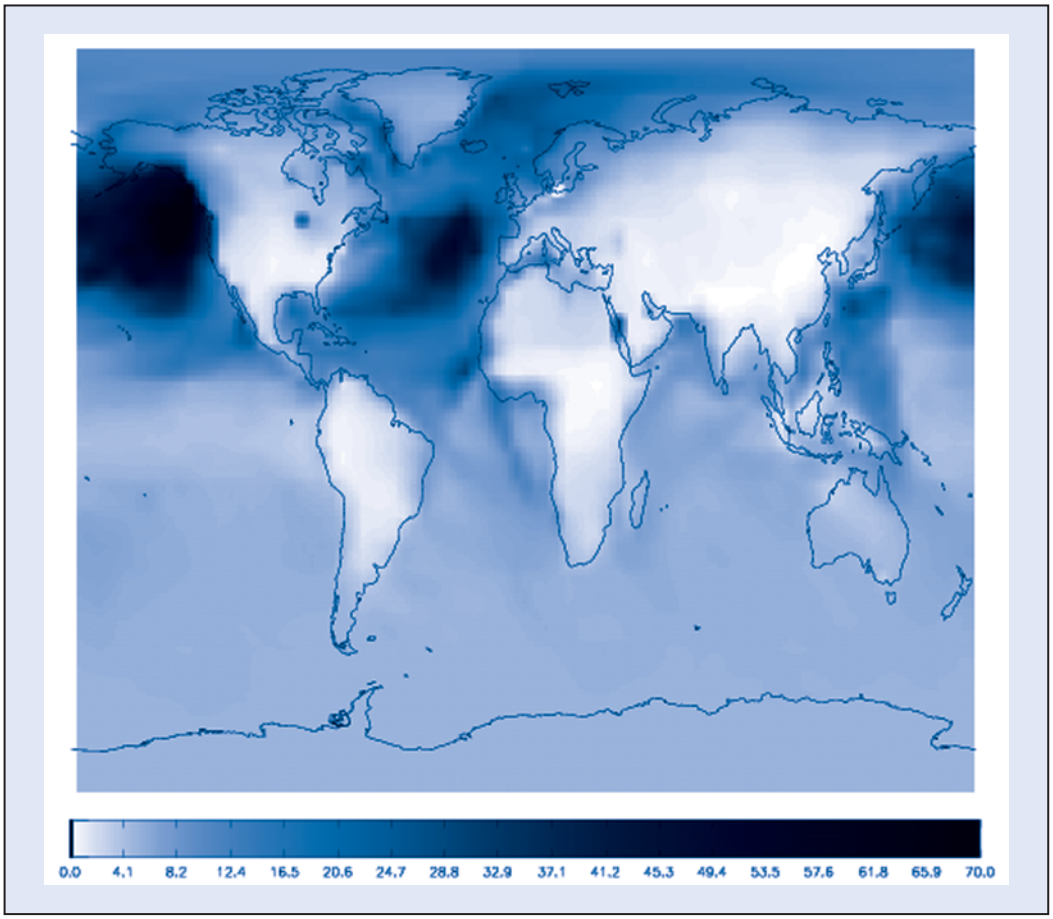
L'effet sur les taux d'ozone en surface fait apparaître une forte saisonnalité aux latitudes boréales. L'augmentation absolue des taux d'ozone imputable aux émissions des navires est maximale en juillet, période durant laquelle l'insolation est suffisante pour induire une photochimie active et une forte production d'ozone dans l'hémisphère Nord sur de vastes régions, notamment les zones côtières. On observe ainsi de fortes augmentations dans les régions à fort trafic (mer du Nord, zones de pêche à l'ouest du Groenland, Manche, Méditerranée occidentale, Canal de Suez, Golfe persique) (Dalsøren *et al.*, 2007). Certaines de ces régions souffrent déjà de forts niveaux d'ozone en été du fait de la pollution par des sources terrestres proches. Le graphique 6.5 montre que la contribution relative du transport maritime international aux taux d'ozone en surface est encore plus importante au milieu des océans ou, comme on l'a mentionné plus haut, la production d'ozone est relativement plus efficiente du fait de niveaux de pollution de fond plus faibles. La contribution relative est également importante dans les zones côtières, le long des côtes occidentales de l'Amérique du Nord et de l'Europe occidentale. Des contributions analogues à l'ozone sont constatées par Cofala *et al.* (2007), Derwent *et al.* (2005), Collins *et al.* (2007) et Eyring *et al.* (2007) et Cofala *et al.* (2007) analysent l'impact des taux d'ozone au niveau du sol sur la santé en Europe et la contribution du transport maritime tant à l'époque présente (année 2000) que dans les scénarios futurs (année 2020).

Les perturbations de l'ozone à haute altitude ont d'importantes répercussions sur le climat. L'ozone produit à proximité des sources d'émission ou durant le transport s'élève par convection et sous l'effet des fronts atmosphériques vers des altitudes où sa durée de vie est plus longue et son transport plus rapide. Les augmentations relatives caractéristiques dans la colonne troposphérique imputables au trafic maritime (non indiquées) sont de 7 à 14 % dans l'hémisphère Nord et de 2 à 7 % dans l'hémisphère Sud (Dalsøren *et al.*, 2007).

L'hydroxyle (OH) est le principal oxydant dans la troposphère (Levy, 1971). Ce radical réagit avec plusieurs polluants et gaz à effet de serre qu'il élimine; l'un d'entre eux est le méthane (CH_4). L'abondance d'OH est elle-même fortement tributaire de certains de ces polluants, notamment le CH_4, les NO_x, l'O_3 et le CO (Dalsøren et Isaksen, 2006; Wang et Jacob 1998; Lelieveld *et al.*, 2002). Alors que les émissions de CO et de CH_4 tendent à réduire les niveaux mondiaux actuels corrigés d'OH, l'effet global des émissions de NO_x est

Graphique 6.5. **Contribution des émissions des navires aux concentrations d'ozone de surface**

En pour cent, juillet 2004



Source : Dalsøren *et al.* (2007).

d'accroître les concentrations d'OH (Dalsøren et Isaksen, 2006). Du fait des importantes émissions de NO_x produites par le transport maritime, cette source conduit à des augmentations assez importantes des concentrations d'OH. Comme la réaction avec l'OH est la principale voie de suppression du méthane dans l'atmosphère, les émissions des navires (aux conditions atmosphériques actuelles) *diminuent* la concentration du gaz méthane à effet de serre. La réduction de la durée de vie du méthane due aux émissions de NO_x par le transport maritime varie entre 1.5 % et 5 %, selon les différents calculs (Lawrence et Crutzen, 1999; Endresen *et al.*, 2003; Dalsøren *et al.*, 2007 et 2009; Eyring *et al.*, 2007).

L'oxydation des NO_x par OH conduit à la formation d'acide nitrique et de nitrates. Quand l'acide nitrique et les nitrates se déposent sous forme sèche ou sous l'effet des précipitations, ils peuvent contribuer à l'eutrophisation ou à l'acidification d'écosystèmes vulnérables (Vitousek *et al.*, 1997; Galloway *et al.*, 2004). Les émissions de soufre sont susceptibles de réduire la qualité de l'air au-dessus des terres, par exemple en contribuant à la production de particules de sulfate et aux dépôts de sulfate. Les émissions de SO_2 produites par le transport maritime sont transformées par oxydation en sulfates essentiellement en phase aqueuse (dans les gouttelettes des nuages et les particules d'eau

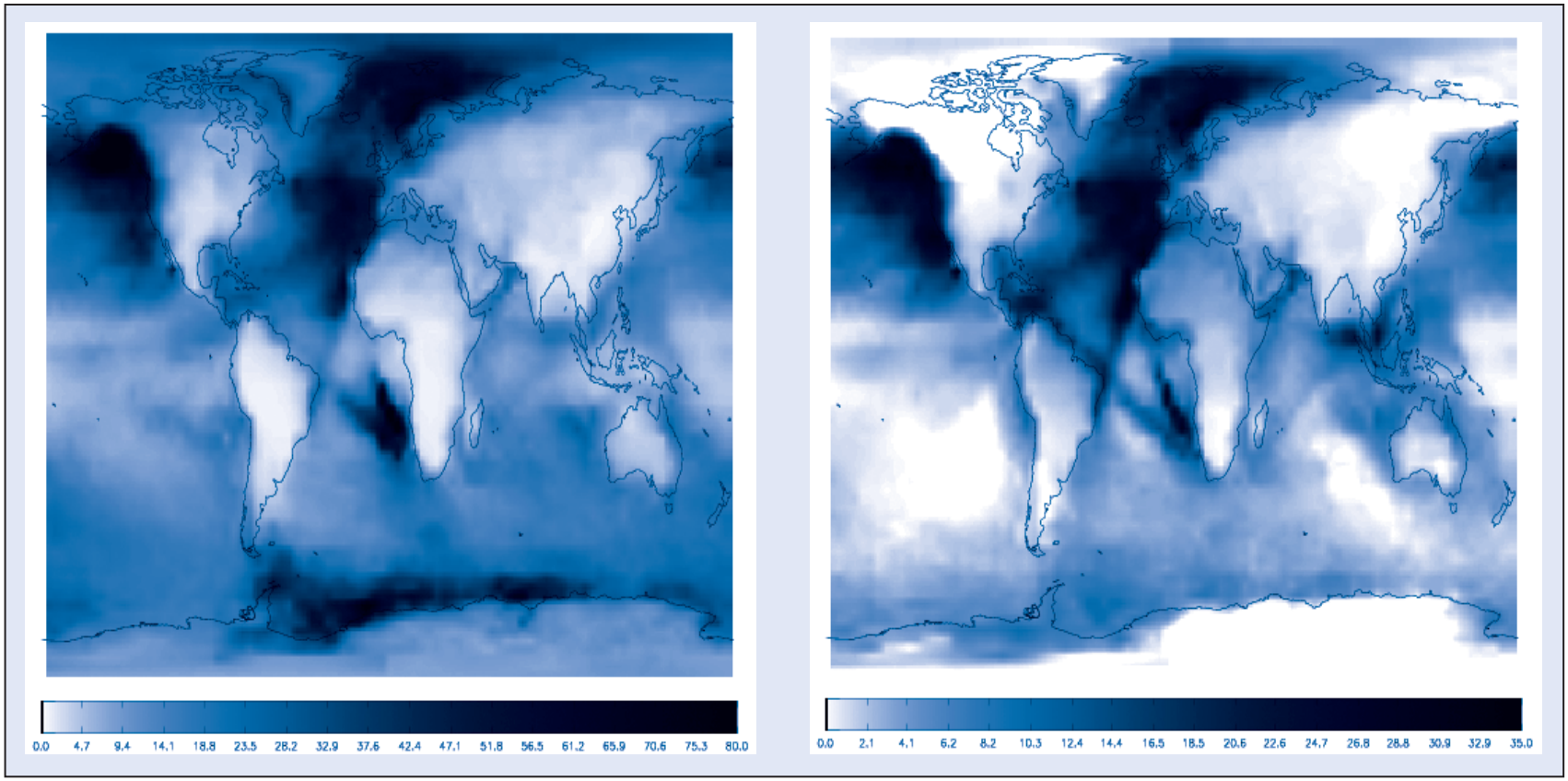
de mer) de même qu'en phase gazeuse par le radical OH. Le principal impact du transport maritime sur la chimie des sulfates est dû aux émissions directes de SO_2. Toutefois, l'augmentation des concentrations du radical OH entraînée par les émissions de NO_x améliore le processus d'oxydation gazeuse. Ce processus est également important, car il conduit à la production de nouvelles particules, alors que l'oxydation aqueuse augmente la masse des particules existantes. Actuellement, le transport maritime augmente la charge mondiale de sulfate d'environ 3 % (Endresen *et al.*, 2003; Eyring *et al.*, 2007). La charge relative dans certaines zones côtières est toutefois beaucoup plus élevée. Le graphique 6.6, extraite de Dalsøren *et al.* (2008), montre l'impact des émissions des navires sur les dépôts humides de nitrates et de soufre. Ceux-ci sont des composants majeurs des pluies acides. Les contributions sont les plus fortes pendant les saisons de fortes précipitations sur la côte occidentale des continents où le régime dominant des vents est à l'ouest. Certaines parties de la Scandinavie sont particulièrement exposées aux précipitations acides du fait d'un socle rocheux qui s'érode lentement. L'impact des émissions des navires est important dans cette région puisqu'ils y contribuent à hauteur de plus de 30 % aux dépôts humides de nitrates et de 10 à 25 % aux dépôts humides de sulfates. Les pays côtiers d'Europe occidentale, du Nord-ouest de l'Amérique et d'une partie de la zone orientale du continent américain subissent eux aussi de fortes augmentations relatives comprises entre 5 et 20 %. Des chiffres analogues ont été constatés par Endresen *et al.* (2003), Collins *et al.* (2007); Dalsøren *et al.* (2007) et Lauer *et al.* (2007). Marmer et Langmann (2005) ont constaté d'importantes augmentations des sulfates dans la mer Méditerranée du fait du transport maritime.

Pour les particules autres que les sulfates (noir de carbone (suie), carbone organique, etc.), la contribution du transport maritime est limitée, de l'ordre de quelques pour cent dans les zones les plus touchées (Lauer *et al.*, 2007; Dalsøren *et al.,* 2007; Dalsøren *et al.*, 2008), mais il faut noter que le volume des émissions de ces polluants est très mal connu. Les rejets d'aérosols fins et ultrafins dans les zones polluées suscitent beaucoup d'inquiétudes quant à leur impact sur la santé (Martuzzi *et al.,* 2003; Nel, 2005). Les épisodes de pollution actuels et les niveaux moyens dans de grandes villes du monde ont des effets sévères à court et long terme sur les affections et la mortalité, en raison des incidences sur les systèmes cardiovasculaire et pulmonaire (par exemple, cancer du poumon) (HEI, 2004; OMS, 2003). Une relation linéaire sans seuil avec la mortalité et les admissions hospitalières a pu être observée dans plusieurs contextes. Des particules comme les suies peuvent également provoquer la salissure des matériaux. Corbett *et al.* (2007) estiment à 20 000-104 000 le nombre annuel mondial de morts prématurées imputables aux émissions de particules du transport maritime.

Les aérosols ont également une influence directe sur le climat et la visibilité par diffusion et/ou absorption du rayonnement solaire, ce qui influe sur le bilan radiatif (Penner *et al.*, 2001; Ramanathan *et al.*, 2001). Que cela conduise globalement à un refroidissement ou à un réchauffement de la surface du globe dépend de plusieurs facteurs, comme le ratio diffusion/absorption (composition/propriétés des aérosols), la nébulosité et l'albédo de surface (Ramanathan *et al.,* 2001). Les aérosols peuvent agir comme des noyaux de condensation, modifier les propriétés des nuages et les taux de précipitations et par ce biais, avoir des effets indirects sur le climat. Les aérosols peuvent augmenter le nombre de gouttelettes dans les nuages et donc accroître le rayonnement solaire réfléchi vers l'espace, ce qui conduit à un refroidissement [premier effet indirect (Twomey, 1974)]. L'augmentation du nombre des gouttelettes dans les nuages peut

Graphique 6.6. **Contribution annuelle moyenne du trafic maritime aux dépôts humides**

En pourcent



A gauche: nitrates. A droite: soufre.

Source : Dalsøren *et al.* (2008).

MONDIALISATION, TRANSPORT ET ENVIRONNEMENT © OCDE 2010

diminuer l'efficience des précipitations. Cela pourrait également se traduire par une augmentation de la durée de vie et de la quantité des nuages (Kaufman et Koren, 2006), ce qui accroît la réflexion du rayonnement solaire [2e effet indirect (Rosenfeld *et al.*, 2000)]. Les réactions à la surface des aérosols peuvent également modifier la composition chimique à la fois de l'aérosol et des phases gazeuses (Tie *et al.*, 2005). Les effets des émissions d'aérosols sur les nuages sont visibles dans le « sillage atmosphérique » des navires sur les images par satellite. On observe ainsi d'étroites bandes sous le vent des navires qui sont plus claires sur les images (Schreier *et al.*, 2007). Les mesures atmosphériques dans un ciel dégagé au-dessus d'un cargo ont montré qu'environ 12 % des particules émises agissent comme des noyaux autour desquels des nuages pourraient se former (Hobbs *et al.*, 2000). Plusieurs études montrent que la concentration de gouttelettes dans le sillage des navires augmente sensiblement par rapport à la nébulosité ambiante et que le rayon efficace diminue (Durkee *et al.*, 2000; Ferek *et al.,* 2000; Schreier *et al.,* 2006). Plus les gouttelettes d'eau sont petites, moins elles sont susceptibles de voir leur taille augmenter suffisamment pour pouvoir se précipiter, ce qui prolonge la durée de vie du nuage et augmente la réflectivité. Une étude par satellite des nuages se formant dans la région de la Manche fait apparaître une augmentation de la réflectivité des nuages et une diminution de la température au sommet des nuages (Devasthale *et al.,* 2006), qui pourraient être liées à l'augmentation des émissions des navires. Dans les régions terrestres polluées voisines, les tendances sont opposées, sans doute du fait des réductions des émissions de particules provenant de sources terrestres.

Les calculs du forçage radiatif (FR) permettent de chiffrer le bilan radiatif au sommet de l'atmosphère sous l'effet des composants influant sur le budget radiatif. Le FR est un indicateur, exprimé en watts/m^2, de l'impact des différentes sources sur le climat, car il existe une relation approximativement linéaire entre le forçage radiatif moyen mondial et l'évolution de la température de surface moyenne mondiale (Forster *et al.*, 2007). Les émissions des navires ont un impact sur les concentrations de gaz à effet de serre (principalement CO_2, CH_4 et O_3) et d'aérosols, qui contribuent de façon à la fois positive et négative au forçage radiatif direct. De plus, les aérosols émis par les navires provoquent un forçage radiatif indirect important parce qu'ils modifient la microphysique des nuages (voir paragraphe précédent). Le tableau 6.2 résume les estimations de la contribution actuelle des émissions des navires au forçage radiatif présentées dans plusieurs études (Capaldo *et al.,* 1999; Endresen *et al.*, 2003; Eyring *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2007; Lauer *et al.,* 2007; Dalsøren *et al.,* 2007; Fuglestvedt *et al.,* 2008). La fourchette des valeurs est large, certaines incertitudes étant liées à l'utilisation de répartitions et totaux différents pour les émissions. La plupart des autres incertitudes tiennent à la méconnaissance de l'évolution historique de composants à longue durée de vie tels que le CO_2 et le CH_4, aux incertitudes dans les calculs chimiques des composants réactifs (chimie non linéaire) et à la complexité

Tableau 6.2. **Forçage radiatif de différents composants**

Année 2000, mW par m^2

Composants	CO_2	SO_4	CH_4	O_3	BC	OC	Indirect
Marge	*+26-43*	**÷12-47**	**÷11-56**	*+8-41*	*+1.1-2.9*	**÷0.1-0.5**	**÷38-600**

Les chiffres en italiques indiquent un forçage positif (réchauffement) et les chiffres rouges en gras un forçage négatif (refroidissement).

Sources : Capaldo *et al.* 1999; Endresen *et al.*, 2003; Eyring *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2007; Lauer *et al.,* 2007; Dalsøren *et al.*, 2007; Fuglestvedt *et al.*, 2008.

et à la compréhension limitée des effets indirects. En résumé, les études indiquent que les émissions des navires conduisent à un refroidissement mondial net[3]. Cette conclusion est différente de celle concernant d'autres secteurs des transports (Fuglestvedt *et al.*, 2008).

Il faut toutefois souligner que les incertitudes sont grandes, notamment concernant les effets indirects, et que le forçage radiatif n'est qu'une première mesure des changements climatiques. Il est également important de garder à l'esprit que le forçage lié aux différents composants agit à des échelles temporelles et spatiales différentes. Un composé bien mélangé à longue durée de vie, comme le CO_2, a des effets globaux qui durent pendant des siècles. Les espèces à plus courte durée de vie comme l'ozone et les aérosols pourraient avoir des effets qui sont fortement concentrés au plan régional et ne durent que quelques semaines. Les aspects régionaux sont importants dans la mesure où les systèmes météorologiques tendent à être pilotés par les gradients régionaux de température.

Il convient également de garder à l'esprit que l'effet net de refroidissement qui a été mis en évidence jusqu'ici affecte principalement les zones océaniques, et donc ne contribue pas à atténuer les impacts négatifs du réchauffement de la planète pour les habitats humains.

Impacts futurs

Les études sur modèles des impacts futurs des émissions des navires sont fonction des projections utilisées comme référence pour le calcul des émissions. La plupart des scénarios pour l'avenir proche, à savoir les 10 à 20 prochaines années, indiquent que les réglementations et mesures visant à réduire les émissions seront insuffisantes pour empêcher l'accroissement du trafic d'entraîner une augmentation globale des émissions. En prenant l'hypothèse de l'absence de changement dans les émissions non liées au transport maritime, Dalsøren *et al.* (2007) ont constaté que les scénarios pour les activités maritimes en 2015 conduisent à une augmentation de plus de 20 % des émissions de NO_2 entre 2000 et 2015 dans certaines zones côtières. L'augmentation des taux d'ozone est en général faible. Le dépôt humide d'espèces acides est censé augmenter jusqu'à 10 % dans les zones où les charges critiques actuelles sont dépassées. Les réglementations limitant la teneur en soufre du combustible dans la mer du Nord et la Manche réduiront les dépôts de sulfate dans les régions côtières voisines. Le développement attendu des transports de pétrole et de gaz par mer au départ de la Norvège et du nord-ouest de la Russie et le transport maritime le long de la Route maritime nord auront un impact régional significatif en augmentant les dépôts acides dans le Nord de la Scandinavie et la Péninsule de Kola. Une augmentation des taux de particules dans l'Arctique a été constatée et la contribution du trafic maritime à des phénomènes comme le brouillard arctique pourrait donc augmenter. La glace de mer étant appelée à reculer dans l'Arctique au cours du XXIe siècle du fait du réchauffement climatique projeté, la structure des transports maritimes mondiaux pourrait considérablement changer dans les décennies à venir. Granier *et al.* (2006) utilisent l'une des estimations d'émissions les plus élevées pour 2005 présentée par Eyring *et al.* (2005b) et introduisent un certain volume de trafic dans les eaux arctiques. Durant les mois d'été, la concentration superficielle d'ozone dans l'Arctique pourrait doubler à tripler, du fait des mouvements de navires dans les passages du Nord. La concentration d'ozone projetée entre juillet et septembre est comparable aux valeurs d'été actuellement observées dans de nombreuses régions industrialisées de l'hémisphère Nord.

Cofala *et al.* (2007) constatent que les navires sont actuellement responsables de 10 à 20 % des dépôts de soufre dans les zones côtières européennes. Cette contribution devrait augmenter d'ici 2020 pour dépasser 30 % sur de vastes superficies et atteindre 50 % dans les zones côtières. Des technologies existent pour ramener les émissions des navires en deçà de ce que la législation impose actuellement. Cofala *et al.* (2007) ont procédé à des analyses coût-efficacité de plusieurs ensembles possibles de mesures. Eyring *et al.* (2007) utilisent les résultats de dix modèles récents de la chimie de l'atmosphère pour analyser les conditions actuelles (année 2000) et proposer deux scénarios futurs sur les émissions des navires. Dans le premier scénario, les émissions des navires se stabilisent aux niveaux de 2000 tandis que dans l'autre, elles augmentent à un taux annuel constant de 2.2 % jusqu'en 2030. La plupart des émissions anthropogéniques suivent le scénario A2 du GIEC, tandis que la combustion de biomasse et les émissions naturelles demeurent aux niveaux de 2000. La contribution maximale du transport maritime aux concentrations annuelles moyennes d'O_3 à proximité de la surface s'observe dans l'Atlantique Nord. Le forçage de l'O_3 troposphérique causé par le transport maritime était de 9.8±2.0 mW/m^2 en 2000 et sera de 13.6±2.3 mW/m^2 en 2030 pour le scénario prévoyant une augmentation des émissions des navires. L'augmentation des concentrations de NO_x conduit à augmenter simultanément la concentration de radicaux hydroxyle en haute mer, ce qui réduit la durée de vie du méthane à l'échelle mondiale de 0.13 année en 2000 et de pas moins de 0.17 année en 2030 et rend le forçage radiatif partant négatif. L'augmentation des émissions produites par les transports maritimes contrebalancerait de façon sensible les avantages procurés par la réduction des émissions de SO_2 provenant de l'ensemble des autres sources anthropogéniques dans le scénario A2 sur les continents, par exemple en Europe. Au plan global, les transports maritimes font augmenter la charge d'O_3 de 3 % et les sulfates de 4.5 % entre 2000 et 2030. Toutefois, si les émissions futures autres que celles des navires évoluent selon un scénario plus rigoureux, l'importance relative des émissions des navires augmentera.

6.5. Autres impacts environnementaux du transport maritime[4]

Les impacts environnementaux du transport maritime transocéanique sont *occasionnels* ou *réguliers*. Le tableau 6.3 en donne une liste. Une partie de la pollution liée au transport maritime océanique n'est pas directement imputable aux navires, mais est causée par les travaux de maintenance des infrastructures portuaires effectués et les opérations de modernisation de la flotte menées pour répondre aux besoins de ce transport.

Les pollutions occasionnelles sont de celles que la profession et les responsables politiques comprennent le mieux, comme le prouvent les conventions internationales et les règlements nationaux qui les concernent. La lutte contre ces pollutions se mène principalement à coups d'interdictions (de déversement en mer par exemple), de mesures de sécurisation de la navigation (doublement des coques en vue de prévenir les marées noires et mise en place de systèmes de séparation de trafic destinés à éviter les collisions), de concentration des activités génératrices d'effluents non traités sur des périodes ou en des lieux plus sûrs (fenêtres environnementales de dragage, etc.) et d'obligations de traitement à bord avant vidange (séparateurs d'eaux usées huileuses, etc.) et/ou de stockage à bord et transfert vers les installations portuaires appropriées en conteneurs distincts (pour l'évacuation des déchets par exemple).

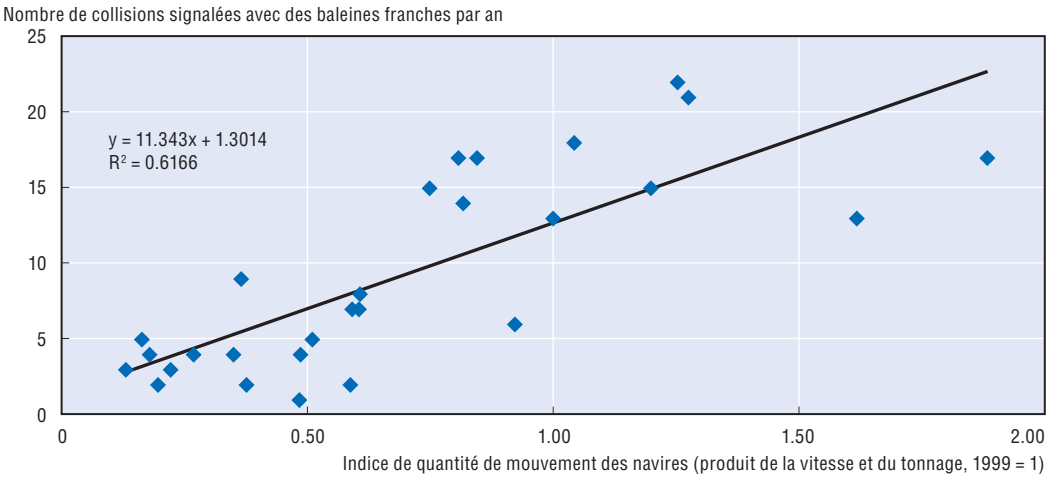
Tableau 6.3. **Formes de pollution marine**

Pollution occasionnelle	Pollution régulière
Imputables aux navires	
Marées noires	Émission de gaz d'échappement
Dégazage en mer	Introduction d'espèces invasives (eaux de ballast, encrassage des coques)
Déversement de déchets	Dissémination de produits toxiques contenus dans le revêtement des coques
Déversement d'eaux usées huileuses	Bruit sous-marin
Collisions de navires	
Collisions avec des animaux marins	
Imputables aux ports	
Dragage	Ruissellement des eaux d'orage
Extension des ports	Érosion due aux remous causés par les navires
Construction et déchirage des navires	Émissions de polluants atmosphériques causées par la manutention des marchandises

Les pollutions régulières diffèrent des précédentes en ce qu'elles sont inhérentes à la sécurité d'exploitation du navire tant en mer qu'au port. Les mesures prises pour y remédier restent en deçà de celles qui sont mises en œuvre pour réduire les pollutions occasionnelles parce que l'impact de ces pollutions régulières était jadis moins bien compris et que leur réduction nécessite un changement des modes d'exploitation et/ou une modernisation des technologies.

L'augmentation progressive de la taille et de la vitesse des navires va aussi de pair avec une augmentation du nombre de mammifères et autres animaux marins qu'ils tuent (Vanderlaan et Taggart, 2007). Le nombre recensé de collisions avec des baleines s'est multiplié par trois depuis les années 70, tout comme le nombre, la taille et la vitesse des navires de la flotte mondiale (Corbett *et al*, en cours de révision). Le graphique 6.7 illustre l'interrelation entre le nombre annuel de collisions avec des baleines franches de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) et le produit de la multiplication de la vitesse du

Graphique 6.7. **Rapport entre le nombre de baleines franches éperonnées et la quantité de mouvement moyenne des navires**



Source : Données concernant des baleines : Kennedy, R.D. (2001), « The North Atlantic Right Whale Consortium Databases » ; Maritimes 43:3-5 ; données concernant des navires dérivés de Lloyd's Register of Shipping (2006). Extraits de la base de données « World Merchant Fleet » entre 2001 et 2006, Lloyd's Register of Shipping.

navire par son tonnage La survie des baleines franches est gravement menacée le long de la côte est des États-Unis (NOAA, 2003). Elles y risquent principalement, comme d'ailleurs d'autres familles de grandes baleines, d'être éperonnées par les grands navires qui naviguent entre les ports de la façade orientale des États-Unis (Laist *et al.*, 2001). Quelque 35 % de toutes les morts de baleines franches recensées entre 1970 et 1989 ont été imputées à des collisions avec des navires, des collisions auxquelles les statistiques de la période 1991-1998 en imputent même 47 % (Knowlton et Kraus, 2001; Laist *et al.*, 2001). Le graphique 6.7 donne à entendre que le nombre de collisions avec des mammifères marins va vraisemblablement augmenter à mesure que les navires vont grandir et naviguer plus vite (pour répondre à la demande d'une économie mondialisée).

L'introduction d'espèces invasives est un autre problème environnemental important posé par la mondialisation (Bright, 1999). Certaines espèces sont introduites volontairement et s'échappent ultérieurement, tandis que d'autres sont introduites accidentellement. Les espèces envahissantes jouent un rôle dans 458 des 900 espèces inscrites actuellement sur la liste des espèces menacées ou en danger aux États-Unis. Les chercheurs considèrent depuis toujours que les navires (salissures des carènes, ballasts secs et liquides) sont des vecteurs importants d'invasion depuis le XVIe siècle au cours duquel les échanges mondiaux ont mené à l'ouverture de lignes maritimes intercontinentales régulières (Ricciardi, 2006; Ruiz *et al.*, 2000a; Ruiz *et al.*, 2000b; Wonham et Carlton, 2005). Les navires peuvent transporter des espèces indigènes à des milliers de kilomètres de distance et les relâcher ensuite dans des eaux étrangères. Ces espèces non indigènes peuvent parfois devenir envahissantes, c'est-à-dire se reproduire rapidement et perturber l'équilibre entre espèces sensibles qui existe souvent dans un écosystème.

L'invasion des espèces allogènes semble être liée à l'augmentation du trafic maritime ainsi que du tonnage des navires et sans doute davantage, d'après ce que des chercheurs affirment depuis peu, à la diversification des routes transocéaniques et des marchandises échangées qu'au volume du trafic ou des échanges. Une étude récente conclut ainsi que la multiplication exponentielle du nombre d'espèces introduites *via* les ballasts des navires pourrait s'expliquer par la constance des taux d'introduction et la viabilité des espèces (Endresen *et al.*, 2004b; Wonham et Pachepsky, 2006). Le coût, significatif, de l'introduction d'espèces aquatiques invasives (Lovell *et al.*, 2006; Pimentel *et al.*, 2005)[5] a poussé à créer un cadre global intégré de mesures à consonance technologique destinées à prévenir l'introduction d'espèces allogènes par les navires (Firestone et Corbett, 2005; OMI, 2004; Theis *et al.*, 2004). Des nouvelles technologies et approches opérationnelles sont actuellement mises au point pour éliminer et détruire les espèces allogènes présentes dans les eaux de ballast des navires.

Levine et D'Antonio (2003) ont montré qu'en dépit de la corrélation positive observable entre le nombre d'espèces allogènes et le commerce, la limitation du nombre d'espèces envahissantes aura pour effet de faire diminuer les invasions avec le temps de telle sorte que la relation entre les invasions et le commerce deviendra concave. De plus, Costello et Solow (2003) ont souligné qu'il existe un décalage dans le processus de découverte, de sorte que le nombre d'espèces exotiques observées à un moment donné est sous-estimé par rapport au nombre d'espèces effectivement présentes. Costello *et al.* (2007) ont estimé le taux d'augmentation des nouvelles introductions imputables au commerce. Ils ont employé des données sur les invasions dans la baie de San Francisco pour calculer le risque marginal d'invasion des importations de différentes régions et constaté que les importations des partenaires commerciaux traditionnels (plus précisément des régions de

l'Atlantique, de la Méditerranée et du Pacifique Ouest) ont été les principales responsables des invasions d'espèces exotiques dans la baie de San Francisco, celles de la région de l'Atlantique et de la Méditerranée représentant près du double de celles du Pacifique Ouest (74 et 43, respectivement). Cependant, le risque marginal d'invasion d'importations *futures* depuis le Pacifique Ouest (0.38 nouvelles introductions par million supplémentaire de tonnes courtes importées) est trois fois plus grand que le risque d'importations futures depuis l'Atlantique et la Méditerranée (0.11). Ils prévoient que si les importations depuis l'Atlantique, la Méditerranée et le Pacifique Ouest restent inchangées, 1.4 et 52.4 nouvelles espèces seront introduites dans la baie de San Francisco d'ici à 2020. Ils ne font pas de prévisions sur d'autres ports.

Dans le même ordre d'idées, Kasperski (2008) a employé des données et des instruments transversaux sur l'intensité du commerce et les niveaux de revenu pour déterminer si les effets généralement bénéfiques de l'ouverture sur les indicateurs environnementaux s'étendent aux ressources biotiques. Bien qu'il n'ait trouvé aucun effet statistiquement significatif de l'intensité du commerce sur le nombre d'espèces endémiques, il a mis en évidence un effet positif et statistiquement significatif sur le nombre d'espèces non endémiques. Il calcule des élasticités du nombre d'espèces non endémiques par rapport au commerce de –1.045, –0.830, –1.080 et –1.071 pour les oiseaux, les mammifères, les plantes et l'ensemble de la biodiversité. Bien que certains puissent juger ce résultat positif, étant donné que les espèces exotiques sont comptabilisées dans les espèces non endémiques, ce résultat confirme l'hypothèse selon laquelle le commerce facilite l'introduction d'espèces envahissantes.

6.6. Conclusions

Le transport maritime s'est sensiblement développé au cours du skiècle dernier et contribue actuellement de façon notable aux émissions mondiales de polluants et de gaz à effet de serre. Néanmoins, les informations sur l'évolution historique de la consommation d'énergie et les émissions sont limitées, peu de données ayant été publiées avant 1950 et les estimations pour les trois dernières décennies variant fortement. Endresen *et al.* (2008) indiquent que les émissions mondiales de CO_2 par les navires étaient de 30 Tg de CO_2 en 1870 et ont augmenté jusqu'à atteindre environ 206 Tg de CO_2 en 1913. La principale évolution durant cette période est le remplacement de la voile par la vapeur pour la propulsion des navires. Les émissions mondiales de CO_2 des navires ont été estimées, sur la base des ventes de soutes maritimes, à 229 Tg de CO_2 en 1925 et environ 634 Tg de CO_2 en 2002. Les émissions correspondantes de SO_2 ont été estimées à environ 2.5 Tg en 1925 et à 8.5 Tg en 2002. Les principales évolutions durant cette période ont été le remplacement du charbon par le fioul et l'adoption par la flotte de la motorisation diesel.

La majorité des émissions actuelles des navires s'observent dans l'hémisphère Nord, à l'intérieur d'un réseau bien défini de liaisons maritimes internationales. Les représentations géographiques les plus précises des émissions sont obtenues au moyen d'une méthodologie basée sur la fréquence relative des signalements, pondérée par la taille des navires. La mise en service du système mondial d'identification et de suivi des navires sera en service, au moyen de la technologie LRIT, augmentera sensiblement les possibilités de suivi efficace et de modélisation fiable des émissions.

La modélisation basée sur l'activité pour la période 1970-2000 indique que la taille et le taux d'utilisation de la flotte, combinés au passage à la motorisation diesel, ont été les

déterminants majeurs de la consommation annuelle d'énergie. Il est intéressant de noter que la modélisation à partir d'environ 1973 donne à penser que la croissance de la flotte n'a pas nécessairement entraîné une augmentation de la consommation d'énergie.

Les écarts importants observables entre les différentes estimations de la consommation de combustible et des émissions fondées sur l'activité sont imputables pour leur plus grande part à l'inégalité des nombres de jours de mer pris en compte dans les calculs. La variabilité en fonction du type et de la taille des navires devrait être mieux analysée et décrite pour améliorer la précision des estimations détaillées fondées sur l'activité. Les données opérationnelles disponibles indiquent que le nombre de jours de mer varie fortement en fonction du type et de la taille des navires.

Des études récentes indiquent que les émissions de CO_2, de NO_x et de SO_2 des navires représentent respectivement environ 2-3 % (peut-être même 4 %), 10-15 % et 4-9 % des émissions anthropogéniques mondiales. Les émissions de NO_2, CO, VOCNM et SO_2 ainsi que de particules primaires produites par les navires causent des problèmes dans les zones côtières et les ports à fort trafic et à niveau de pollution élevé, du fait de leurs impacts sur la santé humaine et les matériaux. Des augmentations particulièrement élevées en surface de polluants à courte durée de vie comme le NO_2 sont observées à proximité des régions à fort trafic autour de la mer du Nord et de la Manche. L'augmentation absolue de l'ozone de surface (O_3) généré par les émissions des navires est particulièrement marquée durant les mois d'été, surtout dans les régions à fort trafic. Certaines de ces régions souffrent déjà de forts niveaux d'ozone du fait de la pollution par des sources terrestres proches.

La formation de sulfates et de nitrates induite par les émissions d'azote et de soufre provoque une acidification qui pourrait être préjudiciable aux écosystèmes dans les régions à faible capacité d'absorption et avoir des effets préjudiciables sur la santé. L'augmentation relative induite par les navires serait, selon les estimations, comprise entre 5 et 35 % en ce qui concerne les dépôts humides de sulfates et de nitrates. Les aérosols de nitrates et de sulfates et le carbone organique et le noir de charbon (suie) émis directement affectent le climat du fait de leurs effets sur la diffusion/absorption du rayonnement (effet direct) et de leurs impacts sur les nuages (effet indirect). Les émissions de NO_x produites par le trafic maritime conduisent à une augmentation significative d'OH. Comme la réaction avec l'OH est le principal facteur d'élimination du méthane dans l'atmosphère, les émissions des navires diminuent les concentrations de méthane. La réduction de la durée de vie du méthane imputable aux NO_x émis par les navires varie entre 1.5 % et 5 %, selon les calculs. Les effets sur la concentration des gaz à effet de serre (CO_2, CH_4 et O_3) et les aérosols ont différents impacts sur le bilan radiatif du système terre-atmosphère. En résumé, la plupart des études réalisées à ce jour indiquent que les émissions des navires conduisent à un refroidissement mondial net. Ce phénomène est différent de ce que l'on observe dans les autres secteurs du transport.

Il convient toutefois de souligner que les incertitudes sont grandes, notamment concernant les effets indirects, et que la température mondiale n'est qu'une première mesure des changements climatiques. Il importe également de garder à l'esprit que le forçage induit par différents composants agit à des échelles chronologiques et spatiales différentes.

Les projections à l'horizon 2020 annoncent une augmentation des émissions de l'ordre de 30 %. Une étude estime ainsi qu'en 2050, les émissions varieront entre 1 308 et 2 271 Tg de CO_2), 17 à 28 Tg de NO_x et 2 à 12 Tg de SO_2.

Les études sur modèles des impacts futurs des émissions des navires sont fonction des projections utilisées comme référence pour le calcul des émissions. La plupart des scénarios à l'horizon de 10 à 20 ans indiquent qu'une augmentation du trafic conduira à une augmentation significative globale des émissions produites par le transport maritime. La contribution relative du transport maritime aux concentrations de polluants (ozone, NO_2, particules) pourrait augmenter, notamment dans des régions comme l'Arctique et l'Asie du Sud-est.

Notes

1. Le présent chapitre se fonde pour l'essentiel sur le rapport « Impacts de l'élévation du niveau d'activité du transport maritime international sur l'environnement : Tendances passées et perspectives d'avenir » présenté par Øyvind Endresen et Magnus Eide de Det Norske Veritas, Høvik, Stig Dalsøren et Ivar S. Isaksen de l'université d'Oslo et Eirik Sørgård, de Pronord AS, Bodø, Norvège au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008 (*www.oecd.org/dataoecd/52/30/41373767.pdf*) et sur le rapport « Impacts de la mondialisation sur l'activité du transport maritime international : Tendances passées et perspectives d'avenir » présenté par James J. Corbett et James Winebrake, de Energy and Environmental Research Associates, États-Unis, au même Forum (*www.oecd.org/dataoecd/10/61/41380820.pdf*).
2. Dalsøren *et al.* (2009) présentent une répartition géographique du trafic de l'année 2001/2002 entre les mêmes types de navires.
3. Hoor *et al.* (2009) vont dans le même sens.
4. Cette section s'inspire des réflexions de Corbett et Winebrake (2008), qui ont eux-mêmes retravaillé ou repris des idées de Houghton *et al.* (1997), ICF Consulting (2005) et Thomas *et al.* (2002), ainsi que de l'étude de McAusland (2008).
5. Pimentel *et al.* (2005) chiffrent à 120 milliards USD le coût annuel de lutte contre les espèces invasives aux États-Unis. Il ne faut cependant pas perdre de vue que certaines espèces allogènes introduites aux États-Unis, dont le maïs, le blé, le riz, les bovins et la volaille, sont très utiles (Pimentel *et al.*, 2005 ; USBC, 2001).

Bibliographie

Agence internationale de l'énergie (2007), *Sale of marine fuel, Period 2001 to 2005*, OCDE/AIE, Paris.

AIE (2007), *World Apparent Consumption of Refined Petroleum Products*, 2004. Disponible à l'adresse : *www.eia.doe.gov/pub/international/iea2005/table35.xls*; *World Petroleum Supply and Disposition 2000*. Disponible à l'adresse : *www.eia.doe.gov/emeu/iea/table31.html*.

Arctic Climate Assessment (ACIA) (2004), *Impacts of a Warming Arctic, ACIA Overview Report (Part B)*. Cambridge University Press. Disponible à l'adresse : *http://amap.no/acia/index.html*.

AMVER (2001), *Daily Vessel Observations for 2000/2001 of the AMVER Fleet*, présenté par Carroll, E., US Coast Guard.

Annin, R.E. (1920), *Ocean Shipping, Elements of Practical Steamship Operation*, Century Co., New York.

Beirle S. *et al.* (2004), « Estimate of Nitrogen Oxide Emissions from Shipping by Satellite Remote Sensing », *Geophysical Research Letters*, 31, L18102, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2004GL020312*.

Berntsen, T. et I.S.A. Isaksen (1997), « A Global Three-Dimensional Chemical Transport Model for the Troposphere. 1. Model Description and CO and ozone results », *Journal of Geophysical Research*, 102, pp. 21239-21280.

Bouwman, A.F. *et al.* (2002), « A Global Analysis of Acidification and Eutrophication of Terrestrial Ecosystems », *Water, Air, and Soil Pollution*, 141, pp. 349-382.

Bright, C. (1999), « Invasive Species: Pathogens of Globalization », *Foreign Policy*, Fall 1999 (116), 50-64.

Buhaug, Ø. *et al.* (2008), *Updated Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships*, Préparé pour l'Organisation maritime internationale (OMI), sous la coordination de MARINTEK, Norvège, Rapport de Phase 1, septembre 2008.

Capaldo, K. *et al.* (1999), « Effects of Ship Emissions on Sulphur Cycling and Radiative Climate Forcing over the Ocean ». *Nature* 400, pp. 743-746.

Ceuster, G.D., B. v. Herbruggen et S. Logghe (2006), « TREMOVE: Description of model and baseline version 2.41 ». *Transport and Mobility*, Louvain, Commission européenne, Bruxelles, Belgique.

Chen, G. *et al.* (2005), « An Investigation of the Chemistry of Ship Emission Plumes During ITCT 2002 », *Journal of Geophysical Research*, 110, D10S90, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2004JD005236*.

Cofala, J. *et al.* (2007), *Final Report: Analysis of Policy Measures to Reduce Ship Emissions in the Context of the Revision of the National Emissions Ceilings Directive*; International Institute for Applied Systems Analysis: Laxenburg, Autriche.

Collins, W. J., M.G. Sanderson et C.E. Johnson (2007), « Impact of Increasing Ship Emissions on Air Quality and Deposition over Europe by 2030 ». *Meteorologische Zeitschrift*, accepté.

Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED) (2007), Review of Maritime Transport 2007, ISBN: 978-92-1-112725-6, New York. Disponible à l'adresse : *www.unctad.org/Templates/WebFlyer.asp?intItemID=4398&lang=1*.

Corbett, J.J., P. S. Fischbeck et S. N. Pandis (1999), « Global Nitrogen and Sulphur Emissions Inventories for Oceangoing Ships », *Journal of Geophysical Research*, 104 (D3), pp. 3457-3470.

Corbett, J.J. et H.W. Koehler (2003), « Updated Emissions from Ocean Shipping », *Journal of Geophysical Research*: Atmospheres, 108, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2003JD003751*.

Corbett, J.J. et H.W. Koehler (2004), « Considering Alternative Input Parameters in an Activity-Based Ship Fuel Consumption and Emissions Model, Reply to comment by Øyvind Endresen *et al.* on 'Updated Emissions from Ocean Shipping' », *Journal of Geophysical Research*, 109, D23303, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2004JD005030*.

Corbett, J.J. *et al.* (2007), « Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment », *Environmental Science & Technology,* 41(24), pp. 8512-8518, doi : *http://dx.doi.org/10.1021/es071686z*.

Costello, C. et A. Solow (2003), « On the Pattern of Discovery of Introduced Species », *Proceedingsof the National Academy of Science*, 100 (6), pp. 3321-3323.

Dalsøren, S.B. et I.S.A. Isaksen (2006), « CTM Study of Changes in Tropospheric Hydroxyl Distribution 1990-2001 and its Impact on Methane », *Geophysical Research Letters*, 33, L23811, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2006GL027295*.

Dalsøren, S.B. (2007), *CTM Studies on Effects of Various Anthropogenic Emissions on Tropospheric Chemistry*, Ph.D. Thesis, ISSN: 1501-7710, n° 584, Faculté de Mathématiques et de Sciences naturelles, Université d'Oslo, Norvège.

Dalsøren, S.B. *et al.* (2007), « Environmental impacts of the expected increase in sea transportation, with a particular focus on oil and gas scenarios for Norway and northwest Russia », *Journal of Geophysical Research*, 112, D02310, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2005JD006927*.

Dalsøren, S.B. *et al.* (2008), « Update of Ship Emissions and Environmental Impact of Different Ship Types and Harbour Emissions », document en préparation.

Derwent, R.G, (2005), « The Contribution from Ship Emissions to Air Quality and Acid Deposition in Europe », *Ambio* 34(1), pp. 54-59.

Det Norske Veritas (1984), *Veritas Forum* (publication interne).

Devasthale, A., O. Krüger et H. Graßl (2006), « Impact of Ship Emissions on Cloud Properties over Coastal Areas », *Geophysical Research Letters*, 33, L02811, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2005GL024470*.

Durkee, P.A., K.J. Noone et R. T. Bluth (2000b), « The Monterey Ship Track Experiment », *Journal of Atmospheric Science*, 57, pp. 2523-2541.

Eide *et al.* (2008), *EU Project QUANTIFY Delivery: Ship Emissions of the Future*, Report No 2007-1325, Det Norske Veritas AS, Høvik, Norvège.

Emberson, L.D. *et al.* (2001), « Impacts of Air Pollutants on Vegetation in Developing Countries ». *Water, Air and Soil Pollution*, 130, pp. 107-118.

EMEP/CORINAIR (2002), *Emission Inventory Guidebook – 3rd edition October 2002 UPDATE*, Technical report No 30, Shipping Activities – Sub sector 0804, Agence européenne de l'environnement, Copenhague, Danemark.

Endresen, Ø. (2008), *Quantifying Fuel Consumption and air Emissions from Shipping*, Ph.D. Theses, ISBN: 1501-7710, Faculté des sciences mathématiques et naturelles, Université d'Oslo, Norvège.

Endresen, Ø. *et al.* (2003), « Emission from International Sea Transportation and Environmental Impact », *Journal of Geophysical Research, 108* (D17), 4560, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002898*.

Endresen, Ø. *et al.* (2004a), « Substantiation of a Lower Estimate for the Bunker Inventory: Comment on 'Updated Emissions from Ocean Shipping' by James J. Corbett and Horst W. Koehler », *Journal of Geophysical Research*, 109, D23302, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2004JD004853*.

Endresen, Ø. *et al.* (2004b), « Challenges in Global Ballast Water Management », *Marine Pollution Bulletin*, Volume 48, Issues 7-8, pp. 615-623.

Endresen, Ø. *et al.* (2005), « Improved Modelling of Ship SO_2 Emissions – A Fuel Based Approach », *Atmospheric Environment,* 39, pp. 3621-3628.

Endresen, Ø. *et al.* (2007), « A Historical Reconstruction of Ships' Fuel Consumption and Emissions », *Journal of Geophysical Research*, 112, D12301, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2006JD007630*.

Endresen, Ø. *et al.* (2008), *Incidences environnementales de la croissance du transport maritime international – Tendances antérieures et perspectives d'évolution*. Document préparé pour le Forum mondial OCDE/ITF sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008. Disponible à l'adresse : *www.oecd.org/dataoecd/52/30/41373767.pdf*.

Environmental Protection Agency (EPA) (2003), *National Air Quality and Emissions Trends Report*, 2003 Special Studies Edition. Disponible à l'adresse : *www.epa.gov/air/airtrends/aqtrnd03*.

Evans, S.M. (2000), « Marine antifoulants », dans *Seas at the Millennium, An Environmental Evaluation*, vol. III, rédigé par C. Sheppard, chap. 124, pp. 247-256, Pergamon, New York.

Eyring, V. *et al.* (2005a), « Emissions from International Shipping, Part 1: The last 50 years », *Journal of Geophysical Research*, vol. 110, D17306, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2004JD005619*.

Eyring, V. *et al.* (2005b), « Emissions from International Shipping: 2. Impact of Future Technologies on Scenarios Until 2050 », *Journal of Geophysical Research,* 110, D17306, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2004JD005620*.

Eyring, V. *et al.* (2007), « Multi-Model Simulations of the Impact of International Shipping on Atmospheric Chemistry and Climate in 2000 and 2030 », *Atmospheric Chemistry and Physics*, pp. 757-780.

Fearnleys (2002), *Review 2001*, Fearnresearch, Oslo, Norvège.

Fearnleys (2006), *Review 2005*, Fearnresearch, Oslo, Norvège.

Ferek, R.J. *et al.* (2000), « Drizzle Suppression in Ship Tracks », *Journal of Atmospheric Science*, 57, pp. 2707-2728.

Fletcher, M. (1997), « From coal to oil in British shipping », in *The World of Shipping*, edited by D.M. Williams, section 10, pp. 153-171, Ashgate, Brookfield, Vt.

Forster, P. *et al.* (2007), « Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing », dans *Climate Change*, quatrième rapport d'évaluation établi par le Groupe de travail n° I du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Royaume-Uni.

Fritjof Nansen Institute (FNI) (2000), *Northern Sea Route Cargo Flows and Infrastructure-Present State and Future Potential*, FNI REPORT 13/2000, ISBN 82-7613-400-9, Fritjof Nansen Institute, Norvège.

Fuglestvedt, J.S. *et al.* (2008), « Climate Forcing from the Transport Sectors », *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS), vol. 105 (n° 2), pp. 454-458.

Galloway, J.N. *et al.* (2004), « Nitrogen Cycles: Past, Present and Future », *Biogeochemistry,* 70 (2), pp. 153-226.

Granier, C. *et al.* (2006), « Ozone Pollution from Future Ship Traffic in the Arctic Northern Passages », *Geophysical Research Letters*, 33, L13807, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2006GL026180*.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2000), *Special Report on Emissions Scenarios*. Disponible à l'adresse : *www.grida.no/climate/ipcc/emission/*, comprenant une synthèse pour les décideurs : *www.grida.no/climate/ipcc/spmpdf/sres-e.pdf*.

Hansen, L.E. (2004), *Hvordan kan fusjonen mellom P&Q og Carnival påvirke konkurransedynamikken i cruisemarkedet?* (en norvégien), thèse, École norvégienne d'économie et de gestion, Bergen, Norvège.

HEI (2004), HEI International Scientific Oversight Committee. *Health Effects of Outdoor Air Pollution in Developing Countries of Asia: A Literature Review*, Special Report 15, Health Effects Institute, Boston MA.

Hobbs, P.V. *et al.* (2000), « Emissions from Ships with their Respect to Clouds », *Journal of Atmospheric Science*, 57, pp. 2570-2590.

Hoor, P. *et al.* (2009), « The Impact of Traffic Emissions on Atmospheric Ozone and OH: Results from QUANTIFY », *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 3113-3136. Disponible à l'adresse : *www.atmos-chem-phys.net/9/3113/2009/*.

Kasperski, Stephen (2008), *The Impact of Trade on Biodiversity*, Document de travail de l'université du Maryland.

Kasibhatla, P. *et al.* (2000), « Do Emissions from Ships have a Significant Impact on Concentrations of Nitrogen Oxides in the Marine Boundary Layer », *Geophysical Research Letters*, 27, pp. 2229-2232.

Kaufman, Y. J. et I. Koren (2006), « Smoke and Pollution Aerosol Effect on Cloud Cover », *Science*, 313, pp. 655-658, doi : *http://dx.doi.org/10.1126/science.1126232*.

Knowlton, A.R. et S.D. Kraus (2001), « Mortality and Serious Injury on Northern Right Whales (Eubalaena galcialis) in the Western North Atlantic Ocean », *Journal of Cetacean Research and Management*, *2 (Special Issue)*, 193-208.

Kofoed, C. (1926), *Kullforbruk og forbrænding* (en norvégien), O. N. Authens forlag, Tønsberg, Norvège.

Kågeson, P. (2007), *Linking CO_2 Emissions from International Shipping to the EU ETS*, Nature Associates, rep. n° UBA-FB, Stockholm, Suède.

Laist, D.W. *et al.* (2001), « Collisions between Ships and Whales », *Marine Mammal Science, 17(1),* 35-75.

Lauer, A. *et al.* (2007), « Global Model Simulations of the Impact of Ocean-Going Ships on Aerosols, Clouds, and the Radiation Budget », *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, pp. 5061-5079.

Lawrence, M.G. et P.J. Crutzen (1999), « Influence of NO_x Emissions from Ships on Tropospheric Photochemistry and Climate », *Nature, 402 (6758)*, pp. 167-170.

Lee, D.S. *et al.* (2007), « Radiative Forcing and Temperature Response from Shipping », dans *Proceedings of the International Conference on Transport, Atmosphere and Climate* (TAC), Oxford, Royaume-Uni, pp. 208-213.

Lelieveld, J. *et al.* (2002), « Stability of Tropospheric Hydroxyl Chemistry », *Journal of Geophysical Research*, *107*, 4715, doi : *http://dx.doi.org/4710.1029/2002JD002272*.

Levine, J. M. et C. M. D'Antonio (2003). « Forecasting Biological Invasions with Increasing International Trade », *Conservation Biology*, 17: 322-326.

Levy, H. (1971), « Normal Atmosphere: Large Radical and Formaldehyde Concentrations Predicted », *Science*, *173*, pp. 141-143.

Lloyd's Register of Shipping (LR) (1961), *Statistical Tables*, 1961, Royaume-Uni.

Lloyd's Register of Shipping (LR) (1984), *Statistical Table*, 1984, Royaume-Uni.

Lloyd's Register of Shipping (LR) (1995), *Marine Exhaust Emissions Research Programme*, Lloyd's Register Engineering Services, Royaume-Uni, Londres.

Lloyd's Register of Shipping (LR) (2000), *World Fleet Statistics and Statistical Tables,* 2000, Royaume-Uni.

Lloyd's Register Fairplay (LRF) (2007), *Extracts from the World Merchant Fleet Database* (all civil ocean-going cargo and passenger ships above or equal to 100 GT), Redhill, Royaume-Uni.

Longva, T., M. Eide et E. Nyhus (2008), *Achieving Emission Reductions: Analysing Cost and Consequences towards 2020*, Accepted, « Ship Operations, Management and Economics » Symposium, 17-18 septembre 2008, Grèce. Disponible à l'adresse : *www.sname.org/sections/greece/symposium.htm*.

Lovell, S. J. *et al.* (2006), « The Economic Impacts of Aquatic Invasive Species: A Review of the Literature », *Agricultural and Resource Economics Review*, 35(1), 195-208.

Marmer, E. et B. Langmann, (2005), « Impact of Ship Emissions on the Mediterranean Summertime Pollution and Climate: A Regional Model Study », *Atmospheric Environment*, 39, pp. 4659-4669.

Martuzzi, M., Krzyzanowski et R. Bertollini (2003), « Health Impact Assessment of Air Pollution: Providing Further Evidence for Public Health Action », *European Respiratory Journal*, 21, pp. 86S-91S.

Mauzerall, D.L. et X. Wang (2001), « Protecting Agricultural Crops from the Effects of Tropospheric Ozone Exposure: Reconciling Science and Standard Setting in the United States, Europe and Asia », *Annual Review of Energy and Environment*.

Ministère norvégien des finances (2007), *Norges strategi for bærekraftig utvikling* (Norvège). Disponible à l'adresse : *www.regjeringen.no/nb/dep/fin/tema/Barekraftig_utvikling/strategi-for-barekraftigutvikling.html?id=469846*.

Nel A. (2005), « Air Pollution-Related Illness: Biomolecular Effects of Particles », *Science*, 208, p. 804.

NERA Economic Consulting (2005), *Economic Instruments for Reducing Ship Emissions in the European Union*, Commission européenne, Direction générale de l'environnement. Disponible à l'adresse : *http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/task3_final.pdf*.

OCDE (1997), « Special Issues in Carbon/Energy Taxation: Marine Bunker Fuel Charges », OCDE/GD (97)/77, OCDE, Paris.

Organisation maritime internationale (OMI) (2005), *Interim Guidelines for Voluntary Ship CO_2 Emission Indexing for Use in Trials*, MEPC/Circ. 471, 29 juillet, OMI, Londres.

OMI (2006), *Measures to Enhance Maritime Security, Long Range Identification and Tracking of Ships*. MSC81/WP.5/Add.1, 18 mai, OMI, Londres.

OMI (2007), *Report on the Outcome of the Comprehensive Study Undertaken by the Informal Cross Government/Industry Scientific Group of Experts Established to Evaluate the Effects of the Different Fuel Options Proposed under the Revision of MARPOL ANNEX VI*. BLG 12/6/1, 20 décembre, OMI, Londres.

OMS (2003), *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen dioxide. Report on a WHO working group,* EUR/03/5042688, 98 p.

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (2006), *Global Fishing Fleet Data Base* (1996 to 1998), FAO Fish. Global Inf. Syst., Rome.

Organisation mondiale du commerce (OMC) 2007, *Statistics Database* (En ligne). Disponible à l'adresse : *http://stat.wto.org*.

Penner J.E. *et al.* (2001), « Chapter 5. Aerosols, their Direct and Indirect Effects », dans *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Houghton J.T. *et al.*, eds., Cambridge U. Press, pp. 289-347, 2001.

Pil, F.K. et S. Rothenberg (2003), « Environmental Performance as a Driver of Superior Quality », *Production and Operations Management*, *12*(3), 404-415.

Pimentel, 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* 52(3), pp. 273-288.

Ramanathan, V. *et al.* (2001a), « Aerosols, Climate, and the Hydrological Cycle », *Science*, 294, pp. 2119-2124.

Ramaswamy, V. *et al.* (2001b), « Chapter 6, Radiative Forcing of Climate Change », in *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, pp. 349-416, Houghton, J.T., *et al.* (eds), Cambridge U. Press, Cambridge, 2001.

Ricciardi, A. (2006), « Patterns of Invasion in the Laurentian Great Lakes in Relation to Changes in Vector Activity », *Diversity and Distributions*, *12*(4), 425-433.

Richter, A. *et al.* (2004), « Satellite Measurements of NO_2 from International Shipping Emissions », *Geophysical Research Letters* 31, L23110, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2004GL020822*.

Rosenfeld, D. (2000), « Suppression of Rain and Snow by Urban and Industrial Air Pollution », *Science*, 287, pp. 1793-1796.

Ruiz, G.M. *et al.* (2000a), « Invasion of Coastal Marine Communities in North America: Apparent Patterns, Processes, and Biases », *Annual Review of Ecological Systems*, *31*, 481-531.

Ruiz, G.M. *et al.* (2000b), « Global Spread of Microorganisms by Ships », *Nature*, *408*, 49-50.

Saxe, H. et T. Larsen (2004), « Air Pollution from Ships in Three Danish Ports », *Atmospheric Enviroment*, 38, pp. 4057-4067.

Schreier, M. *et al.* (2006), « Impact of Ship Emissions on the Microphysical, Optical and Radiative Properties of Marine Stratus: A Case Study », *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, pp. 4925-4942.

Schreier, M. *et al.* (2007), « Global Ship Track Distribution and Radiative Forcing from 1-year of AATSR-Data », *Geophysical Research Letters*, 34, L17814, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2007GL030664*.

Skjølsvik, K.O. *et al.* (2000), *Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships*, Rapport à l'Organisation maritime internationale établi par MARINTEK, Det Norske Veritas (DNV), le Centre for Economic Analysis (ECON) et Carnegie Mellon. MT report Mtoo A23-038, Trondheim Norvège.

Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME) (1983), *A Guide for a Coal Fired Boiler System*, Tech. Res. Bull., 3-34, New York.

Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME) (1988), *The Principles of Naval Architecture*, 2nd rev., vol. II, *Resistance, Propulsion and Vibration*, rédigé par E. V. Lewis, Jersey City, N. J.

Song, C.H. *et al.* (2003), « Dispersion and Chemical Evolution of Ship Plumes in the Marine Boundary Layer: Investigation of $O_3/NO_y/HO_x$ Chemistry », *Journal of Geophysical Research*, *108* (D4), 4143, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002216*.

Statistics Norway (2000), *Maritime Statistics 1999*, Oslo, Norvège. ISBN 82-537-4876-0.

Stopford, M. (1997), *Maritime Economics*, 2nd ed., Routledge, Londres.

Sundet, J.K (1997), *Model Studies with a 3-d Global CTM Using ECMWF Data*, Université d'Oslo.

Theis, M. *et al.* (2004), « The Role of Technology in Achieving Environmental Policy Goals in the MTS », *Transportation Research Record*, *1871*, 42-49.

Tie, X. *et al.* (2005), « Assessment of the Global Impact of Aerosols on Tropospheric Oxidants », *Journal of Geophysical Research*, 110, D03204, doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2004JD005359*.

Tronstad, T. et Ø. Endresen, *FellowSHIP – Fuel Cells for Low Emission Ships* (2005), RISØ International Energy Conference, Technologies for Sustainable Energy Development in the Long Term, Risø National laboratory, Danemark 23-25 mai 2005. Disponible à l'adresse : *www.risoe.dk/rispubl/SYS/syspdf/energconf05/session5_tronstad.pdf*.

Twomey, S.A. (1974), « Pollution and the Planetary Albedo », *Atmospheric Environment*, 8**,** pp. 1251-1256.

United States Coast Guard (USCG) (2002), *Universal Shipborne Automatic Identification System (AIS) Transponder.* Disponible à l'adresse : *www.navcen.uscg.gov/marcomms/ais.htm*.

Vanderlaan, A.S.M. et C.T. Taggart (2007), « Vessel Collisions with Whales: The Probability of Lethal Injury Based on Vessel Speed », *Marine Mammal Science*, *23*(1), 144-156.

Vitousek, P.M. *et al.* (1997), « Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Causes and Consequences », *Issues in Ecology*, 1: pp. 1-17.

von Glasow, R. *et al.* (2003), « Modelling the Chemical Effects of Ship Exhaust in the Cloud-Free Marine Boundary Layer », *Atmospheric Chemistry and Physics, 3*, pp. 233-250.

Wang, C., J.J. Corbett et J. Firestone (2007), « Improving Spatial Representation of Global Ship Emissions Inventories », *Environmental Science and Technology*, Doi: *http://dx.doi.org/10.1021/es0700799*.

Wang, Y.H. et D.J. Jacob (1998), « Anthropogenic Forcing on Tropospheric Ozone and OH since Preindustrial Times », *Journal of Geophysical Research*, *103*, pp. 123-131.

Weber, C.L. *et al.* (2007), *Carbon Emissions Embodied in Importation, Transport and Retail of Electronics in the US: A Growing Global Issue*, paper presented at 2007 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment and the Electronics Recycling Summit, IEEE Computer Society Technical Committee On Electronics & The Environment And The International Association Of Electronics Recyclers, Orlando, FL, 7-10 mai 2007.

Whall, C. *et al.* (2002), *Quantification of Emissions from Ships Associated with Ship Movements between Ports in the European Community*, Rapport destiné à la Commission européenne, Entec, Northwich, Royaume-Uni.

Winebrake, J.J. *et al.* (2006), *Total Fuel-Cycle Emissions for Marine Vessels: A Well-to-Hull Analysis with Case Study*, paper presented at 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, LCE2006, Louvain, Belgique, mai-juin 2006.

Winebrake, J.J. *et al.* (2007a), *A Total Fuel Life-Cycle Analysis Of Energy And Emissions From Marine Vessels*, Paper n° 07-0817, paper presented at Transportation Research Board 86th Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, DC.

Winebrake, J.J. *et al.* (2007b), « Energy Use and Emissions from Marine Vessels: A Total Fuel Cycle Approach », *Journal of the Air and Waste Management Association*, *57*(janvier), 102-110.

Winebrake, J. J. *et al.* (2008), « Assessing Energy, Environmental, and Economic Tradeoffs in Intermodal Freight Transportation », *Journal of the Air and Waste Management Association,* 1er août 2008.

Wonham, M.J. et J.T. Carlton (2005), « Trends in Marine Biological Invasions at Local and Regional Scales: the Northeast Pacific Ocean as a Model System », *Biological Invasions*, *7*(3), 369-392.

Wonham, M.J. et E. Pachepsky (2006), « A Null Model of Temporal Trends in Biological Invasion Records », *Ecology Letters*, *9*(6), 663-672.

Wijnolst, N. et T. Wergeland (1997), *Shipping*, Delft Univ. Press, Delft, Pays-Bas.

Zeebroeck, B.V., G.D. Ceuster et B.V. Herbruggen (2006), *TREMOVE 2: Maritime Model and Runs*, Transport and Mobility Leuven, Editor. Commission européenne: Bruxelles, Belgique.

Chapitre 7

Impacts de l'élevation du niveau d'activité du transport aérien international sur l'environnement

par
Eric Pels[1]

Le présent chapitre fait l'inventaire des ouvrages qui traitent de l'impact du transport aérien sur l'environnement, analyse l'évolution de la structure des émissions et examine les modes de calcul des coûts externes du transport aérien appliquées dans différentes études. Il vise à évaluer les incidences de l'évolution du secteur aérien sur l'environnement ces dernières décennies ainsi que leurs conséquences pour ce qui est de l'action des pouvoirs publics dans les domaines des transports et de l'environnement.

Ce chapitre examine la façon dont les réseaux en étoile peuvent créer des bénéfices environnementaux du fait des économies d'échelle possibles sur le plan écologique. Les flux de passagers sont concentrés sur quelques itinéraires, si bien que des avions gros porteurs peuvent être utilisés. Mais les vols avec escales impliquent des distances plus longues et plusieurs décollages, de sorte qu'ils ont un impact environnemental assez fort. Le chapitre s'étend sur les moyens utilisables, par exemple les obligations d'indemnisation, ainsi que sur certains facteurs tels que le bruit (on demande aux citoyens ce qu'ils sont prêts à payer pour obtenir une diminution des nuisances sonores de l'aviation), les émissions (les dommages pour la santé humaine ou pour les bâtiments, la visibilité réduite, les dommages aux forêts, cultures et pêcheries) et les accidents.

7.1. Introduction

La question des incidences environnementales du transport aérien soulève un grand intérêt dans les médias et auprès des pouvoirs publics. Le transport aérien contribue au changement climatique et les émissions de CO_2, de NO_x et d'autres polluants ainsi que les nuisances sonores qui lui sont associées entraînent des dommages environnementaux et économiques. Sur le plan économique, le transport aérien a des effets externes, qu'il faut d'une façon ou d'une autre prendre en compte dans le prix du trajet. Certains pays (Royaume-Uni, France et Pays-Bas par exemple) ont par conséquent mis en œuvre une taxe de départ. La question de savoir si ce type de taxe couvre les coûts environnementaux du transport aérien non inclus dans le prix du billet est toutefois difficile à trancher. Cela donne lieu à des débats animés concernant par exemple les taxes sur les billets d'avion. Les opposants à ces dispositifs leur reprochent d'être préjudiciables à l'économie et doutent de leur effet sur les émissions de CO_2 si les passagers peuvent facilement se rabattre sur un aéroport d'un pays voisin qui n'applique pas une telle taxe.

7.2. Développement du transport aérien et environnement

La demande de transport aérien devrait continuer à croître plus vite que le PIB. De Haan (2007) a examiné la croissance du PIB et la vitesse de maturation des marchés aériens et de développement des réseaux et prévu que le transport aérien sera multiplié respectivement par 2,5 et par 9 en 2050 par rapport à 2004, selon qu'on se place dans le scénario économique le plus pessimiste ou le plus optimiste. De Haan (2008) traite de l'effet réducteur que certaines avancées techniques pourraient exercer sur les émissions de CO_2 par kilomètre parcouru. Des réductions de 15 à 25 %, ou même 50 % en cas de percée technologique majeure, ne suffisent toutefois pas pour contrebalancer les effets du gonflement de la demande.

Le tableau 7.1 montre les tendances passées et prévues des émissions de CO_2 et de NO_x, telles qu'elles sont indiquées par Penner *et al.* (1999). D'après les calculs de la NASA, les émissions de NO_x de l'aviation ont augmenté de 46 % entre 1976 et 1984 et de 41 % entre 1984 et 1992 et devraient augmenter de 174 % entre 1992 et 2015. L'ANCAT et le DLR présentent des prévisions légèrement plus modérées, avec une croissance prévue des émissions de NO_x de 111 % et 113 % entre 1992 et 2015. La croissance prévue des émissions de CO_2 calculée par la NASA est semblable à celle présentée par l'ANCAT et le DLR : 121 %, 118 % et 120 % respectivement. Ces chiffres montrent que le développement de l'aviation internationale aboutit à une augmentation des dommages environnementaux.

Le tableau 7.1 montre la croissance prévue des émissions de CO_2 entre 2002 et 2030 selon différents scénarios (Horton, 2006). Dans son document, Horton évalue l'augmentation des émissions de CO_2 dues à l'aviation civile jusqu'en 2030, en analysant notamment l'effet d'une taxe sur le carbone. La même croissance du trafic est appliquée à tous les cas, ce qui suppose que le seul effet d'une taxe sur le carbone est une amélioration de l'efficience. L'étude ne prévoit donc pas l'option où les compagnies aériennes

Tableau 7.1*a*. **Quantités estimatives de NO_x émises par les avions**

Tg, converties en NO_2

	NASA 1976	NASA 1984	NASA 1992	ANCAT 1992	DLR 1992	NASA 2015	ANCAT 2015	DLR 2015
Civils	0.70	1.02	1.44	1.60	1.60	3.95	3.37	3.41
Militaires	0.28	0.25	0.23	0.20	0.20	0.18	0.16	0.16
Total	**0.98**	**1.28**	**1.67**	**1.81**	**1.80**	**4.12**	**3.53**	**3.57**

Source : Penner *et al.*, 1999.

Tableau 7.1*b*. **Quantités estimatives de CO_2 émises par les avions**

Tg carbone

	NASA 1976	NASA 1984	NASA 1992	ANCAT 1992	DLR 1992	NASA 2015	ANCAT 2015	DLR 2015
Civils	55.36	74.44	97.91	98.22	96.52	247.72	234.21	232.63
Militaires	30.67	25.59	21.98	14.68	14.71	17.71	12.50	12.47
Total	**86.03**	**100.03**	**119.89**	**112.92**	**111.23**	**265.43**	**246.71**	**245.10**

Source : Penner *et al.* (1999).

Tableau 7.2. **Quantités de CO_2 émises par les avions dans certains cas de figure**

2002 et 2030

	Émissions de CO_2 en 2002 (Tg)	Émissions de CO_2 en 2030 (Tg)	Ratio des émissions de CO_2 par rapport à 2002
Cas 1	489.3	1 609.7	3.290
Cas 2	489.3	1 395.1	2.851
Cas 3	489.3	1 247.0	2.549
Cas 4	489.3	1 100.2	2.248
Cas 5	489.3	970.0	1.982

Cas 1 : Pas de progrès technologiques en matière de rendement du carburant.
Cas 2 : Meilleures technologies disponibles en 2005 et 2008 : Boeing 787, Airbus 350 et Airbus 380.
Cas 3 : Amélioration du rendement du carburant (1,3 % par an jusqu'en 2010, 1,0 % par an jusqu'en 2020, 0,5 % par an au-delà).
Cas 4 : Amélioration du rendement du carburant comme dans le cas 3, avec une amélioration supplémentaire obtenue grâce à la fixation d'un prix du CO_2 de 50 USD par tonne.
Cas 5 : Amélioration du rendement du carburant comme dans le cas 3, avec une amélioration supplémentaire obtenue grâce à la fixation d'un prix du CO_2 de 100 USD par tonne.
Source : Horton (2006).

répercutent la taxe carbone sur les passagers, ce qui aurait des répercussions sur la demande (qui serait réduite).

Selon les prévisions, la distance totale couverte par les avions civils augmentera de 149 % et le nombre de sièges-kilomètres disponibles de 229 % entre 2002 et 2030. Cela implique que la taille des avions devrait augmenter. Dans le scénario le plus favorable pour l'environnement (cas 5), les émissions de CO_2 en 2030 sont inférieures de 22 % à celles du scénario qui ne comprend pas d'incitations au progrès technologique (cas 3). Mais même dans ce scénario écophile, les émissions de CO_2 sont en 2030 quasiment le double de leur niveau de 2002. Cela confirme les propos de de Haan (2008) selon lesquels le progrès technologique ne suffit pas pour compenser les effets de la hausse de la demande de transport aérien. L'évolution technologique ne permettant pas à elle seule d'atténuer les impacts environnementaux de l'aviation, des mesures supplémentaires sont nécessaires, telles que des redevances environnementales ou des échanges de droits d'émissions. En tout état de cause, l'aviation restera source de dommages environnementaux.

Des incertitudes pèsent lourdement sur les prévisions à long terme en ce qui concerne la demande de trafic et les émissions, en raison de l'imprévisibilité des innovations technologiques et de la demande. Les scénarios du GIEC posent ainsi en hypothèse (Leggett *et al.*, 1992) *i)* que les prix des carburants n'augmenteront pas notablement par rapport aux autres coûts, *ii)* que les infrastructures peuvent faire face à toute la demande et *iii)* qu'il n'y a pas d'incidences majeures des autres modes, tels que le train à grande vitesse. La réalité récente montre que ces hypothèses ne se sont pas concrétisées : les prix des carburants ont augmenté, les aéroports sont de plus en plus engorgés et le train à grande vitesse peut remplacer l'avion sur des courtes distances[2]. Le débat relatif à l'utilisation des taux de change du marché ou des parités de pouvoir d'achat dans les scénarios du GIEC illustre également les difficultés de l'élaboration des scénarios. Toutefois, pour établir des objectifs à long terme en matière d'action des pouvoirs publics, il convient d'utiliser toutes les informations disponibles pour prévoir la demande et les émissions futures. Le Groupe de soutien sur les prévisions et l'analyse économique (FESG) de l'OACI, le ministère britannique du Commerce et de l'Industrie et l'Environmental Defense Fund (Fonds pour la défense de l'environnement, EDF) ont effectué des études à long terme qui sont souvent citées. Les résultats sont résumés dans le tableau 7.3 ci-après.

Tableau 7.3. **Évolution à long terme des émissions des avions**

Tg, hors avions militaires

	FESG FC1 2050	FESG FE2 2050	DTI 2050	EDF IS92c 1990	EDF IS92c 2050	EDF IS92e 1990	EDF IS92e 2050
Consommation	253.8	757.7	633.2	179	837	179	2 297
CO_2	218.2	651.6		154	720	154	1 975
NO_x	3.9	8.7	4.45	1.96	5.77	1.96	15.84

Source : Penner *et al.* (1999).

Le FESG a combiné des scénarios économiques haut (Fe) et bas (Fc) avec deux scénarios technologiques différents. Les scénarios Fe et Fc se fondent sur les scénarios IS92e et IS92c du GIEC utilisés par l'EDF (Penner *et al.*, 1992). Les scénarios technologiques posent en hypothèse que la réduction de NO_x dans les émissions dues à l'aviation résulte de concepts actuels (scénario 1) ou qu'une approche plus agressive à l'égard des émissions de NO_x aboutit à de plus faibles bénéfices en termes de rendement énergétique (scénario 2). Le DTI utilise ses propres modèles de prévision pour le trafic et extrapole les données de Greene (1992) pour obtenir des prévisions du rendement énergétique. Les résultats correspondent aux hypothèses fortes concernant la réduction des émissions de NO_x (supposée être la conséquence des progrès technologiques induits par les réglementations). L'EDF s'attache surtout à la croissance de la demande dans les pays en développement et utilise les scénarios du GIEC pour ce qui est de l'évolution des indicateurs économiques et des émissions. Des scénarios prenant en compte une demande de base et une demande élevée ont été utilisés. Le rendement énergétique est extrapolé à partir des données de Greene (1992) et les émissions de NO_x le sont à partir des chiffres de la NASA. Penner *et al.* (1999) mentionnent un indice d'émission de NO_x qui traduit la mise en œuvre d'une technologie à très faibles émissions. Les prévisions des tendances des émissions de NO_x du DTI et de l'EDF sont approximativement les mêmes, les différences dans les niveaux d'émissions étant dues principalement à l'inégalité des niveaux de consommation de carburant pris en compte dans les calculs.

Le tableau 7.4 montre les coûts externes moyens des transports dans les 17 États membres de l'Union européenne étudiés par l'INFRAS (Schreyer *et al.*, 2004). Schreyer *et al.* (2004) ont étudié tous les coûts externes (totaux, moyens et marginaux) des transports routiers (voyageurs et marchandises), ferroviaires (voyageurs et marchandises), aériens (passagers et fret) et par eau (fret). L'étude passe quasiment toutes les catégories de coûts en revue : accidents, nuisances sonores, pollution atmosphérique, changement climatique, coûts pour la nature et le paysage, coûts additionnels en milieu urbain, processus en amont et en aval et coûts de la congestion. Le coût des accidents est évalué en attribuant une valeur statistique à la vie humaine (1.5 million EUR) et en utilisant la base de données de l'OACI pour connaître le nombre d'accidents par passager/kilomètre. Le coût des nuisances sonores est calculé en partant du consentement à payer (pour les personnes dérangées par le bruit uniquement) et de chiffres tirés d'une base de données de l'OCDE (OCDE, 1993). Ces coûts comprennent également une évaluation des risques pour la santé et des frais médicaux. Des modèles avancés existent pour les transports routiers et ferroviaires, qui permettent de prévoir les émissions sonores avec précision. Ce type de modèle n'étant pas disponible pour l'aviation, Schreyer *et al.* (2004) se fondent sur des éléments des modèles routiers et ferroviaires pour déterminer les coûts marginaux de l'aviation.

Les coûts de la pollution atmosphérique sont déterminés en utilisant une approche descendante, basée sur des études du consentement à payer. Cette approche utilise des estimations existantes qu'elle transpose à d'autres pays (avec des corrections pour différents indicateurs). Les coûts du changement climatique sont calculés en incluant les émissions mondiales de gaz à effet de serre et ceux des émissions de CO_2 en multipliant les quantités émises par un facteur coût qui est le prix fictif en numéraire par tonne de CO_2. Schreyer *et al.* (2004) situent le coût, au terme d'une étude bibliographique, dans une fourchette allant de 20 à 140 EUR par tonne. Les coûts concernant la nature et le paysage ont été déterminés d'après des évaluations d'experts. Les experts considèrent que l'état de la nature était durable en 1950 et que tout dommage ultérieur doit être compensé. Pour déterminer la compensation nécessaire au titre de l'aviation, Schreyer *et al.* (2004) prennent en compte la superficie des aéroports (infrastructures aériennes) qui est la principale composante de coût dans cette catégorie.

Tableau 7.4. **Coûts externes moyens des transports dans les 17 États membres de l'Union européenne étudiés**

2000, en euros par 1000 vkm et 1000 tkm

	Route Passagers	Rail Passagers	Aviation Passagers	Route Fret	Rail Fret	Aviation Fret
Accidents	32.4	0.8	0.4	7.6	0.0	0.0
Nuisances sonores	5.1	3.9	1.8	7.4	3.2	8.9
Pollution de l'air	13.2	6.9	2.4	42.8	8.3	15.6
Changement climatique important	16.5	6.2	46.2	16.9	3.2	235.7
(Changement climatique faible)	*(2.4)*	*(0.9)*	*(6.6)*	*(2.4)*	*(0.5)*	*(33.7)*
Nature et paysage	2.6	0.6	0.8	2.9	0.3	3.8
En amont et en aval	5.0	3.4	1.0	8.8	2.4	7.4
Effets urbains	1.5	1.3	0.0	1.5	0.5	0.0

Source : INFRAS/IWW (Schreyer *et al.*, 2004).

Le coût externe moyen par passager/kilomètre était d'environ 0.05 EUR dans le scénario des incidences climatiques élevées et de moins de 0.02 EUR dans le scénario des incidences climatiques faibles.

Dings *et al.* (2003) quantifient les coûts externes du transport aérien, et en particulier les coûts du changement climatique, de la pollution atmosphérique et des nuisances sonores en vue de fournir des éléments sur les principaux déterminants de ces coûts externes. Ils ne formulent pas de recommandations quant aux mesures à prendre. Outre les coûts environnementaux qui ne sont pas payés directement par les aéroports, les compagnies aériennes ou les passagers, l'aviation peut également générer des coûts d'accidents, notamment d'accidents mortels. Dings *et al.* (2003) ne font pas entrer ces coûts en ligne de compte et estiment des prix fictifs reposant sur les coûts des dommages et des mesures de réduction (approche par coûts directs, par consentement à accepter, par consentement à payer et par coûts de prévention). Les coûts sont calculés par type d'avion (nombre de passagers et distance de vol) en partant de bases de données existantes. Le tableau 7.5 montre les coûts externes moyens (par passager/kilomètre) pour différents types d'avion, de distances et d'incidences climatiques. Ces chiffres sont du même ordre de grandeur que ceux de l'INFRAS.

Tableau 7.5. **Coûts externes moyens du transport aérien**

	Prix fictif des incidences climatiques par tonne d'équivalent CO_2		
	EUR 10	EUR 30	EUR 50
Technologie moyenne, en centimes d'euro par passager/kilomètre			
50 sièges, 200 km	5.7	6.4	7.0
100 sièges, 500 km	1.8	3.0	4.2
200 sièges, 1500 km	0.7	1.5	2.2
400 sièges, 6000 km	0.3	0.7	1.1
Technologie de pointe, en centimes d'euro par passager/kilomètre			
50 sièges, 200 km	2.8	3.3	3.9
100 sièges, 500 km	1.2	2.2	3.3
200 sièges, 1500 km	0.5	1.1	1.8
400 sièges, 6000 km	0.2	0.5	0.9

Source : d'après Dings *et al.* (2003).

Les études empiriques précitées estiment les coûts environnementaux de l'aviation. La littérature comprend également des études plus théoriques (simulations). La déréglementation des marchés aériens a entraîné une baisse des tarifs réels (voir par exemple Kahn, 1988) qui a suscité une hausse de la demande, si bien que la déréglementation peut être source d'aggravation des dommages environnementaux. En pareil cas, les avantages de la déréglementation en termes de bien-être doivent être mis en balance avec les pertes de bien-être (dommages environnementaux) dues à la hausse de la demande. Schipper *et al.* (2007) ont réalisé une analyse d'équilibre dans un modèle de concurrence spatiale. Dans l'analyse d'équilibre, les coûts environnementaux externes dépendent uniquement de la fréquence totale des vols sur le marché total. Une fois défini un coût environnemental marginal constant des vols, les coûts environnementaux totaux pouvaient être déterminés[3]. Schipper *et al.* (2007) montrent, en s'appuyant sur des paramètres calibrés empiriquement, que la libéralisation des marchés aériens européens a fait :

- Augmenter les fréquences (gains de bien-être).
- Baisser les tarifs (gains de bien-être).

- Diminuer les profits (pertes de bien-être).
- Augmenter les coûts environnementaux (pertes de bien-être).

Schipper *et al.* (2007) estiment que pour les consommateurs, les avantages en termes de bien-être dépassent les pertes de bien-être (sur le plan de l'environnement). L'augmentation du bien-être, toutefois aux dépens des profits des compagnies aériennes et de l'environnement, peut en principe être utilisée en partie pour compenser les pertes subies par les compagnies et la population. La réglementation de la compensation sur un marché libéré peut donc être une mesure utile, en particulier autour des aéroports dans des zones densément peuplées. Par exemple, les surtaxes liées aux nuisances sonores peuvent être utilisées pour indemniser les propriétaires de logements qui pâtissent du bruit. L'exercice de simulation utilise des données empiriques tirées du document de Schipper (2004) dans lequel l'auteur calcule les coûts environnementaux des marchés aériens européens en 1990 en prenant en compte :

- Les nuisances sonores (les méthodes des prix hédonistes et de l'évaluation contingente ont été utilisées pour déterminer la gêne due au bruit). Avec la méthode des prix hédonistes, le prix correspondant, par exemple, à une habitation est rapporté à tous les types de caractéristiques du quartier, notamment le bruit généré par l'aviation. Avec la méthode de l'évaluation contingente, les citoyens sont invités à dire ce qu'ils sont prêts à payer pour obtenir une diminution des nuisances sonores de l'aviation. Les deux méthodes servent à chiffrer le prix des nuisances sonores aériennes.
- Les émissions (fonctions de dommage marginal pour le réchauffement planétaire et valeur statistique de la vie humaine pour les émissions locales (mortalité)). Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer le coût de la pollution atmosphérique locale, par exemple les dommages pour la santé humaine ou pour les bâtiments, la visibilité réduite, les dommages aux forêts, cultures et pêcheries, etc. Schipper (2004) a évalué les émissions de polluants atmosphériques en utilisant la trajectoire des dommages causés à la santé, considérés comme l'une des composantes essentielles du coût de la pollution atmosphérique. Le coût des émissions est déterminé en attribuant une valeur statistique à la vie humaine de 3.1 million ECU et en exploitant les informations disponibles concernant les modes selon lesquels les émissions peuvent entraîner une augmentation des décès.
- Les risques d'accidents (valeur statistique de la vie humaine).

Il apparaît que les coûts environnementaux ne représentent qu'une petite partie (2.5 %) des coûts internes totaux tels qu'ils sont mesurés par le prix du billet. Les prix ayant baissé depuis 1990, il peut s'agir là d'une sous-estimation. Le bruit est considéré comme étant l'effet externe dominant (75 % des coûts externes totaux), sans doute parce que les dommages dus au bruit sont subis directement par la population environnante, alors que les coûts des émissions, calculés en utilisant les fonctions de dommage marginal pour le réchauffement planétaire et la valeur statistique de la vie humaine, ne sont subis qu'indirectement. Cela révèle combien il est difficile de combiner différents effets. La valeur statistique de la vie humaine devrait inclure tous les coûts engagés pour éviter un décès, mais les difficultés que cette estimation présente peuvent compliquer les comparaisons. Il y a des économies d'échelle environnementales à réaliser au niveau du trajet parce que les coûts environnementaux diminuent à mesure que la taille des avions augmente. Comme cette taille est liée à la distance, il est possible d'utiliser des avions gros

porteurs sur de courtes distances, mais il n'est pas toujours possible d'utiliser des avions plus petits sur des distances plus longues.

Scheelhaase et Grimme (2007) ont analysé les prévisions de croissance du transport aérien international par rapport à des instruments coordonnés au niveau international pour la réduction des gaz à effet de serre. Il évoquent les systèmes d'échange de droits d'émissions mondiaux (Kyoto) et européen et évaluent les incidences économiques du système d'échange de quotas d'émissions de l'Union européenne sur les compagnies à bas coût (Ryanair), les compagnies régulières à service complet (Lufthansa), les compagnies desservant des destinations de vacances (Condor) et les compagnies régionales (Air Dolomiti). Ils analysent différents scénarios dans lesquels les compagnies ont besoin de quotas pour émettre du CO_2. Ces scénarios sont plus ou moins favorables aux compagnies aériennes (15 EUR par quota pour les vols uniquement intracommunautaires ou 30 EUR par quota pour tous les vols au départ ou à l'arrivée d'aéroports de l'Union européenne) et prévoient qu'après une allocation initiale reposant sur des droits acquis, les compagnies aériennes devront acheter des quotas. Il est apparu que la mise en place d'un tel système peut entraîner des effets concurrentiels : les incidences financières sont plus importantes pour les compagnies à bas coût et les transporteurs régionaux (sans réseaux en étoile) que pour les compagnies fonctionnant avec des réseaux, car ces dernières ont davantage d'occasions de répercuter les coûts sur les passagers. Le coût par passager d'un quota représente une partie relativement modeste du prix du billet sur un vol long-courrier, de sorte que compte tenu de l'élasticité de la demande par rapport aux prix (assez faible en valeur absolue sur les vols long-courriers), les compagnies disposant de vastes réseaux souffrent moins. L'impact sur le trafic intercontinental a donc été jugé relativement faible. L'incidence financière est marginale pour les compagnies aériennes: les coûts augmenteront d'environ 1 à 3 %. L'impact de la taxation du carburant aérien peut varier en fonction du taux de taxation.

7.3. Réseaux en étoile

La concentration des marchés aériens a pour conséquence que les réseaux des compagnies aériennes sont centrés sur des plaques tournantes importantes, qui drainent une part assez considérable de l'ensemble des vols. Les réseaux en étoile peuvent générer des avantages environnementaux du fait des économies d'échelle réalisables sur le plan écologique. Les passagers sont concentrés sur quelques itinéraires, si bien que des avions gros porteurs peuvent être utilisés. Mais les vols avec escales sont plus longs et impliquent plusieurs décollages, de sorte qu'ils ont un impact environnemental assez fort. Les passagers intercontinentaux peuvent voyager relativement bon marché avec des vols indirects, ce qui peut stimuler la demande, mais les longs trajets comprennent souvent des vols courts, dont les coûts environnementaux sont assez élevés. En outre, les dommages environnementaux de l'aviation au niveau du sol sont concentrés sur quelques aéroports et leurs zones avoisinantes.

Peeters *et al.* (2001) considèrent que les réseaux point à point ont les impacts environnementaux les plus faibles, même si les réseaux en étoile permettent d'utiliser des avions gros porteurs. Par ailleurs, les aéroports-pivots ont des incidences environnementales plus grandes que les autres aéroports et le nombre ainsi que la répartition géographique de ces aéroports-pivots (en Europe) ont une forte influence sur l'impact environnemental du réseau total. Il convient de signaler que les aéroportds-pivots sont importants pour le trafic international. Les passagers provenant de divers lieux en

Europe y sont rassemblés, puis transportés vers leur destination finale internationale ou intercontinentale (et inversement). Le regroupement de passagers de différentes provenances sur un seul vol intercontinental peut être bénéfique pour l'environnement par rapport à plusieurs vols intercontinentaux, mais les vols courts sont relativement préjudiciables. Peeters *et al.* (2001) ne font état d'aucune économie d'échelle sur le plan de l'environnement (contrairement à Schipper, 2004) et rappellent que les évolutions technologiques de ces dernières décennies ont essentiellement visé les avions de petite et moyenne taille. Ils estiment que le regroupement des passagers venant de plusieurs lieux différents peut être financièrement avantageux pour les compagnies aériennes, mais aussi que l'avantage environnemental est faible si le rendement énergétique par passager/kilomètre des avions utilisés n'est pas vraiment amélioré par rapport à celui des avions plus petits ou moyens. Peeters *et al.* (2001) pensent que les résultats pourraient changer en cas de progrès technologiques sur les avions gros porteurs. Les nouveaux avions gros porteurs qui viennent de faire leur apparition (tels que l'Airbus A380) permettront sans doute de réaliser des économies d'échelle en termes d'environnement. Ce type d'avions ne pouvant toutefois voler qu'entre de très gros aéroports (aéroports-pivots intercontinentaux), la demande sera relativement faible par rapport à des avions plus petits. Boeing par exemple a choisi de ne pas développer un tel avion et de se concentrer sur un avion plus petit, à utiliser essentiellement pour des vols de point à point plutôt que dans un réseau en étoile.

Morell et Lu (2007) étudient les nuisances sonores et les émissions des moteurs dans deux structures de réseaux : les réseaux en étoile et les structures point à point (c'est-à-dire les réseaux dans lesquels les passagers ne transitent pas par un aéroport-pivot). Leur modèle du coût social des nuisances sonores repose sur la méthode des prix hédonistes : la gêne agrégée totale due au bruit est imputée aux différents vols selon l'impact réel des nuisances sonores (type d'avion, etc.). Les paramètres introduits dans le modèle du coût social des émissions sont tirés de l'examen de la littérature pertinente. À partir des réseaux étudiés (fonctionnant avec les aéroports de Londres Heathrow, Glasgow, Francfort, Hambourg, Chicago O'Hara, San Diego, Dallas et Tokyo), il est apparu que les itinéraires qui ne passent pas par les aéroports-pivots réduisent considérablement les coûts du bruit et des émissions des moteurs. Cela confirme les résultats de Peeters *et al.* (2001) selon lesquels les réseaux en étoile ont un impact environnemental relativement élevé par rapport aux réseaux point à point. Cela signifie que pour les vols internationaux long-courriers également, il est plus écologique d'utiliser des vols directs plutôt que des vols indirects pour transporter un grand nombre de passagers. Les vols indirects peuvent être bon marché (ils permettent des économies de densité aux compagnies aériennes), mais ils sont assez dommageables pour l'environnement.

Nero et Black (1998) constatent également que les réseaux en étoile majorent les coûts externes (congestion, nuisances sonores et émissions des aéronefs). Ils analysent, en s'aidant d'un modèle de Schmalensee adapté pour pouvoir être appliqué aux entreprises monopolistiques, les effets de l'intégration des coûts environnementaux dans les droits aéroportuaires acquittés par les compagnies aériennes qui passent par les aéroports-pivots. Une fois le modèle élaboré, les auteurs ont réalisé un exercice de simulation en vue de déterminer le niveau optimal des taxes environnementales du point de vue du bien-être. À partir de cet exercice, les auteurs concluent que le réseau en étoile pourrait être abandonné au profit d'un réseau complètement interconnecté si la taxe environnementale est relativement élevée. Il n'y avait pas de preuve empirique, mais compte tenu du principe du « pollueur-payeur », les taxes correspondant à des vols indirects ou des passagers

internationaux transitant par des aéroports pivots devraient être relativement élevées, vu les observations susmentionnées. Les résultats de Nero et Black (1998) donnent à penser que les compagnies aériennes n'utiliseront alors plus un tel réseau. Il est intéressant de noter que la taxe sur les billets appliquée par quelques pays européens concerne uniquement les passagers qui y débarquent ou embarquent. Les passagers en transit ne paient rien, pour préserver la situation concurrentielle de l'aéroport-pivot en tant que point de transfert sur les marchés internationaux ou intercontinentaux, mais la mesure est « mauvaise » pour l'environnement. Carlsson (2002) étend l'analyse faite par Nero et Black (1998) en assouplissant les restrictions de symétrie. Il définit une redevance optimale pour deux types de réseaux (complètement connecté ou en étoile) et pour une situation de marché monopolistique ou duopolistique. Dans ce modèle, les effets environnementaux dépendent uniquement du nombre de vols assurés au point d'équilibre de chaque marché. Là encore, il n'y a pas d'estimations empiriques.

7.4. Effets de l'aviation sur le prix des logements

Il a déjà été dit précédemment que les réseaux en étoile sont responsables d'émissions de bruit (et autres) relativement importantes aux alentours des aéroports-pivots. Plusieurs auteurs ont essayé de déterminer l'incidence des aéroports sur les zones avoisinantes en étudiant le prix des logements. De telles études ne prennent généralement pas en compte les émissions de CO_2 et autres, mais portent uniquement sur le rapport entre le prix des logements et les nuisances sonores.

Schipper *et al.* (1998) étudient les nuisances sonores aux alentours des aéroports. Ils montrent, en comparant les coûts du bruit des avions calculés par les méthodes des prix hédonistes et de l'évaluation contingente, que l'évaluation contingente porte le coût du bruit à un niveau nettement plus élevé que la méthode des prix hédonistes, sans doute parce que cette dernière ne prend que les « valeurs d'usage » en compte alors que l'autre méthode couvre également d'autres catégories de valeurs. En outre, la méthode des prix hédonistes ignore les consommateurs qui ne s'intéressent pas à certains logements du fait des nuisances sonores. Schipper *et al.* (1998) analysent, en usant de techniques méta-analytiques, dix-neuf études (relatives aux valeurs immobilières) qui aboutissent par la méthode des prix hédonistes, à 30 indices de dépréciation pour cause de bruit (NDI), un indice qui donne l'évolution en pourcentage de la valeur du logement induite par l'évolution de l'exposition au bruit mesuré en décibels. Ils constatent ainsi que le bien-être et d'autres caractéristiques du quartier, telles que l'accessibilité, ont une incidence positive sur le NDI.

Morell et Lu (2000) réalisent une étude de cas empirique concernant les coûts sociaux implicites des nuisances sonores dues aux avions (baisse de la valeur immobilière) dans la zone de l'aéroport d'Amsterdam Schiphol. À partir d'une fonction du coût social du bruit, calculée par la méthode des prix hédonistes en faisant intervenir la valeur des logements, et des paramètres d'appartenance relatifs à la zone d'Amsterdam (nombre de logements touchés par le bruit, etc.), le coût social moyen du bruit en 1999 a été évalué à 326.8 EUR par atterrissage. La fonction du coût social marginal a ensuite été calculée à partir de cette estimation. Les auteurs trouvent que les chiffres sont conformes aux études connexes antérieures, mais aussi que les redevances en vigueur au titre des nuisances sonores (157.3 EUR par atterrissage) sont trop faibles pour compenser les coûts sociaux du bruit.

Morrison *et al.* (1999) ont réalisé une évaluation économique des avantages (prix de l'immobilier plus élevé pour les propriétaires) et des coûts (durée de vie économique de l'avion réduite) de la loi américaine de 1990 sur les capacités et les nuisances sonores des aéroports (Airport Noise and Capacity Act, ANCA) qui a contraint les compagnies aériennes à renouveler leur flotte plus rapidement qu'auparavant. Les auteurs ont calculé les coûts de la réglementation (dépréciation accélérée (sub-optimale) de la flotte) et ses avantages (augmentation de la valeur des biens immobiliers (consentement à payer)). Ils ont ainsi chiffré les avantages à 5 milliards USD et les coûts à 10 milliards USD (dollars de 1995), ce qui les a amenés à se demander s'il se justifiait de réglementer le bruit des avions dans le but d'améliorer leur efficience.

7.5. Conclusions

La demande de transport aérien s'est accrue rapidement ces dernières décennies et cette croissance devrait se poursuivre (Boeing, 2007; de Haan, 2008; Horton, 2006). Les innovations technologiques prévues ne peuvent empêcher l'augmentation de la demande d'entraîner une hausse des émissions de CO_2 produites par les avions (de Haan, 2007). Selon la technologie et le scénario utilisés, les coûts externes moyens du transport aérien sont d'environ 01-0,05 [euro] par passager/kilomètre.

La déréglementation des marchés aériens a des conséquences importantes sur le développement des réseaux. Les principales compagnies aériennes utilisent à présent des réseaux en étoile, ce qui implique une concentration d'un grand nombre d'atterrissages et de décollages sur certains aéroports du réseau. Il en résulte une pollution sonore relativement élevée dans la zone avoisinante et des escales pour les passagers obligés d'effectuer des trajets indirects. Les réseaux en étoile peuvent toutefois également présenter des avantages environnementaux en raison des économies d'échelle générées sur le plan de l'environnement : le regroupement des passagers sur quelques liaisons permet d'utiliser des avions de plus grande capacité, dont les émissions par siège sont moindres. La littérature disponible montre que les incidences environnementales négatives des réseaux en étoile sont supérieures aux effets positifs. La concentration tend donc à être mauvaise pour l'environnement. On s'attend à ce que la tendance à la concentration se poursuive. Par exemple, quand Ryanair a célébré l'embarquement de son millionième passager à destination de Bratislava (début novembre 2007), son PDG, Michael O'Leary, a affirmé que dans les 5 années à venir, il ne resterait que 4 grandes compagnies aériennes en Europe : British Airways, Air France, Lufthansa et Ryanair. Si British Airways, Air France et Lufthansa et leurs partenaires au sein de leurs alliances concentrent leurs réseaux sur quelques aéroports-pivots intercontinentaux, les niveaux de trafic vont augmenter sur ces plaques tournantes en raison de la hausse générale prévue de la demande, mais aussi parce que de plus en plus de voyageurs auront des trajets avec transferts.

La poursuite de la consolidation sur les marchés de l'aviation et la croissance du secteur de l'aviation devraient continuer à aggraver les dommages environnementaux dus aux transports aériens. Comme les progrès technologiques ne peuvent pas inverser cette tendance, de nouvelles mesures sont nécessaires. Plusieurs pays européens ont mis en place des taxes sur les billets. Cette stratégie peut être judicieuse si ces taxes correspondent à peu près au coût externe marginal, ce qui pourrait avoir une influence sur le comportement des voyageurs. Tant que les passagers ne supportent pas l'intégralité du coût du voyage (coûts externes inclus), la demande sera trop élevée. Une taxe sur les billets

pourrait être une solution, si ce n'est qu'elle sert dans certains pays à générer des ressources financières et ne couvre donc pas (même approximativement) les coûts externes marginaux. Une taxe trop faible ou trop élevée donne des signaux incitatifs inappropriés. Par exemple, si les passagers en transfert ne payent pas la taxe, le prix du billet est relativement bas et la demande relativement forte. En conséquence, les dommages environnementaux peuvent également être relativement importants. En outre, d'autres pays n'ont pas mis en place une telle taxe et, dans la plupart des cas, les passagers dont les trajets sont indirects (et, partant, ont des coûts externes assez élevés) ne sont pas soumis à la taxe.

L'Union européenne va intégrer le transport aérien dans le champ d'application de son système d'échange de quotas d'émission de CO_2. Scheelhaase et Grimme (2007) considèrent que cette mesure n'aura qu'un effet marginal sur les coûts des compagnies aériennes. Une taxe sur le kérosène pourrait, selon son taux, avoir un effet plus sensible.

Le transport aérien relie les régions à l'économie mondiale et donne à chaque citoyen la possibilité d'explorer la planète. Mais tant que les coûts externes ne seront pas intégralement couverts par le prix du billet, les dommages environnementaux causés par l'aviation continueront de s'aggraver.

Notes

1. Le présent chapitre se fonde pour l'essentiel sur le rapport « Impacts de l'élévation du niveau d'activité du transport aérien international sur l'environnement : Tendances passées et perspectives d'avenir » présenté par Eric Pels de l'Université VU, Pays-Bas, au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008 (*www.oecd.org/dataoecd/44/18/41508474.pdf* .
2. Le train à grande vitesse s'est approprié une part importante du trafic Londres – Paris et les compagnies aériennes peuvent assurer des transports ferroviaires rapides sur des liaisons courtes en remplacement des vols relativement coûteux qu'elles assurent sur ce type de distance.
3. Les coûts externes par vol augmentent avec le nombre de vols en ce sens qu'un grand nombre de vols effectués par des petits avions a un coût environnemental plus élevé qu'un nombre relativement réduit de vols effectués par de gros avions. Les effets analysés ci-dessous n'en sont que plus marqués.

Bibliographie

Boeing Aircraft Company (2007), *Current market outlook*, Boeing Aircraft Company, Seattle.

Button, K. et S. Taylor (2000), « International Air transportation and economic development ». *Journal of Air Transport Management,* 6, pp. 209-222.

Carlsson, Frederik (1999), « Incentive-based environmental regulation of domestic civil aviation in Sweden », *Transport Policy*, 6, pp. 75-82.

Carlsson, Frederik (2002), « Environmental charges in airline markets », *Transportation Research* Part D, pp. 137-153.

Dings, J.M.W. *et al.* (2003), *External costs of aviation*, Environmental Research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Research Report 299 96 106, UBA-FB 000411.

Greene, D.L. (1992), « Energy Efficiency Improvement Potential of Commercial Aircraft », dans *Annual Review of Energy and the Environment*, dir. pub. Hollander, J., J. Harte et R.H. Soccolow, Annual Reviews Inc., Palo Alto, CA, États-Unis, pp. 537-574.

de Haan, A.R.C. (2008), « Limited Possibilities to Reduce CO_2 Emissions from Aviation due to the Growth in Aviation Demand », *Aerlines*, 40, pp. 1-3.

de Haan, A.R.C. (2007), *Aircraft Technology's Contribution to Sustainable Development*, Faculté de technologie, de politique et de management, Université de technologie de Delft.

Horton, G. (2006), *Forecasts of CO_2 Emissions from Civil Aircraft for IPCC*, QinetiQ, Londres.

Kahn, A.E., (1988), « Surprises of Airline Deregulation », *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 78, 2, pp. 316-322.

Lee, D.S. (2004), « The Impacts of Aviation on Climate », *Issues in Environmental Science and Technology*, 20, pp. 1-23.

Morell, Peter et Cherie H. Y. Lu (2000), « Aircraft Noise Social Cost and Charge Mechanisms – A Case Study of Amsterdam Airport Schiphol », *Transportation Research*, Part D 5: pp. 305-320.

Morell, Peter et Cherie H. Y. Lu (2007), « The Environmental Cost Implication of Hub-Hub *versus* Hub by-pass Flight Networks », *Transportation Research*, Part D 12: pp. 143-157.

Morrison, Steven A., Clifford Winston et Tara Watson (1999), « Fundamental Flaws of Social Regulation: The Case of Airplane Noise », *Journal of Law and Economics*, XLII: pp. 723-743.

Nero, Giovanni et John A. Black (1998), « Hub-and-Spoke Networks and the Inclusion of Environmental Costs on Airport Pricing », *Transportation Research*, Part D 3: pp. 275-296.

OCDE (1993), *Données OCDE sur l'environnement : Compendium 1993*, OCDE, Paris.

Penner, J.E., *et al.* (1999), *Aviation and the Global Atmosphere; A Special Report of IPCC Working Groups I and III*, Cambridge University Press, Cambridge. Disponible à l'adresse : *www.grida.no/climate/ipcc/aviation/index.htm*.

Peeters, P.M., P. Rietveld et Y. Schipper (2001), *Environmental Impacts of Hub-and-Spoke Networks in Europe*, Peeters Advies, Ede.

Royal Commission on Environmental Pollution (2007), *The Environmental Effects of Civil Aircraft in Flight*.

Scheelhaase, Janina D. et Wolfgang G. Grimme (2007), « Emissions Trading for International Aviation – An Estimation of the Economic Impact on Selected European Airlines », *Journal of Air Transport Management*, 13: pp. 253-263.

Schreyer, C. *et al.* (2004), *External Costs of Transport: Update Study*. IWW, Université de Karlsruhe / INFRAS, Karlsruhe/Zurich. Disponible à l'adresse : *www.uic.org/html/environnement/cd_external/docs/externalcosts_en.pdf*.

Schipper, Youdi (2004), « Environmental Costs in European Aviation », *Transport Policy*, 11: pp. 141-154.

Schipper, Youdi, Peter Nijkamp et Piet Rietveld (1998), « Why do Aircraft Noise Value Estimates Differ? A Meta-Analysis », *Journal of Air Transport Management*, 4: pp. 117-124.

Schipper, Youdi, Piet Rietveld et Peter Nijkamp (2007), « Frequency Competition and Environmental Costs: An Application to European Air Transport Liberalization », *Socio-Economic Planning Sciences*, 41: pp. 208-223.

Chapitre 8

Impacts de l'élevation du niveau d'activité du transport international routier et ferroviaire de marchandises sur l'environnement

par
Huib van Essen[1]

Le présent chapitre analyse les incidences environnementales de la croissance du transport international routier et ferroviaire de marchandises en mettant l'accent sur les émissions atmosphériques et le bruit. Il donne un aperçu des grandes tendances observables et des facteurs qui les sous-tendent. Il évoque en outre brièvement les principales mesures techniques et non techniques utilisables pour contrer l'aggravation des incidences environnementales.

Le chapitre retrace l'évolution des coefficients d'émission des véhicules routiers et ferroviaires, en mettant l'accent en particulier sur les différences entre les émissions des différents modes. Il est, au cours des dernières décennies, devenu de plus en plus évident que les émissions de gaz à effet de serre contribuent au réchauffement de la planète. Les émissions de dioxyde de carbone (CO_2) produites par la combustion de combustibles fossiles en sont l'un des principaux responsables. En ce qui concerne le secteur des transports, les gaz à effet de serre sont pour l'essentiel du CO_2 produit par la combustion de combustibles fossiles. Les émissions de CO_2 produites par le transport routier de marchandises augmentent partout dans le monde et rien ne donne à penser que l'augmentation va bientôt s'arrêter. La situation appelle à un panachage de mesures telles que le relèvement des taxes sur les carburants, le renforcement des normes de consommation, la promotion des carburants alternatifs et l'amélioration de la logistique. Le chapitre traite encore de l'incidence des émissions de polluants sur divers problèmes soulevés par la qualité de l'air (santé, dommages causés aux bâtiments, aux matériaux, aux cultures et aux écosystèmes) ainsi que des atteintes à la santé et des nuisances causées par le bruit.

8.1. Introduction

Généralités

Le transport routier a des incidences diverses sur l'environnement : les émissions polluent l'air et contribuent au changement climatique, le bruit cause des nuisances et génère des risques pour la santé et les infrastructures mettent les paysages et les écosystèmes à mal. Il a en outre un impact social : des centaines de milliers de personnes sont tuées ou blessées chaque année dans des accidents et les niveaux élevés de congestion atteints dans de nombreuses régions densément peuplées y sont sources de pertes de temps.

L'impact du secteur des transports dans son ensemble se constitue de la somme des impacts des différents modes de transport utilisés pour transporter des personnes et des marchandises. Le marché des transports de marchandises se compose de plusieurs segments qui interagissent sans se faire réellement concurrence. Au niveau régional, la distribution des marchandises est assurée pour l'essentiel par des camionnettes et des camions de dimension moyenne. A l'autre extrémité du spectre se situent les flux intercontinentaux à longue distance pour lesquels le transport maritime est le mode de transport principal (notamment en termes de volume). Entre ces deux extrêmes vient se loger le marché du transport international de marchandises par route qui fait la liaison entre le transport intercontinental et les réseaux régionaux de distribution. La route et le chemin de fer occupent la première place sur ce marché du transport intracontinental de marchandises, mais la voie navigable et le transport maritime à courte distance y jouent également un rôle important dans certaines parties du monde.

Encadré 8.1. **Évolution des accidents de la route**

L'OMS estime que 1.2 million de personnes ont perdu la vie sur les routes en 1999. D'autres études (Jacobs et Aeron-Thomas, 2000) montrent que ce chiffre est probablement surestimé et avancent que les accidents de la route auraient causé de 750 à 880 000 morts en 1999 et blesseraient de 23 à 34 millions de personnes par an.

Il est très difficile de pronostiquer l'évolution de ces chiffres. Le nombre de tués diminue rapidement en Europe (il est passé d'environ 71 000 en 1990 à 41 000 en 2005), mais la croissance du transport pourrait plus que contrebalancer les effets de l'amélioration des véhicules et de la sécurité routière dans d'autres parties du monde.

Les accidents de chemin de fer causent beaucoup moins de victimes que les accidents de la route. Dans l'Union européenne, les accidents de chemin de fer ont causé la mort de 105 personnes en 2004, soit 0.5 % du nombre de victimes d'accidents mortels de la route.

Incidences environnementales des transports

Changement climatique

Le changement climatique est l'un des grands défis de nos sociétés d'aujourd'hui. Il est, au cours des dernières décennies, devenu de plus en plus évident que les émissions de gaz à effet de serre contribuent au réchauffement de la planète. Les émissions de dioxyde de carbone (CO_2) produites par la combustion de combustibles fossiles en sont l'un des principaux responsables. En ce qui concerne le secteur des transports, les gaz à effet de serre sont pour l'essentiel du CO_2 produit par la combustion de combustibles fossiles. Cette combustion est étroitement liée à la consommation d'énergie des transports.

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a étudié plusieurs scénarios d'évolution future du changement climatique et constaté que les modèles annoncent une élévation de 1.1 à 6.4°C de la température moyenne de l'air de la basse atmosphère et de 18 à 59 cm du niveau moyen des océans entre 2000 et 2100. Le réchauffement devrait varier d'une région à l'autre et s'accompagner d'une modification de la pluviosité, du climat ainsi que de la fréquence et de l'intensité de certains phénomènes climatiques extrêmes (sécheresse, inondations). Il devrait aussi influer sur les écosystèmes et les maladies. (*GIEC, 2007*a).

Pollution atmosphérique

La pollution de l'air imputable aux transports est dommageable aux êtres humains, à la biosphère, aux sols, à l'eau, aux bâtiments et aux matériaux. Les principaux polluants sont :

- les particules (PM_{10}, $PM_{2.5}$),
- les oxydes de l'azote (NO_x),
- le dioxyde de soufre (SO_2),
- l'ozone (O_3) et
- les composés organiques volatils (COV).

Les émissions de polluants sont sources de coûts en matière de santé, de dégradation des bâtiments et des matériaux, de pertes de récoltes et d'autres dommages aux écosystèmes (biosphère, sols, eau). Chaque impact est entraîné par un ou plusieurs types de polluants (Maibach *et al.,* 2008):

- *Impact sur la santé :* cet impact procède de l'inhalation de fines particules ($PM_{2.5}$/PM_{10} et autres polluants atmosphériques). Les particules contenues dans les gaz d'échappement peuvent être considérées comme les principaux de ces polluants. L'ozone (O_3) influe également sur la santé. L'impact se concrétise essentiellement par une aggravation des problèmes de santé des personnes atteintes de maladies respiratoires et par une aggravation du risque de contracter ces maladies.
- *Dégradation des bâtiments et des matériaux :* ces dommages se présentent principalement sous deux aspects : le premier sous la forme de souillures des façades et autres surfaces des bâtiments dues aux particules et aux poussières et le second, plus important, sous la forme de dégradations dues à l'action corrosive de polluants acides de l'air tels que les NO_x et le SO_2.
- *Pertes de récoltes et incidences sur la biosphère :* les pluies acides, l'ozone et le SO_2 endommagent les récoltes, les forêts et d'autres écosystèmes.

- *Impact sur la biodiversité et les écosystèmes (sols et eau/nappes aquifères)* : l'incidence sur les sols et les nappes aquifères est due principalement aux processus d'eutrophisation et d'acidification enclenchés par les retombées d'oxydes d'azote ainsi qu'à leur contamination par des métaux lourds (provenant de l'usure des pneus).

Les principales incidences sont celles que les particules contenues dans les gaz d'échappement ou provenant de la transformation d'autres polluants exercent sur la santé. Il apparaît de plus en plus clairement que les particules ultrafines en particulier présentent un risque sérieux pour la santé.

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime que la pollution de l'air tue 865 000 personnes par an dans le monde (OMS, 2007) et que moins de 10 % de ces décès surviennent dans l'Union européenne. D'autres estimations mettent la barre beaucoup plus haut. La Commission européenne chiffre ainsi le nombre annuel de morts prématurées à 370 000 dans la seule Europe (Commission européenne, 2005). Ce dernier chiffre est proche de celui de Pimental qui estime à 3 millions environ le nombre annuel de décès entraînés par la pollution de l'air dans le monde (Cornell Chronicle, 2007).

Contrairement à l'incidence climatique du CO_2, l'incidence des émissions de polluants atmosphériques varie selon le lieu : les polluants émis dans des zones densément peuplées causent beaucoup plus de dégâts que ceux qui sont émis dans des zones reculées.

Incidence du bruit

Le bruit de la circulation a de multiples incidences néfastes sur la santé. L'OMS fait du bruit ambiant, et notamment du bruit de la circulation, un problème de santé publique tout à fait sérieux.

Le bruit de la circulation a divers types d'effets néfastes. L'effet le plus commun est une simple gêne, mais il semble aussi prouvé que le bruit de la circulation cause de sérieux problèmes de santé, notamment des perturbations du cycle du sommeil qui affectent les fonctions cognitives (surtout chez les enfants) et contribuent à l'émergence de certaines maladies cardiovasculaires. Il semble aussi de plus en plus évident qu'il fait monter la pression sanguine (Den Boer et Schroten, 2007).

Il a été estimé que plus de 245 000 habitants de l'Union européenne sont atteints chaque année de maladies cardiovasculaires imputables au bruit de la circulation (Den Boer et Schroten, 2007). Quelque 20 % de ces malades (soit près de 50 000 personnes) sont victimes d'un infarctus qui entraîne leur mort prématurée. Il n'y a pas d'estimations comparables pour les autres parties du monde, mais il n'y a aucune raison de ne pas penser qu'une grande partie de la population souffre ailleurs aussi du bruit de la circulation.

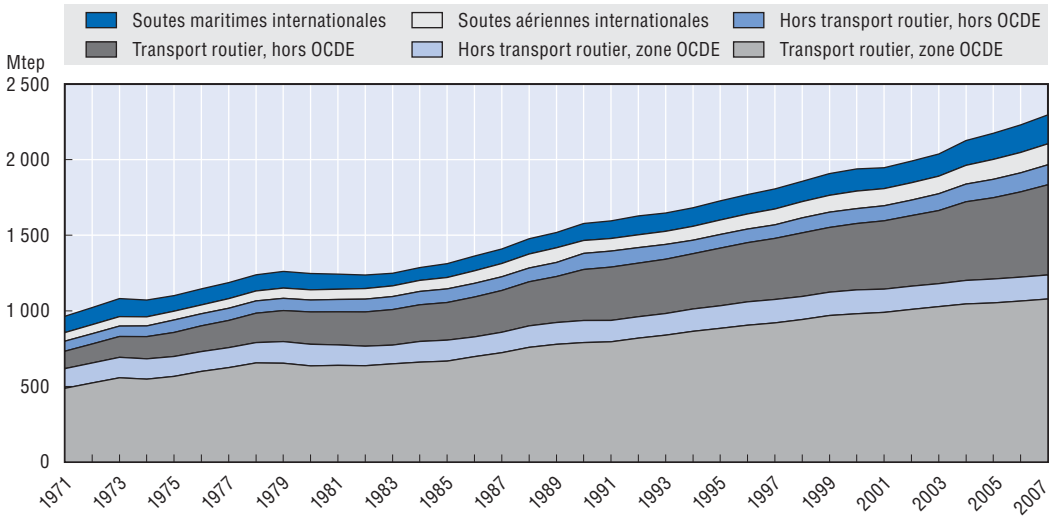
8.2. Évolution des incidences environnementales des transports

Cette partie donne un aperçu des faits marquants de l'évolution des incidences environnementales du secteur des transports dans son ensemble et du transport routier et ferroviaire de marchandises en particulier.

Consommation d'énergie dans le secteur des transports

Le graphique 8.1 illustre l'évolution de la consommation d'énergie observée dans le secteur des transports au cours des dernières décennies. Elle montre que cette consommation a presque doublé pendant cette période et que l'augmentation est encore plus forte dans les pays hors OCDE où la consommation a en effet presque triplé. Le transport routier est

Graphique 8.1. **Consommation d'énergie dans le secteur des transports**

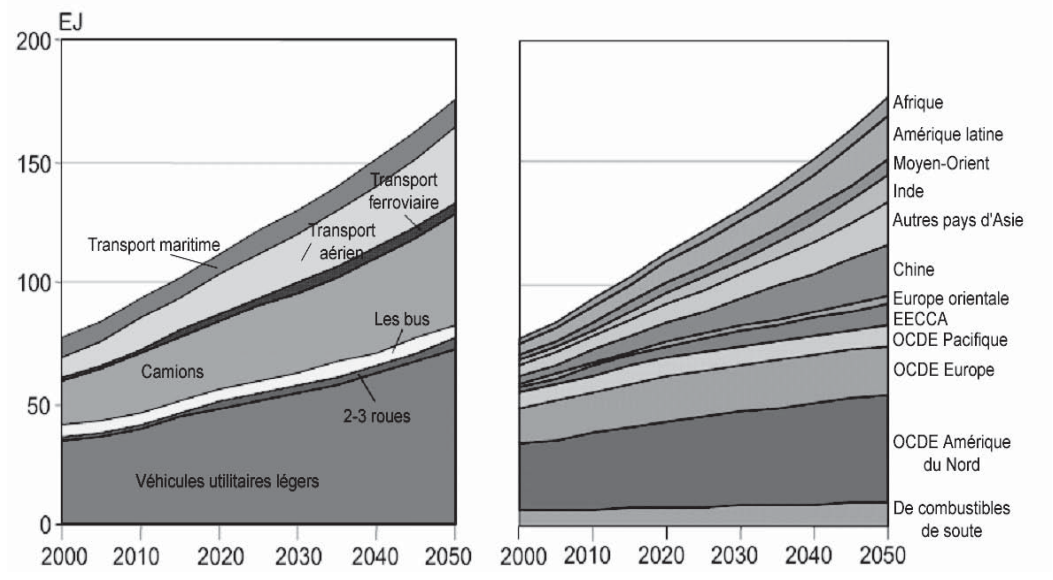


Source : AIE (2009a) et (2009b).

responsable, tant dans les pays de l'OCDE que dans les autres, de la plus grande partie, les trois quarts environ, de cette augmentation et sa part ne cesse de s'accroître.

Le graphique 8.2 illustre l'évolution que la consommation d'énergie devrait connaître d'ici 2050. Le graphique montre que la consommation d'énergie du secteur des transports devrait continuer à augmenter au même rythme que pendant les décennies écoulées, c'est-à-dire doubler entre 2000 et 2040. Les taux d'augmentation du transport routier et ferroviaire de marchandises sont très proches du taux général.

Graphique 8.2. **Évolution prévisible de la consommation d'énergie des transports par mode et par région**



Source : GIEC (2007b).

La consommation d'énergie du secteur des transports devrait, comme pendant les dernières décennies, augmenter beaucoup plus rapidement dans les pays hors OCDE que dans les pays de l'OCDE. Les pays hors OCDE produisent actuellement quelque 36 % des émissions mondiales de CO_2 imputables aux transports, mais leur part devrait rattraper celle des pays de l'OCDE vers 2040. La consommation d'énergie du secteur des transports semble devoir augmenter fortement surtout en Asie et en Amérique latine.

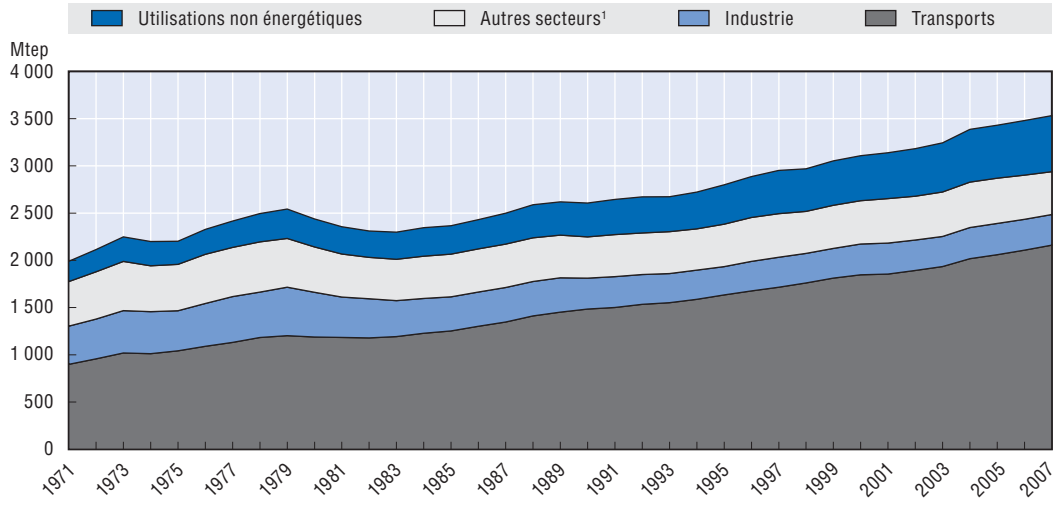
L'augmentation attendue sera maximale en Chine, où la consommation d'énergie du transport routier devrait quintupler entre 2000 et 2030 (He *et al.*, 2005). Le transport de marchandises y a augmenté beaucoup plus vite que le transport de voyageurs (près de deux fois plus vite en fait) et cette évolution devrait se poursuivre à l'avenir. La consommation d'énergie des poids lourds chinois a triplé entre 1997 et 2002 (He *et al.*, 2005).

Il ressort clairement de ces chiffres que la réduction de la consommation d'énergie du secteur des transports et des émissions de gaz à effet de serre qui en découlent est en train de devenir un problème qu'il est de plus en plus urgent de résoudre à l'échelle mondiale.

Les combustibles fossiles sont la principale source d'énergie des transports. Les transports routiers, maritimes et aériens sont presque entièrement tributaires du pétrole. Le seul mode de transport à faire exception est le chemin de fer qui consomme de l'électricité provenant en grande partie d'autres sources, notamment de l'hydroélectricité ou de l'électricité nucléaire.

La part du secteur des transports dans la consommation mondiale de pétrole est beaucoup plus grande que sa part de la consommation mondiale d'énergie. Le graphique 8.3 montre que cette part ne cesse pas d'augmenter. Plus de la moitié de la production mondiale de pétrole est aujourd'hui consommée par le secteur des transports.

Graphique 8.3. **Évolution de la consommation de pétrole par secteur (Mtep)**



1. Agriculture, commerces, services publics, logement et autres secteurs non spécifiés.

Source : AIE (2009c).

Des chiffres du GIEC (2007b) montrent que le transport routier de marchandises prend actuellement quelque 25 % de la consommation totale d'énergie du secteur des transports à son compte (16 % pour les poids lourds et 9 % pour les camions de moindre capacité). Les

poids lourds (y compris les véhicules articulés) présentent un intérêt particulier dans l'optique du transport international routier de marchandises parce qu'ils sont les véhicules principalement utilisés sur ce marché.

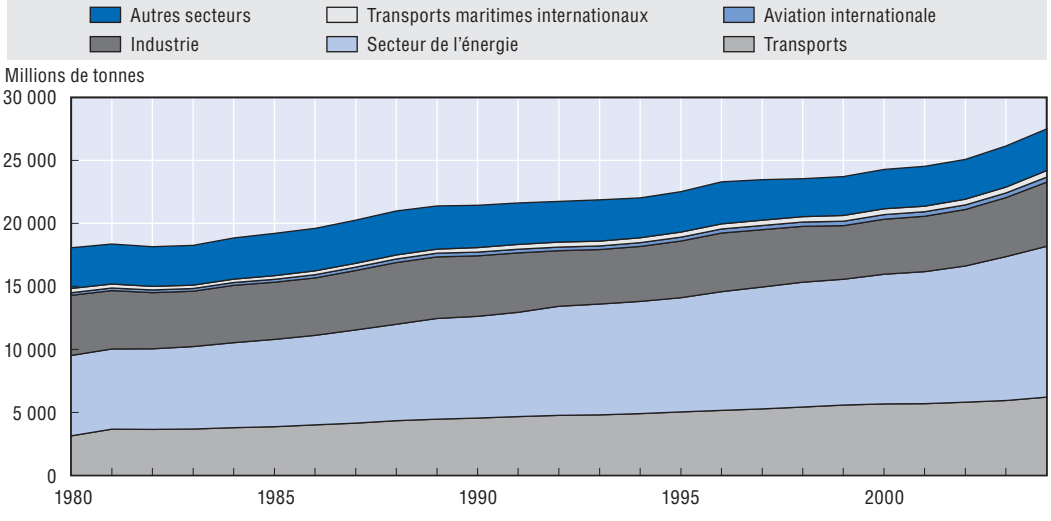
Le chemin de fer ne prend pas plus de 1.5 % de la consommation totale d'énergie des transports à son compte. Les véhicules légers (dont les voitures particulières) sont responsables de la plus grand partie (44 %) de cette consommation totale, devant le transport aérien (12 %), le transport maritime (10 %) et les autocars et autobus (6 %).

Il n'existe pas de statistiques mondiales de la part prise par le transport international routier et ferroviaire de marchandises dans la consommation d'énergie de tous les transports de marchandises. La part du trafic total représentée par le transport international de marchandises permet toutefois de s'en faire une idée. Le transport international ne représente en général, comme le chapitre 5 l'expliquera plus en détail, qu'une fraction mineure du trafic routier. La part internationale du trafic ferroviaire est très inégale.

Émissions de gaz à effet de serre produites par les transports

Les émissions mondiales de gaz à effet de serre augmentent régulièrement, malgré diverses initiatives politiques telles que le Protocole de Kyoto. La situation varie toutefois considérablement d'un secteur à l'autre. Les émissions de gaz à effet de serre de nombreux secteurs se sont stabilisées ou ont même diminué au cours des dernières décennies, mais les émissions de CO_2 du secteur des transports, comme celles du secteur énergétique, continuent d'augmenter allègrement. Le graphique 8.4 illustre l'évolution des émissions mondiales de CO_2 en la ventilant par branche d'activité. Elle montre que la part des transports passe d'environ un sixième au début des années 80 à près d'un quart (23 %) aujourd'hui. Cette part est plus élevée encore (environ 29 %) dans les pays de l'OCDE (CEMT, 2007).

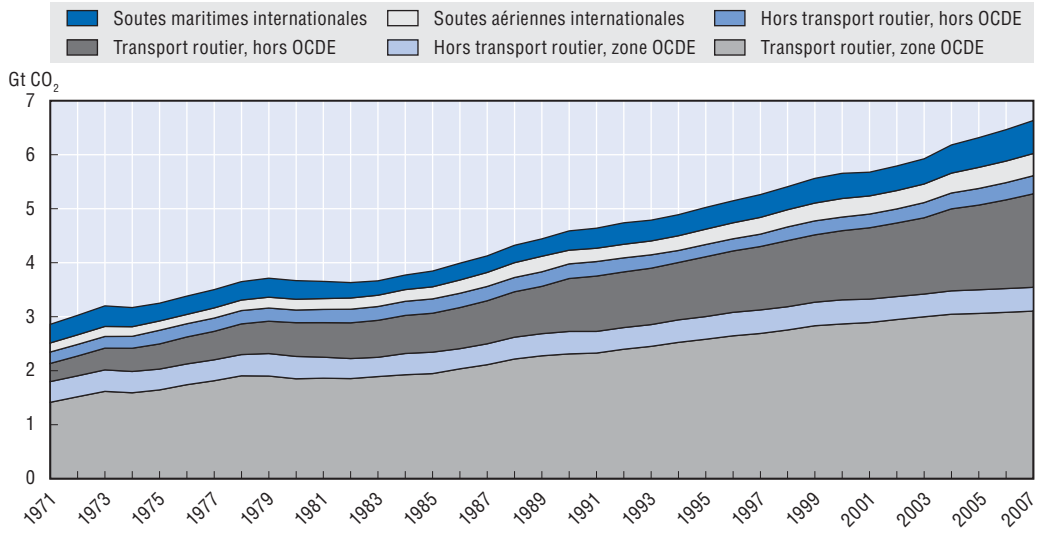
Graphique 8.4. **Ventilation des émissions mondiales de CO_2 liées à l'énergie par branche d'activité**



Source : Sur la base de données de l'AIE (2006).

L'évolution de la part des émissions de CO_2 imputable aux différents modes de transport est comparable à celle de la part qu'ils prennent dans la consommation d'énergie (graphique 8.1). Le graphique 8.5 montre que la route prend la plus grande part des émissions de CO_2 des transports à son compte. L'augmentation est, comme dans le cas de la consommation d'énergie, plus forte dans les pays hors OCDE que dans les pays de l'OCDE, surtout pour le transport routier.

Graphique 8.5. **Émissions mondiales de CO_2 du secteur des transports**



Source : AIE (2009a) et (2009b).

En Europe, les émissions de CO_2 du transport aérien sont celles qui ont le plus augmenté. Dans l'Union européenne, les émissions de CO_2 des transports terrestres ont augmenté de 26 % et celles du transport international maritime et aérien de pas moins de 66 % entre 1990 et 2005 (AEE, 2008b).

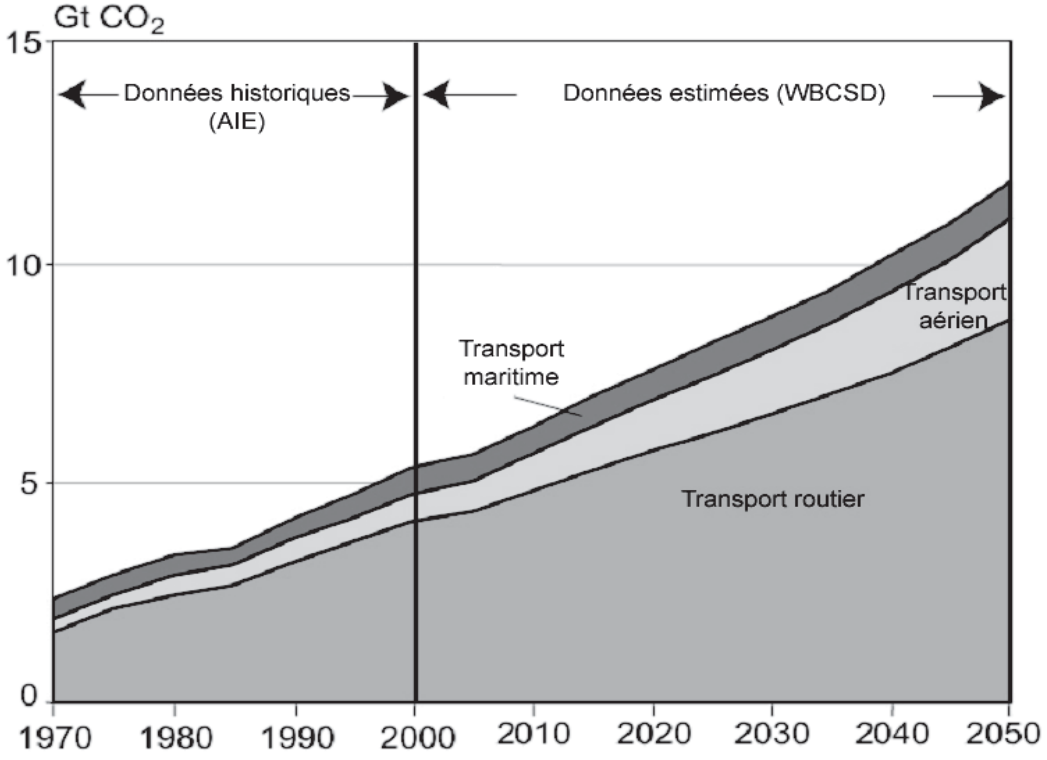
Les émissions de CO_2 des transports devraient, si rien n'est fait, continuer à augmenter au même rythme qu'actuellement. Le graphique 8.6 illustre l'évolution, observée et prévue, des émissions des différents modes de transport entre 1970 et 2050. Les émissions de CO_2 des transports devraient doubler entre 2000 et 2050, la plus grande partie de l'augmentation étant à mettre au passif des transports routiers et aériens. Le transport de marchandises a augmenté plus rapidement que le transport de voyageurs et la progression semble appelée à se poursuivre à l'avenir (GIEC, 2007b).

Évolution des émissions de polluants

Les polluants émis par les transports ont un effet considérable sur la santé. Alors que la consommation d'énergie et les émissions responsables du changement climatique ne cessent pas d'augmenter, les émissions de polluants ont été bridées et tendent à diminuer parce que la plupart des pays réglementent maintenant les émissions (voir section 8.4).

Le graphique 8.7 illustre l'évolution des émissions de polluants atmosphériques produites par les transports en Europe. Ces émissions, en l'occurrence les émissions de

Graphique 8.6. **Évolution, observée et prévue, des émissions mondiales de CO_2 des différents modes de transport**



Source : GIEC (2007b).

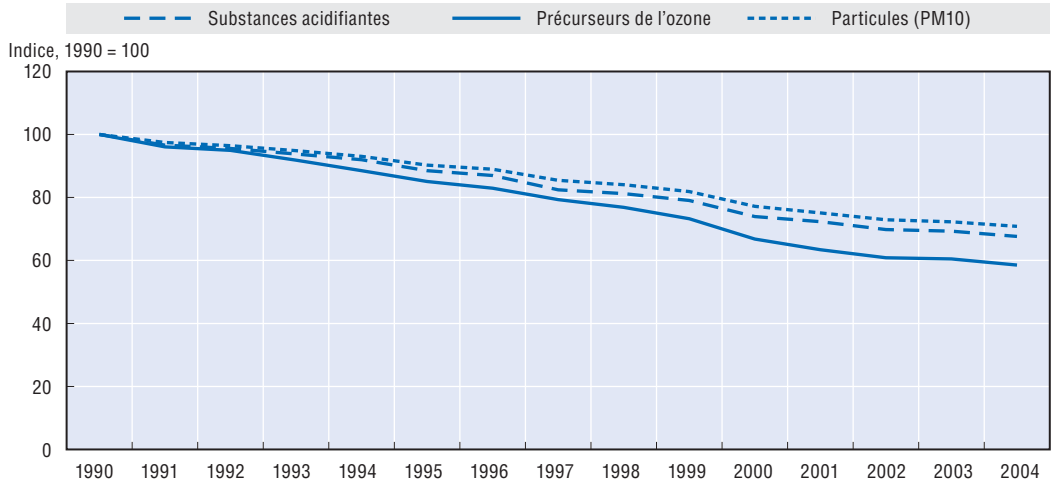
particules, de substances acidifiantes (NO_x et SO_x) et de précurseurs de l'ozone (NO_x et COV), diminuent régulièrement malgré l'augmentation des quantités d'énergie consommées par les transports. Toutefois, en dépit de cette diminution des émissions de polluants atmosphériques, beaucoup de villes européennes peinent toujours à se conformer aux normes actuelles de qualité de l'air, des normes qui pourraient pourtant devenir encore plus sévères en 2010. Le durcissement des normes d'émission et le renouvellement naturel du parc devraient par ailleurs maintenir les émissions sur une voie orientée à la baisse.

Le durcissement des normes d'émission applicables aux véhicules se traduit aussi par une diminution générale des émissions de polluants presque partout ailleurs dans le monde. Les régions du monde où le trafic, notamment routier, augmente énormément (en Chine par exemple) sont les seules où la réduction des émissions par véhicule/kilomètre pourrait ne pas suffire pour induire une diminution générale des émissions de polluants produites par les transports.

La ventilation des émissions de NO_x par mode de transport montre que la diminution des émissions de polluants peut en grande partie être imputée à la réduction des émissions de polluants produites par le transport routier (voir graphique 8.4), une réduction qui se traduit par une augmentation de la part relative des modes non routiers. Les émissions de ces derniers modes vont toutefois commencer elles aussi à diminuer parce qu'ils sont ou seront bientôt soumis à des normes d'émission (voir section 8.4).

Graphique 8.7. **Émissions de polluants atmosphériques produites par les transports dans les pays de l'AEE**

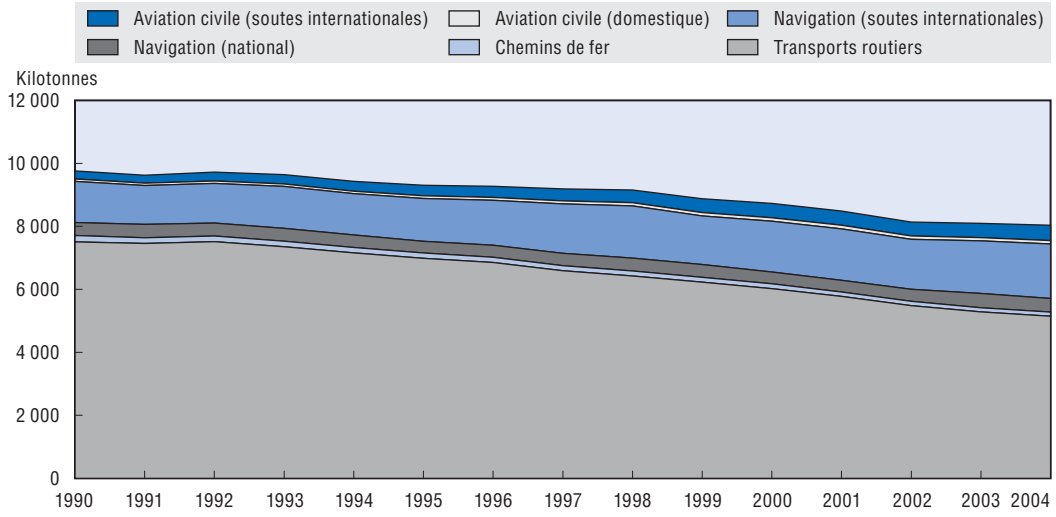
1990-2004



Source : AEE (2006a).

Graphique 8.8. **Émissions de polluants atmosphériques produites par les transports dans les pays de l'AEE**

1990-2004



Source : AEE (2006a).

Évolution des émissions sonores

Alors qu'il ne manque pas de chiffres sur les émissions de gaz à effet de serre et d'autres polluants, il n'y en a guère sur le bruit et sur le nombre de personnes qui y sont exposées.

L'Agence européenne pour l'environnement (AEE) a calculé le nombre de personnes qui sont exposées en Europe à des bruits de la circulation de plus de 55 dB, seuil à partir duquel ce bruit devient une nuisance. Elle conclut de son étude que :

> « Quelque 120 millions de résidents de l'Union européenne (plus de 30 % de sa population totale) sont exposés à des bruits de plus de 55 Ldn dB et plus de 50 millions d'entre eux à des bruits de plus de 65 Ldn dB. Elle estime aussi que 10 % de la

population de l'Union européenne sont exposés à des bruits d'origine ferroviaire de plus de 55 LAeq dB. Les données relatives au bruit des avions sont des plus incertaines, mais diverses études indiquent que 10 % de la population de l'Union européenne pourraient être fortement gênés par ce bruit ». (AEE, 2001)

Il ne semble pas y avoir de données relatives aux autres parties du monde, mais il est vraisemblable qu'une grande partie de la population y est également exposée au bruit de la circulation.

8.3. Évolution des coefficients d'émission des transports routiers et ferroviaires

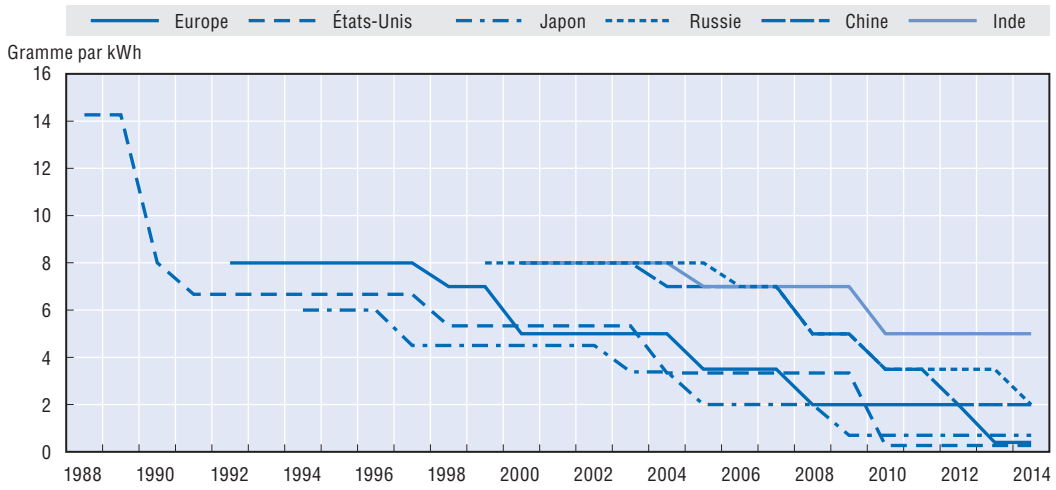
Les émissions des transports sont fonction non seulement du volume du trafic, dont il a été question dans le chapitre 5, mais aussi des émissions par véhicule/kilomètre et de la répartition modale. Le présent chapitre traite des coefficients d'émission des transports routiers et ferroviaires : il évoque d'abord les normes d'émission de matières polluantes avant de passer aux émissions par kilomètre des transports routiers et ferroviaires à longue distance.

Normes d'émission applicables aux moteurs diesels des poids lourds

Tous les pays du monde réglementent les niveaux d'émission de polluants des voitures et des véhicules utilitaires neufs. Tous ces véhicules doivent répondre à certaines normes d'émission au cours du cycle réglementaire d'essais prévu pour leur réception par type. Toutefois, les normes d'émission applicables aux véhicules neufs et les cycles d'essais varient d'un pays à l'autre. Les trois procédures de réception par type les plus communes sont européenne, japonaise et américaine. La Russie, la Chine et l'Inde se sont ralliées, avec un certain retard, aux normes européennes.

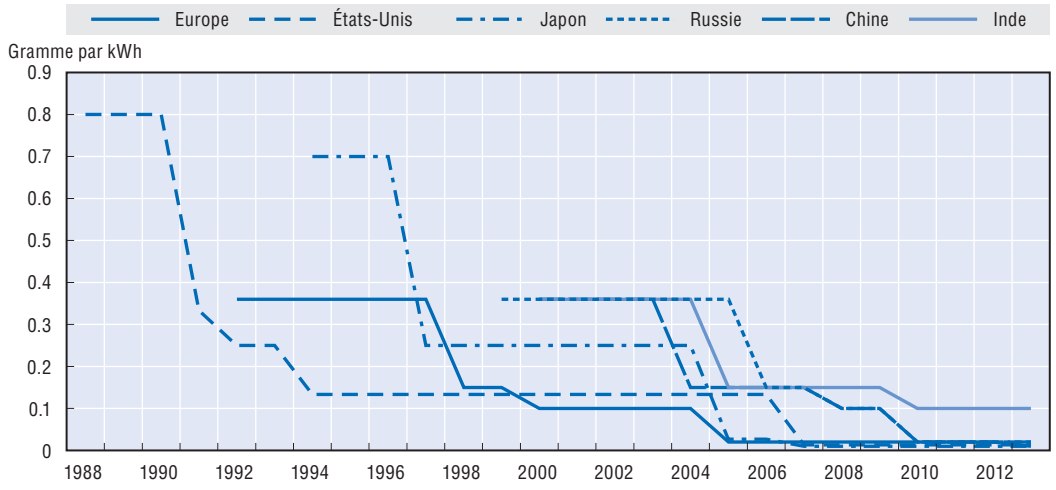
Les graphiques 8.9 et 8.10 donnent un aperçu des normes d'émission de NO_x et de PM_{10} applicables de par le monde aux poids lourds. Dans les cas où ces normes varient en fonction de la puissance des moteurs ou d'autres facteurs, la norme retenue est celle qui s'applique à un moteur type de poids lourd. Les normes ne sont toutefois pas entièrement comparables parce que certaines définitions et la teneur du cycle d'essais ne sont pas toujours identiques. Les graphiques donnent néanmoins une idée de l'évolution des normes d'émission en vigueur dans le monde.

Graphique 8.9. **Normes d'émission de NO_x applicables aux poids lourds**



Source : Données tirées de *www.dieselnet.com/standards*.

Graphique 8.10. **Normes d'émission de PM_{10} applicables aux poids lourds**



Source : Données tirées de *www.dieselnet.com/standards*.

Les constructeurs ont développé diverses technologies, telles que les catalyseurs et, plus récemment, les filtres à particules pour moteurs diesels, pour se conformer à toutes ces normes. Ces avancées technologiques se doublent d'une amélioration de la connaissance des impacts de la pollution de l'air. L'incidence des particules ultrafines ($PM_{2.5}$) sur la santé retient depuis peu de plus en plus l'attention.

Il convient de souligner que les émissions des véhicules ne sont pas les mêmes sur route que pendant un cycle d'essais. Elles sont en règle générale beaucoup plus importantes « en vrai » parce que les constructeurs règlent leurs moteurs de telle sorte qu'ils satisfassent aux conditions prévues pendant le cycle d'essais. Bien qu'elles soient ainsi éludées pendant le cycle d'essais, les normes d'émissions ont quand même fait diminuer les émissions des véhicules mis en circulation, fût-ce moins rapidement qu'elles ne le laissaient augurer.

Au total, les émissions de polluants produites par les poids lourds ont réellement diminué, mais elles n'ont pas encore été ramenées au niveau souhaité. Le renforcement de ces normes d'émission qui doit intervenir au cours de la prochaine décennie devrait entraîner une nouvelle réduction des émissions de polluants.

Normes d'émission applicables aux moteurs diesels autres que routiers

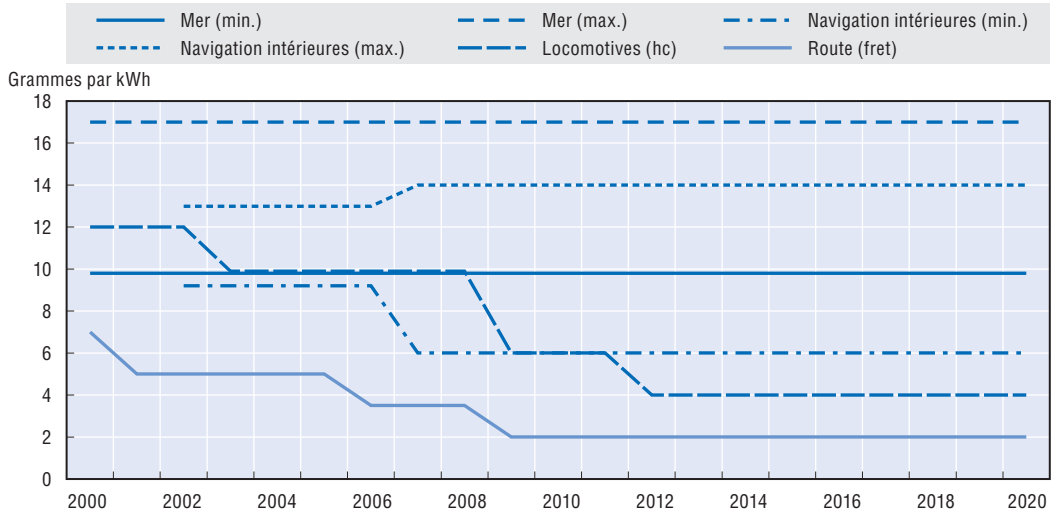
La réglementation des émissions s'est focalisée au départ sur le transport routier parce que ce transport est responsable d'une grande partie des émissions de polluants. Les avancées significatives enregistrées dans le transport routier ont toutefois amené à accorder davantage d'attention à la réduction des émissions de polluants des modes autres que routiers, c'est-à-dire plus particulièrement des moteurs diesels des trains et des navires.

Diverses normes d'émission applicables aux modes autres que routiers ont fait leur apparition dans l'Union européenne autour de l'an 2000. La directive 2004/26/CE relative aux engins mobiles non routiers fixe des normes d'émission de HC, CO, NO_x et PM_{10} variant selon le type et la puissance des moteurs ainsi que les délais dans lesquels elles doivent être appliquées dans les chemins de fer et sur les voies navigables. Le degré de sévérité de ces normes d'émission va augmenter progressivement jusqu'en 2015. Les premières normes applicables aux chemins de fer et aux voies navigables datent de 2006. Les normes applicables

au rail (moteurs diesels) étaient précédemment fixées par l'UIC. La Commission centrale pour la navigation du Rhin (CCNR) a fixé dès 2002 des normes applicables aux bateaux fluviaux.

Les graphiques 8.11 (NO_x) et 8.12 (PM_{10}) donnent un aperçu des normes européennes d'émission applicables aux différents modes jusqu'en 2010. Les deux courbes tracées pour chaque mode illustrent l'évolution des normes applicables aux moteurs les plus et les moins puissants. Une courbe de l'évolution des normes applicables aux camions a été ajoutée à des fins de comparaison. Les normes s'expriment en grammes par kWh (énergie mécanique fournie par le moteur).

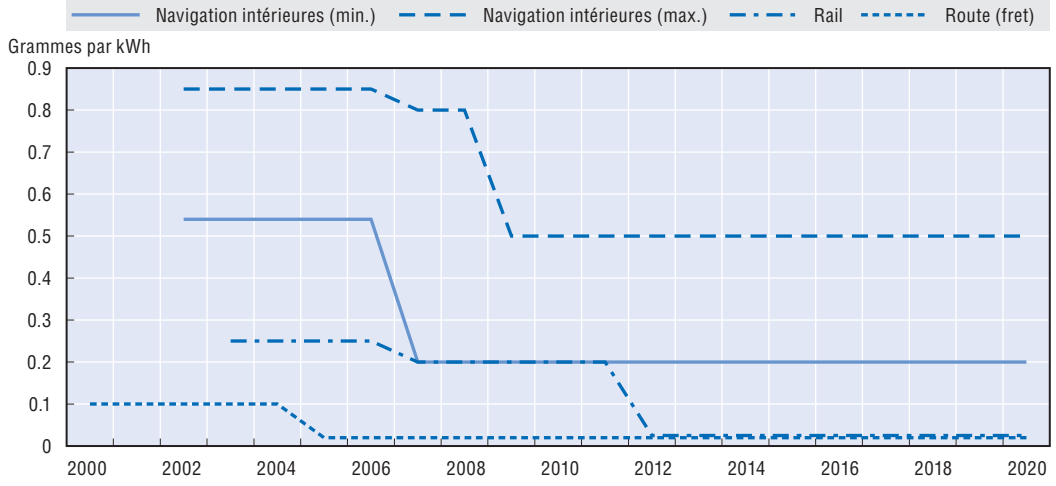
Graphique 8.11. **Normes d'émission de NO_x applicables aux moteurs diesels dans l'Union européenne**



Note : Les normes sont tirées de la directive 2004/26/CE, de l'annexe VI de MARPOL et de la CCNR. La courbe « hc » amalgame les normes d'émission d'hydrocarbures et de NO_x.

Source : Van Essen *et al.* (2005).

Graphique 8.12. **Normes d'émission de PM_{10} applicables aux moteurs diesels dans l'Union européenne**



Note : Les normes sont tirées de la directive 2004/26/CE, de l'annexe VI de MARPOL et de la CCNR.

Source : Van Essen *et al.* (2005).

Les normes d'émission de NO_x valables pour le transport maritime sont manifestement plus tolérantes que celles qui s'appliquent aux autres modes de transport. Les normes routières resteront pendant pas mal de temps encore plus strictes que les autres. Les moteurs marins ne sont pas soumis à des normes d'émission de particules. Les normes d'émission de particules applicables aux engins thermiques des chemins de fer s'aligneront sur celles de la route à partir de 2012. Les normes fluviales sont nettement moins contraignantes que celles de la route.

Il convient de souligner que les normes d'émission ne permettent pas de comparer directement l'incidence environnementale des différents modes. La raison en est que les cycles d'essais accusent de grandes différences, qu'une même norme peut, pour des raisons d'ordre technologique, être très difficile à atteindre dans un mode et très facile dans un autre et que ces normes s'expriment en nombre de grammes par kWh, une grandeur qui ne donne pas une image directe des incidences effectives du secteur et de son efficience en termes, par exemple, de tonnes/kilomètre. Il n'est toutefois que juste de dire que les normes applicables aux modes non routiers sont beaucoup plus récentes que les normes routières et qu'il leur faut plus de temps pour marquer effectivement les émissions du parc de leur empreinte : les modes non routiers ont des marchés plus limités et des parcs composés d'un moins grand nombre de véhicules dont le renouvellement est beaucoup plus lent que celui des véhicules routiers.

Les États-Unis ont eux aussi arrêté récemment (mars 2008) des normes d'émission applicables aux moteurs diesels des locomotives et des navires qui réduiront, une fois qu'elles seront pleinement mises en œuvre, les émissions de PM_{10} de 90 % et les émissions de NO_x de 80 % (Sustainable Business, 2008).

Encadré 8.2. **Teneur en soufre des carburants**

La normalisation ne s'arrête pas aux émissions des véhicules et s'étend progressivement à la teneur en soufre des carburants. La réduction de la teneur en soufre des carburants a un fort impact sur les gaz d'échappement parce qu'elle permet d'utiliser des systèmes de post-traitement plus sophistiqués. Les carburants ont des teneurs en soufre très différentes. En 2009, les carburants routiers ne contiennent en Europe que 10 ppm de soufre, soit 100 fois moins que le gazole consommé par les locomotives qui en contient lui-même 7 fois moins que le gazole marin.

Volume d'émission au kilomètre du transport routier et ferroviaire à longue distance

Le transport produit des émissions au stade de :

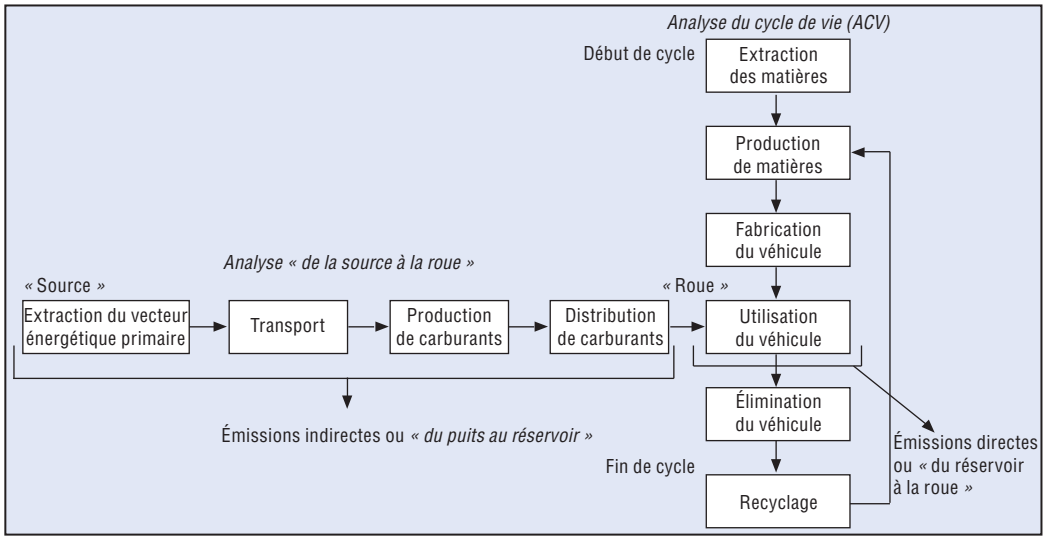
- l'usage des véhicules (consommation de carburant),
- la production des carburants,
- la construction, l'entretien et la démolition des véhicules,
- la construction, l'entretien et l'aménagement des infrastructures.

Le premier de ces stades est généralement tenu pour être celui où les transports produisent le plus d'émissions. Les comparaisons des différents modes prennent normalement l'ensemble des émissions produites tout au long de la chaîne énergétique (allant de la production à la consommation du carburant) en compte. Dans le cas des trains électriques, ces émissions englobent celles qu'entraîne la production d'électricité. Ces

émissions « totales » (de la source à la roue) des différents modes de transport de marchandises peuvent être comparées en les exprimant en grammes par tonne/kilomètre.

Les émissions produites par la construction, l'entretien et la démolition des véhicules peuvent être chiffrées par la méthode de l'analyse du cycle de vie (ACV). Le graphique 8.13 illustre le cheminement des deux méthodes (émissions totales et ACV).

Graphique 8.13. **Analyse « de la source à la roue » des chaînes énergétiques et analyse du cycle de vie des produits**



Les émissions produites par l'utilisation des voitures particulières représentent 80 % des émissions totales dont les 20 autres pour cent sont à imputer à la mise à disposition des infrastructures ainsi qu'à la construction, l'entretien et la démolition des véhicules (CE Delft, 2008). La ventilation des émissions imputables au trafic voyageurs des chemins de fer accuse de fortes variations explicables sans doute par l'inégalité des quantités relatives d'énergies différentes utilisées. Il n'y a pas d'estimations de ce genre pour le transport routier ou ferroviaire de marchandises.

La comparaison des émissions de la source à la roue n'a de sens que si les modes comparés se font concurrence sur un même segment du marché. Il convient aussi de tenir compte des différences observables entre des paramètres logistiques tels que le taux de chargement, la proportion des déplacements à vide et les détours. Il importe en outre de comparer des chaînes de transport complètes. Le transport effectué par les modes non routiers doit en règle générale se compléter de transports routiers terminaux.

Le chemin de fer consomme de l'électricité et du gazole. La traction électrique a ceci d'important qu'elle offre la possibilité de consommer de l'électricité tirée de sources renouvelables qui accentue de beaucoup la supériorité environnementale des trains électriques sur les trains à traction diesel. Dans un marché de l'électricité intégré, l'incidence environnementale marginale de l'énergie électrique est toutefois déterminée par le fournisseur « marginal » d'électricité. Il est difficile de déterminer la source d'où provient l'électricité consommée.

Les émissions par tonne/kilomètre dépendent des coefficients d'émission (en grammes par kWh), de la consommation d'énergie et de l'utilisation du véhicule. Ces facteurs varient considérablement d'un pays à l'autre parce que :

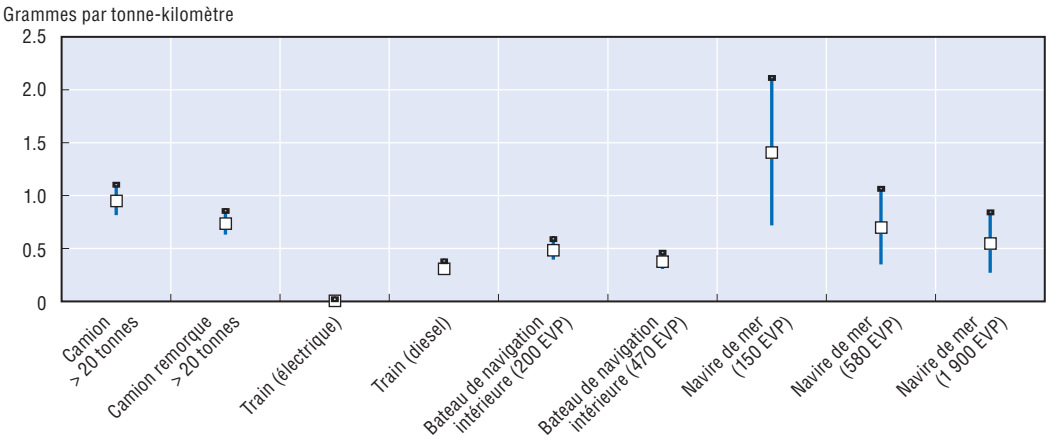
- la marge de variation des coefficients d'émission, notamment de polluants, est large,
- la variabilité des paramètres logistiques en général, et des taux de chargement en particulier, est considérable,
- les parts relatives des sources de l'électricité consommée par les trains électriques ne sont pas partout les mêmes.

Les différences entre les modes de transport sont dans l'ensemble réduites sur des marchés spécifiques. Ces différences sont affaire de caractéristiques logistiques et de technologie (normes d'émission par exemple) davantage que de mode proprement dit (Van Essen *et al.*, 2003). Le graphique 8.14 illustre les résultats d'une étude comparative récente des émissions de polluants produites par le transport de conteneurs à longue distance aux Pays-Bas. Elle montre que le transport par mer produit le plus d'émissions de NO_x et de PM_{10} par tonne/kilomètre et que les émissions des chemins de fer sont inférieures à celles de la route. La différence entre les modes dépend des coefficients d'émission et de l'efficience énergétique des différents modes. Le coefficient moyen d'émission des poids lourds est proche du niveau de la norme Euro 3.

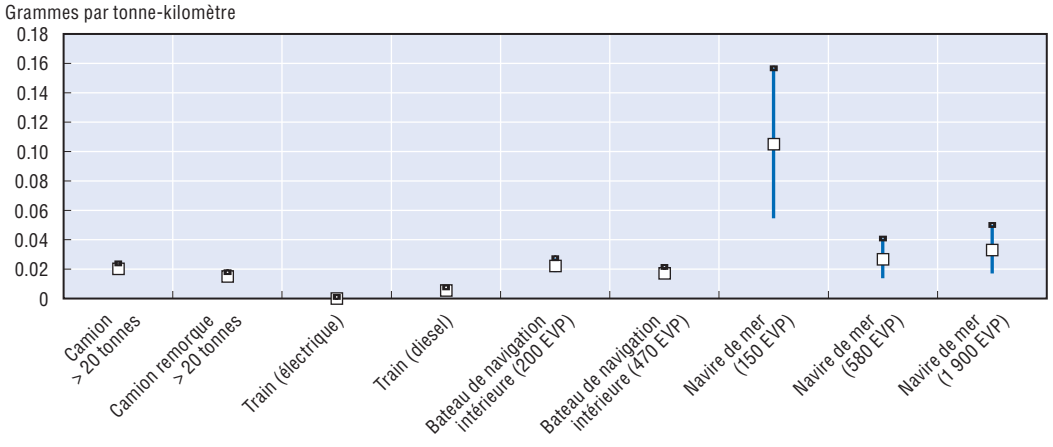
L'inégalité des niveaux moyens d'utilisation des véhicules revêt une importance au moins aussi grande. Dans le cas particulier du marché néerlandais des transports autres que de vracs, le niveau moyen d'utilisation des trains de marchandises (86 %) est nettement plus élevé que celui des camions (26 %), des trains routiers (33 %) et des bateaux fluviaux (64 %) et cette différence se reflète directement dans les niveaux d'émission par tonne/kilomètre.

Les émissions de CO_2 par tonne/kilomètre du même transport, à savoir le transport à longue distance de conteneurs contenant des marchandises autres que des vracs, sont indiquées à des fins de comparaison. Dans les deux cas, les émissions de CO_2 du transport routier excèdent celles du transport ferroviaire. La différence dépend étroitement, comme dans le cas des émissions de polluants, du niveau d'utilisation des véhicules. Les émissions des camions circulant à pleine charge sont comparables à celles des modes concurrents si la totalité de la chaîne de transport est prise en considération.

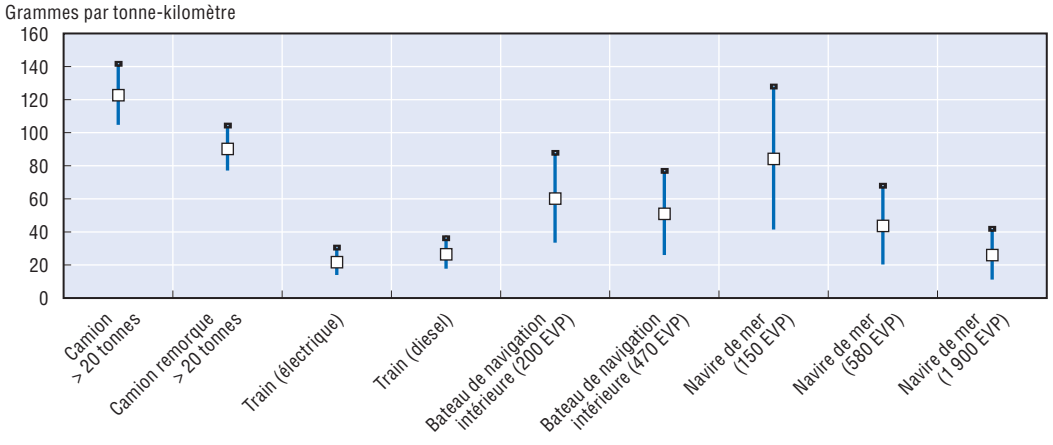
Graphique 8.14*a*. **Émissions de NO_x par tkm dans le transport de conteneurs et autres marchandises à longue distance**



Graphique 8.14*b*. **Émissions de PM_{10} par tkm dans le transport de conteneurs et autres marchandises à longue distance**



Graphique 8.14c. **Émissions de CO_2 par tkm dans le transport de conteneurs et autres marchandises à longue distance**



Note : Les graphiques ont été tracés au départ de données relatives à des paramètres logistiques, un cocktail énergétique et des coefficients d'émission néerlandais. Les marges de variation sont calculées sur la base d'une variation de 15 % du taux de chargement, d'une certaine variation du facteur de détour pour les modes non routiers et de l'existence ou absence de transport terminal. Les « autres » marchandises sont des diverses.
Source des trois graphiques : Den Boer *et al.* (2008).

8.4. Perspectives d'amélioration des performances environnementales du transport de marchandises

Les émissions de CO_2 des transports augmentent (voir section 8.2) et cette augmentation contraste avec les objectifs de réduction ambitieux dont il est discuté dans le cadre de la politique climatique d'après Kyoto et que quelques régions et pays ont déjà faits leurs (notamment l'Union européenne). Beaucoup de pays développés pourront réduire à court terme leurs émissions de CO_2 dans les proportions prévues par le Protocole de Kyoto sans peser lourdement sur le secteur des transports, mais il semble bien qu'il faudra à long terme réduire ces émissions de 40 à 60 % par rapport à 1990 pour ramener les incidences du réchauffement de la planète à un niveau acceptable. Eu égard à la croissance que le secteur des transports devrait connaître au cours des prochaines décennies et à son

asservissement aux carburants fossiles, ces objectifs de réduction à long terme ne pourront pas être atteints sans efforts significatifs de ce secteur-même.

La présente section explore les principales voies à suivre pour réduire les émissions de CO_2[2]:

- du transport international routier de marchandises :
  1. mesures techniques,
  2. mesures non techniques,
- du transport international ferroviaire de marchandises,
- du transport international terrestre de marchandises:
  1. biocarburants et autres carburants alternatifs,
  2. réduction du volume et transfert modal (Section 8.4.5).

Le renforcement des normes d'émission applicables aux véhicules est un bon moyen de réduire les émissions de polluants du transport de marchandises à longue distance[3]. Les mesures axées sur la réduction du volume et le transfert modal, notamment l'électrification des chemins de fer et la production d'électricité verte, peuvent également contribuer à réduire les émissions de polluants. La section 8.4 passe rapidement en revue les moyens utilisables pour réduire le bruit causé par le transport international.

Mesures techniques d'amélioration de l'efficience énergétique du transport routier de marchandises

Le carburant entrant pour une large part dans le coût d'exploitation des poids lourds, l'amélioration de l'efficience a toujours été un des grands objectifs du perfectionnement des moteurs et des véhicules affectés au transport de marchandises. Les gros moteurs arrivent en outre généralement à un meilleur niveau d'efficience énergétique parce que les poids lourds présentent un rapport poids/masse moindre que les voitures et sont équipés de boîtes de vitesses optimisées (Smokers et Kampman, 2006).

Le potentiel d'amélioration de l'efficience des véhicules affectés au transport routier de marchandises en général, et de ceux qui sont destinés à effectuer du transport à longue distance en particulier, est donc assez limité. Les conditions d'utilisation des autobus et des camions assurant des services de distribution en milieu urbain sont généralement plus dynamiques et le perfectionnement ou l'hybridation des moteurs pourrait permettre de réduire considérablement la consommation de carburant.

Les principaux moyens techniques propres à améliorer l'efficience énergétique des poids lourds sont (Smokers et Kampman, 2006) :

- le montage de pneus à faible résistance au roulement (≈6 %),
- le perfectionnement des moteurs (≈5 %),
- l'amélioration de l'aérodynamisme (≈6 %),
- le relèvement du poids total en charge autorisé à 44 ou 60 tonnes (≈9 – 20 %),
- l'utilisation de matériaux légers (≈7 %),
- le montage de moteurs hybrides sur les autobus et les véhicules de distribution (≈15 %).

Les chiffres entre parenthèses indiquent la proportion dans laquelle la mesure en cause peut réduire la consommation des véhicules neufs.

Le potentiel global de réduction est d'environ 20 % par véhicule/kilomètre pour les poids lourds actuellement utilisés pour effectuer du transport international de marchandises. La réduction à attendre d'un relèvement du poids total en charge autorisé n'a pas encore été chiffrée, mais elle pourrait faire gagner 20 % supplémentaires.

Les émissions de polluants des poids lourds sont réglementées, mais celles de CO_2 ne le sont pas. Les voitures particulières doivent répondre un peu partout dans le monde à des normes de consommation dont les plus sévères sont européennes. Le Japon est seul à réglementer les émissions de CO_2 des poids lourds dont il veut réduire les émissions de CO_2 par véhicule/kilomètre de 12 % entre 2002 et 2015 (CEMT, 2007). La Commission européenne cherche à chiffrer le coût des différentes mesures susceptibles d'améliorer l'efficience énergétique des poids lourds avant de fixer, le cas échéant, des normes de consommation applicables à cette catégorie de véhicules. La définition de telles normes postule toutefois la mise au point d'un cycle d'essais spécial pour les poids lourds ou les gros moteurs. L'entreprise est sans doute plus compliquée que pour les voitures particulières parce que les poids lourds sont utilisés à plus de fins différentes et que la marge de variation de leur masse, un des principaux déterminants de leur consommation, est donc plus large.

Mesures non techniques d'amélioration de l'efficience énergétique du transport routier de marchandises

Plusieurs mesures non techniques peuvent aussi réduire la consommation des voitures particulières, des utilitaires légers et des poids lourds. Les paragraphes qui suivent passent en revue celles que Smolders et Kampman (2006) jugent être les plus importantes.

Ecoconduite

Une conduite peu gourmande en carburant (écoconduite) consiste pour l'essentiel à :

- Faire tourner le moteur à bas régime en passant rapidement au rapport de boîte supérieur en accélération et à conserver le rapport de boîte le plus élevé possible à vitesse constante. A demande de puissance donnée, le couple est plus élevé quand le moteur tourne à bas régime. L'efficience du moteur est meilleure à haute charge qu'à charge partielle.
- Adopter un style de conduite anticipatif et souple évitant les accélérations (brutales) inutiles et les pertes inopportunes d'énergie cinétique entraînées par les freinages brutaux.

Les automobilistes qui ont suivi un cours d'écoconduite peuvent, selon leur style de conduite antérieur, réduire directement leur consommation de 5 à 25 %. Smokers *et al.* (2006) estiment toutefois l'amélioration moyenne à long terme à quelque 3 % pour les voitures particulières. L'utilisation d'un indicateur de changement de vitesse ou d'un dispositif d'affichage de la consommation peut améliorer ce potentiel.

Quoique son potentiel de réduction soit moindre pour les poids lourds que pour les voitures particulières, l'écoconduite pourrait quand même réduire la consommation des poids lourds de 5 % parce que des chauffeurs professionnels devraient mieux pouvoir s'en tenir à un style de conduite efficient et suivre davantage de formations plus intensives. Le coût de la réduction des émissions de CO_2 est fonction du coût de la formation, de son efficience et du prix des carburants. Le coût de la réduction des émissions tant des voitures

particulières que des poids lourds devrait être négatif pour toutes les combinaisons de prix des carburants et de coût de la formation (Smokers *et al.*, 2006).

L'écoconduite devrait perdre de son efficience à long terme à mesure que divers moyens techniques améliorant l'efficience des moteurs à charge partielle permettront de réduire la consommation des véhicules.

Gestion de la circulation

Diverses mesures, telles que la synchronisation des feux de circulation et l'abaissement de la vitesse autorisée sur les routes encombrées, permettent de fluidifier la circulation et de réduire la dynamique de conduite ainsi que, partant, la consommation de carburant et les émissions de CO_2 par véhicule/kilomètre. Ces mesures peuvent par ailleurs, en améliorant l'écoulement du trafic et en réduisant la congestion, induire une augmentation du trafic qui risque de contrebalancer les effets bénéfiques par véhicule/kilomètre. Leur potentiel de réduction devrait en outre être faible au niveau du transport routier international parce que ce transport passe pour l'essentiel par les autoroutes.

Amélioration de la logistique

Pischinger *et al.* (1998), Pischinger et Hausbergerm (1998) et Bates *et al.* (2001) avancent qu'il serait possible de faire baisser le nombre de tonnes/kilomètre routières et de réduire, partant, de 10 à 20 % la consommation en améliorant :

- l'organisation logistique,
- la coordination entre tous les opérateurs de transport (notamment intermodal);
- le tracé des itinéraires.

Le coût de la prévention de l'émission de CO_2 est estimé négatif quand le coût de mise en œuvre des mesures est inférieur à la valeur de la réduction des coûts totaux. La mise en œuvre de ces mesures oblige à comprendre pourquoi elles ne le sont pas pour le moment. Ce pourquoi est fait de diverses raisons organisationnelles. Il convient également de souligner que la réduction du coût global de transport qui en résulte peut induire une augmentation de la demande de transport qui est de nature à contrebalancer (partiellement) la réduction absolue de la consommation de carburant et des émissions de CO_2.

Le mode actuel d'utilisation des véhicules affectés au transport routier de marchandises à longue distance (comme aux Pays-Bas, voir section 8.3) est perfectible. Ce mode d'utilisation est le fruit d'un arbitrage opéré entre les coûts directs par véhicule/kilomètre et les coûts d'optimisation de la chaîne logistique, des coûts dans lesquels il convient d'inclure l'augmentation des coûts des pertes de temps, des pertes de flexibilité et du stockage qu'une rationalisation de l'utilisation des véhicules peut entraîner. L'optimisation de la logistique n'est donc pas affaire que du seul secteur des transports et est fortement tributaire de mesures publiques telles, en particulier, que la tarification des transports.

Amélioration de l'efficience énergétique du transport ferroviaire de marchandises

Les trains à traction diesel n'émettent que 0.5 % des émissions de CO_2 produites dans l'Europe des 25 et l'amélioration de leur efficience n'a donc rien de hautement prioritaire. L'efficience des trains électriques a beaucoup progressé grâce à l'électronique de puissance et la récupération de l'énergie de freinage. Ces progrès sont toutefois contrebalancés en partie par l'augmentation de la consommation d'énergie entraînée par l'augmentation de

la vitesse des trains. L'inclusion de la production d'électricité dans le système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne contribuera à encore améliorer l'efficience « de la source à la roue » des trains électriques ou réduire leurs émissions de CO_2 (Klooster et Kampman, 2006)[4].

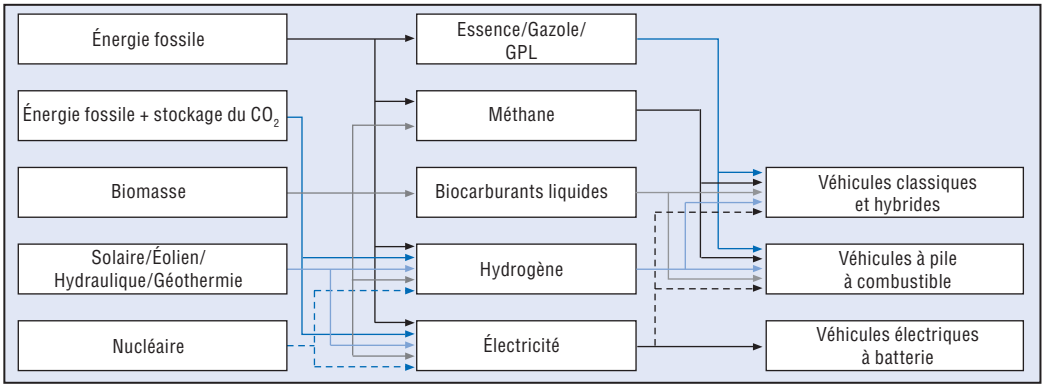
Diverses mesures techniques peuvent encore améliorer l'efficience énergétique et réduire les émissions des trains (de marchandises). Ces mesures peuvent :

- ne pas toucher directement les locomotives (Nielsen *et al.*, 2005) :
  1. optimisation de paramètres matériels (réduction de la masse, amélioration de l'aérodynamisme, réduction de la friction),
  2. récupération de l'énergie de freinage,
  3. optimisation de l'efficience énergétique par optimisation de la vitesse en toutes circonstances et prévention de la nécessité de freinage,
  4. relèvement du taux de chargement.
- toucher les moteurs des locomotives diesels.

Biocarburants et carburants alternatifs

Le pétrole est actuellement la principale source d'énergie du secteur des transports, mais une multitude d'autres chaînes énergétiques pourrait à long terme provenir tant de sources fossiles que de sources renouvelables et du nucléaire. La situation est illustrée par le graphique 8.15.

Graphique 8.15. **Sources d'énergie primaire, vecteurs énergétiques secondaires et consommation d'énergie des véhicules**



Le graphique illustre les cheminements possibles de l'énergie allant des sources d'énergie primaire *via* des porteurs d'énergie secondaire jusqu'à la consommation de l'énergie finale dans des véhicules équipés de systèmes de propulsion différents.

Source : Van Essen (2008).

La colonne de gauche de le graphique 8.15 énumère les sources d'énergie primaire existantes et la colonne centrale les porteurs d'énergie secondaire en lesquels les sources d'énergie primaire peuvent être converties pour être fournies aux utilisateurs de l'énergie finale. Les porteurs d'énergie englobent les carburants classiques (essence, gazole et GPL obtenus par raffinage du pétrole ou produits par synthèse du gaz ou du charbon), plusieurs carburants alternatifs fossiles ou renouvelables (gaz naturel, biogaz, bioéthanol, biodiesel, carburants liquides tirés de la biomasse et hydrogène) et l'électricité. Ces porteurs

d'énergie sont convertis, à bord des véhicules, en énergie de propulsion pouvant alimenter divers systèmes de propulsion différents présentés dans la colonne de droite de le graphique 8.15.

Il ressort de cet graphique que l'hydrogène et l'électricité ont l'avantage de pouvoir se tirer de toutes les sources d'énergie primaire possibles. Les moteurs à combustion interne (classiques et hybrides) et les piles à combustible peuvent de même être alimentés par tous les carburants possibles, les véhicules hybrides pouvant en outre utiliser (en partie) de l'électricité.

Carburants fossiles alternatifs

Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) et, plus encore, le gaz naturel comprimé (GNC) sont des substituts fossiles propres de l'essence et du gazole. L'utilisation de catalyseurs 3 voies et le renforcement des normes d'émission ont réduit de beaucoup les avantages que le GPL et le GNC présentaient en matière de qualité de l'air par rapport à l'essence (Hendriksen *et al.*, 2003). Les émissions de CO_2 des véhicules roulant au GPL sont à mi-chemin entre celles des véhicules à essence et des véhicules diesels. Les émissions totales « de la source à la roue » de gaz à effet de serre des véhicules roulant au GNC sont inférieures de quelque 20 % à celles des véhicules à essence et donc comparables à celles des véhicules diesels. Les avantages que le CNG présente en matière d'émissions de CO_2 dépendent toutefois dans une large mesure de l'origine du gaz naturel et des distances sur lesquelles il se transporte.

L'Europe étant aujourd'hui un importateur net de gaz naturel, l'augmentation de la demande de gaz naturel induite par l'augmentation du nombre de véhicules roulant au GNC sera couverte par des importations en provenance de Russie, du Proche-Orient et des pays du sud-est de l'Asie. Des chiffres de CONCAWE (2006) et de Smokers *et al*. (2006) montrent que les véhicules qui consomment un mélange de gaz naturels originaires de l'Union européenne émettent, de la source à la roue, 23 % de gaz à effet de serre de moins, mais que cet avantage tombe à respectivement 17 ou 8 % si le gaz importé est transporté sur respectivement 4 000 ou 7 000 kilomètres. Le rôle que le GPL et le GNC peuvent jouer dans la politique de réduction des émissions de CO_2 du secteur des transports est donc limité en Europe.

Le GNC pourrait faire la transition avec le biogaz et l'hydrogène, mais il ne pourrait sans doute se justifier d'investir dans ce contexte dans une infrastructure de distribution de GNC pour véhicules de transport que si l'opération s'inscrit dans le cadre d'une stratégie régionale plus intégrée de promotion du gaz naturel, du biogaz ou de l'hydrogène.

Il peut en être dit autant du GNL et d'autres nouveaux carburants tels que le DME (oxyde de méthyle) ou le gazole de synthèse tiré du gaz naturel (liquéfaction du gaz) ou du charbon (liquéfaction du charbon), deux procédés qui permettent de tirer des carburants de transport de grande valeur d'autres sources fossiles. La solution est économiquement intéressante parce qu'elle permet d'exploiter des sources éloignées de gaz naturel en particulier et que l'incorporation d'éléments synthétiques dans le gazole permet de porter la qualité des carburants au niveau nécessaire pour améliorer l'efficience et réduire les émissions des moteurs à combustion modernes.

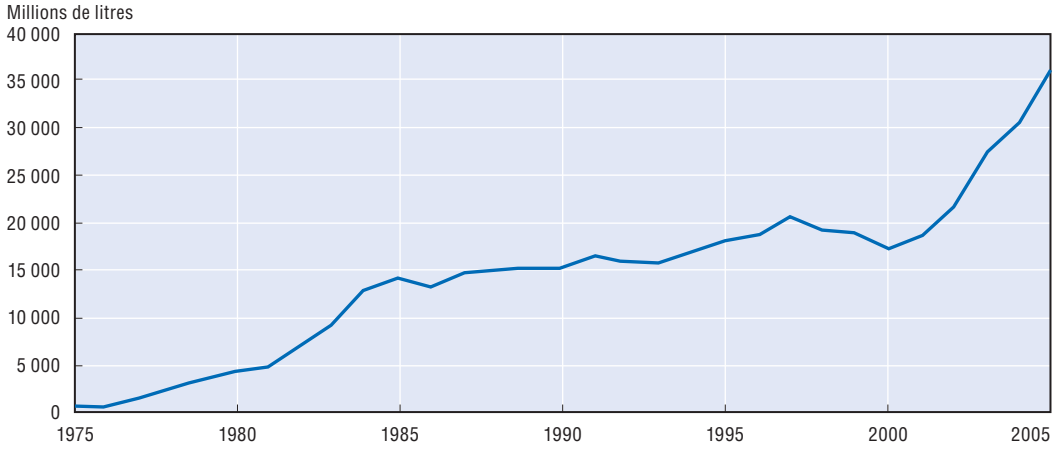
Biocarburants

La production et la consommation de biocarburants ont fortement augmenté ces dernières années tant dans l'Union européenne qu'ailleurs dans le monde. Les deux

principaux biocarburants actuels sont le biodiesel et le bioéthanol. Il se produit 10 fois plus de bioéthanol que de biodiesel dans le monde (voir graphiques 8.16 et 8.17), mais la proportion s'inverse dans l'Union européenne où il se produit 10 fois plus de biodiesel que de bioéthanol. La raison doit en être recherchée dans la politique poursuivie par plusieurs États membres, dans le potentiel communautaire de production de colza (l'huile de colza est une des principales matières de base transformables en biodiesel) et dans la part relativement importante du carburant vendu dans l'Union européenne représentée par le gazole. L'Union européenne a produit 3.9 millions de tonnes de biocarburant en 2005, soit 65.8 % de plus qu'en 2004. Sa production de bioéthanol est beaucoup plus réduite, mais a quand même augmenté de 70.5 % entre 2004 et 2005.

Graphique 8.16. **Production mondiale d'éthanol**

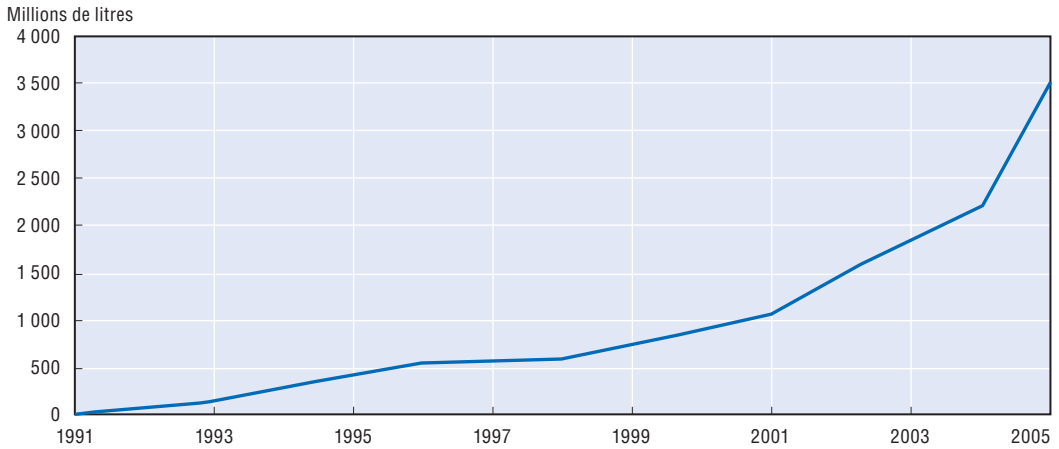
1975-2005



Source : WWI, 2006.

Graphique 8.17. **Production mondiale de biodiesel**

1991-2005



Source : WWI, 2006.

Les biocarburants ont l'avantage que les quantités de CO_2 émises lors de leur combustion sont égales aux quantités de CO_2 absorbées par la biomasse pendant sa culture, mais ils contribuent quand même au changement climatique parce que leur transport et leur production ainsi que la culture de la biomasse sont sources d'émissions de gaz à effet de serre (essentiellement du N_2O dû à l'utilisation d'engrais).

Les chiffres montrent que dans l'Union européenne, le biodiesel et le bioéthanol émettent en moyenne « de la source à la roue » de 30 à 60 % de gaz à effet de serre de moins que le gazole et l'essence d'origine fossile (CONCAWE, 2006)[6]. Les nouvelles techniques de production des biocarburants actuellement en cours de mise au point devraient faire passer ce pourcentage à 80 ou même 90 %. Les nouveaux biocarburants, souvent dits de deuxième génération, devraient être perfectionnés au cours des années à venir.

Les biocarburants l'emportent en termes d'émission de gaz à effet de serre, mais ont aussi des incidences négatives. La plupart d'entre eux coûtent plus cher que les carburants fossiles[7], à la seule exception du bioéthanol brésilien. Le coût des biocarburants européens pourrait baisser à l'avenir au rythme des progrès de la science. Les coûts dépendent toutefois aussi de l'offre et de la demande.

Les effets potentiellement négatifs des biocarburants sur la biodiversité préoccupent aussi de plus en plus. L'augmentation substantielle de la demande de biomasse émanant des secteurs des biocarburants et de la bioénergie accentue la pression qui s'exerce sur la biodiversité des terres agricoles et des forêts ainsi que sur les ressources en sols et en eau. Elle peut par ailleurs aller à l'encontre de politiques et d'objectifs environnementaux présents et futurs tels que la minimisation des déchets ou l'agriculture écologique (AEE, 2006b). L'AEE (2006b) observe également qu'il est techniquement possible, même si les contraintes environnementales sont sévères, d'utiliser des grandes quantités de biomasse à la poursuite d'objectifs ambitieux en matière d'énergies renouvelables, mais estime par ailleurs nécessaire de donner une dimension environnementale aux processus locaux, nationaux et communautaire de planification. D'autres études confirment que le potentiel des biocarburants n'a rien d'illimité parce que des contraintes existent sur le plan notamment de la biodiversité, de la production alimentaire et de l'eau (voir WWI, 2006).

Solutions à long terme : hydrogène et électricité

L'hydrogène et l'électricité pourraient à long terme également jouer un rôle dans l'approvisionnement du secteur des transports en énergie. Il convient de souligner que l'un et l'autre sont des *porteurs* et non des *sources d'énergie* et que leur efficience de la source à la roue ainsi que leurs émissions de CO_2 dépendent de la source primaire et du procédé de conversion utilisés pour les produire. Comme le niveau auquel le système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne plafonne la production d'émissions a été fixé en tenant compte de celles que cause la production d'électricité, l'utilisation de l'électricité dans les transports a déjà une incidence sur l'efficience de la source à la roue dans les États membres de l'Union européenne. Il ne pourrait en être dit autant de l'hydrogène que s'il était tiré de sources renouvelables.

Beaucoup d'auteurs voient pointer à l'horizon une « économie de l'hydrogène » capable de résoudre tous nos futurs problèmes d'énergie. Il est toutefois vraiment permis de se demander si la distribution d'énergie sous la forme d'hydrogène est la meilleure solution qui soit d'un point de vue systémique. Il serait sans doute plus indiqué de limiter

Encadré 8.3. **Efficience systémique**

L'exemple de l'hydrogène montre que dans certains cas, les mesures d'amélioration de l'efficience énergétique du secteur des transports ne doivent pas s'apprécier au seul niveau de la comparaison de véhicule à véhicule ou de la source à la roue et qu'il est besoin au contraire d'une approche systémique qui tienne compte de la relation d'une source donnée d'énergie avec d'autres applications étrangères au secteur des transports et qui vise à optimiser l'efficience du système plutôt que l'efficience des transports. L'efficience des raffineries est aujourd'hui déjà étroitement liée aux processus à l'œuvre dans d'autres secteurs par le biais de l'utilisation d'énergies de processus et la production de sous-produits. Ceci se vérifiera sans doute encore davantage avec les systèmes de production de carburant du futur. Un exemple intéressant est celui du procédé Fischer-Tropsch de production de carburant de synthèse dont l'efficience systémique et les émissions de CO_2 de la source à la roue dépendent étroitement des conditions climatiques et du lieu où le sous- produit électricité est utilisé.

le rôle de l'hydrogène à celui de facteur d'équilibrage de l'offre et de la demande d'énergie renouvelable dans une « société tout électrique ».

Réduction du volume et transfert modal

L'évolution des performances environnementales du transport en général et du transport international routier et ferroviaire de marchandises en particulier est aiguillonnée par l'augmentation de son volume. La limitation de cette augmentation pourrait réduire les incidences environnementales du transport. Comme les moyens techniques qui permettent actuellement de freiner l'augmentation des émissions de CO_2 produites par le transport de marchandises ne semblent pas pouvoir gommer les effets de la croissance prévisible du volume de transport, la limitation de la contribution des transports au changement climatique pourrait postuler l'adoption de mesures qui refrènent l'augmentation de la demande de transport.

Le transfert d'un certain volume de trafic vers les modes les plus efficients peut, dans certains cas, donner des bons résultats. L'impact net de ce genre de mesure dépend beaucoup de la nature des mesures ainsi que des performances logistiques et environnementales des différents modes de transport intervenant dans les cas en cause.

Certains incitants au transfert modal, par exemple la construction de nouvelles infrastructures ferroviaires, peuvent en outre gonfler le trafic des chemins de fer sans faire diminuer le trafic routier. L'effet net se concrétise dans ces cas par une augmentation du trafic et des émissions totales (Van Essen *et al.*, 2003). Il s'en suit que les mesures qui visent à atténuer les incidences environnementales du transport par la voie du transfert modal devraient toujours être évaluées à la lumière de leur impact sur l'environnement plutôt que de leur impact sur la répartition modale en tant que telle.

Réduction du bruit

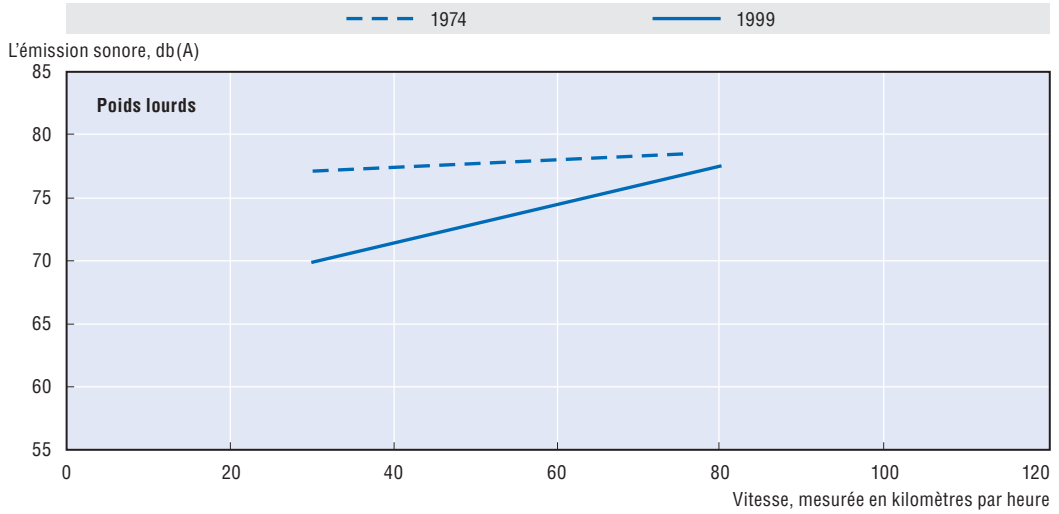
La réduction du bruit peut essentiellement (Den Boer et Schroten, 2007) s'opérer par mise en œuvre en premier lieu de mesures portant sur les moteurs, les pneumatiques, le revêtement des routes et la gestion de la circulation (réduction à la source) et en second lieu de mesures d'anti-propagation ou d'isolation destinées à réduire l'exposition au bruit

(allongement de la distance entre la source et les victimes, isolation des bâtiments ou construction de murs antibruit).

L'Europe, les États-Unis, le Japon et l'Australie soumettent les véhicules routiers à des normes de bruit. Les normes les plus sévères sont celles de l'Union européenne (Close, 2001) qui impose de telles normes au stade de la réception par type depuis 1970. Il n'y a cependant pas eu malgré cela de diminution perceptible, en circulation sur route, des émissions sonores des voitures tandis que celles des poids lourds n'ont diminué que de 2 à 4 dB(A) (Den Boer et Schroten, 2007). Le graphique 8.18 montre comment le bruit des poids lourds augmentait avec leur vitesse en 1974 et 1999.

Graphique 8.18. **Rapport bruit/vitesse des poids lourds**

1974 et 1999



Source : Blokland (2004).

Les technologies actuelles permettent parfaitement de réduire à court terme le niveau de bruit ambiant de 3 à 4 dB(A). Les mesures qui présentent le meilleur rapport coût/efficience sont celles qui attaquent le bruit à la source (Den Boer et Schroten, 2007), c'est-à-dire le bruit produit par les moteurs, les échappements, les systèmes mécaniques et le contact des pneus avec la route ou des roues avec le rail. Le coût de ce genre de mesures, celles du moins portant sur les véhicules et les pneumatiques, est généralement limité. Il semble aussi que le montage de patins de frein en matériaux composites sur les wagons de chemin de fer ne coûte pas très cher.

8.5. Conclusions

Les principales incidences environnementales du transport sont imputables aux émissions de polluants et de CO_2 et aux émissions sonores. Le transport international routier et ferroviaire de marchandises ne produit qu'une part minime, mais croissante, de ces émissions.

La contribution du transport international routier et ferroviaire de marchandises à la pollution de l'air diminue un peu partout dans le monde, essentiellement parce que des normes d'émission, dont le degré de sévérité est régulièrement revu à la hausse, s'y

appliquent aux véhicules. Les pays où le volume de trafic croît à une vitesse exponentielle sont les seuls où les émissions de polluants atmosphériques pourraient ne pas diminuer dans l'immédiat.

Le bruit est un problème environnemental sérieux qui, tout comme la pollution de l'air, a des répercussions graves sur la santé et cause tous les ans de nombreux décès. Diverses mesures peuvent réduire la contribution du transport de marchandises au bruit ambiant, mais celles qui présentent le meilleur rapport coût/efficience sont celles qui s'attaquent au bruit à la source.

Les émissions de CO_2 produites par le transport routier de marchandises augmentent partout dans le monde et rien ne donne à penser que l'augmentation va bientôt s'arrêter. Il n'y a pas de solution unique à ce problème difficile et il faut donc, pour le résoudre, combiner différentes mesures telles que le relèvement des taxes sur les carburants, le renforcement des normes de consommation, la promotion des carburants alternatifs et l'amélioration de la logistique.

Une stratégie efficiente de réduction des incidences environnementales du transport international routier et ferroviaire de marchandises doit viser à améliorer les performances environnementales de tous les modes de transport en les mettant tous sur un réel pied d'égalité. Des mesures réglementaires, infrastructurelles et tarifaires qui prennent tous les coûts environnementaux en compte peuvent y contribuer.

Notes

1. Le présent chapitre se fonde pour l'essentiel sur le rapport « *Impacts de l'élévation du niveau d'activité du transport international routier et aérien sur l'environnement : Tendances passées et perspectives d'avenir* » présenté par Huib van Essen, CE Delft, Pays-Bas, au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008 (*www.oecd.org/dataoecd/10/62/41380980.pdf*).
2. Les sections 8.4.1 à 8.4.4 se fondent sur des réflexions de Smokers et Kampman (2006).
3. Il ne faut pas perdre de vue que le renforcement des normes relatives aux émissions de polluants peut entraîner une augmentation des émissions de CO_2.
4. Il convient, dans ce contexte, de garder présent à l'esprit que l'amélioration de l'efficience des trains électriques *ne* va *pas* réduire les émissions de CO_2 produites dans toute l'Union européenne si le « plafond » général du système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne reste inchangé. Une réduction des quantités d'électricité consommées par les trains se traduira par une baisse du prix des quotas et une augmentation des émissions produites par les autres branches d'activité couvertes par le système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne.
5. A l'inverse, une augmentation de la consommation d'électricité induite par une généralisation de l'utilisation de trains (ou de voitures) électriques *ne* va *pas* faire augmenter les émissions de CO_2 produites dans toute l'Union européenne (même si l'électricité est produite par des centrales au charbon) tant que le « plafond » reste inchangé.
6. Les données de Creutzen *et al.* (2008) donnent à entendre que l'effet climatique bénéfique des biocarburants est nettement plus faible et pourrait même être négatif.
7. L'OCDE (2009) aborde brièvement la question du coût des aides actuellement accordées à la production des biocarburants. La traduction de ces aides en coût par tonne de CO_2 non produite le chiffre implicitement à plus de 1000 USD. Comme le prix du CO_2 retenu dans le scénario de réduction décrit par l'OCDE (2009) n'excède pas 50 USD (en dollars de 2005), ces aides semblent bien être un mécanisme de réduction des émissions plutôt coûteux.

Bibliographie

AEE (2001), *Traffic Noise Exposure and Annoyance*, *http://ims.eionet.europa.eu/Sectors_and_activities/transport/indicators/consequences/noise_exposure/Noise_TERM_2001.doc.pdf*, site consulté le 21 mars 2008, AEE, Copenhague, Danemark.

AEE (2006a) TERM 2005 03 EEA32 – Transport Emissions of Air Pollutants (CO, NH_3, NO_x, NMVOCs, PM_{10}, SO_x) by Mode, AEE, Copenhague, Danemark, 2006.

AEE (2006b), *Transport and Environment: Facing a Dilemma*, TERM 2005: Indicators Tracking Transport and Environment in the European Union, Agence européenne pour l'environnement, rapport n° 3/2006, Copenhague, Danemark, 2006.

AEE (2008a), *Climate for a Transport Change – TERM 2007: Indicators Tracking Transport and Environment in the European Union*, AEE, Copenhague, Danemark, 2008.

AEE (2008b), *Greenhouse Gas Emission Trends* (CSI 010) – Assessment published February 2008, *http://themes.eea.europa.eu/IMS/ISpecs/ISpecification20040909113419/IAssessment1195226181050/view_content*, site consulté le 21 mars 2008, AEE, Copenhague, Danemark.

AIE (2006), Key World Energy Statistics, tiré de: *www.iea.org/Textbase/nppdf/free/2006/Key2006.pdf*, site consulté le 25 mars 2008, Agence internationale de l'énergie.

AIE (2009a), *Bilans énergétiques des pays non membres*, édition 2009, OCDE/AIE, Paris.

AIE (2009b), *Émissions de CO_2 dues à la combustion d'énergie*, édition 2009, OCDE/AIE, Paris.

AIE (2009c), *Key World Energy Statistics 2009*, OCDE/AIE, Paris.

Bates, J. *et al.* (2001), *Economic Evaluation of Emission Reductions in the Transport Sector in the EU*, AEA Technology, Royaume-Uni, 2001.

Blokland, Gijsjan van (2004), *Type-approval as Instrument for Controlling Road Traffic Noise*, M+P/Müller-BBM, Aalsmeer/Vugt, Pays-Bas, 2004.

CEMT (2007), *Transports et émissions de CO_2: Quels progrès?* Rapport succinct, CEMT, Paris, France, 2007.

Close, Harry W. (2001), *A Review of the Noise Related Australian Design Rules and Engine Brake Noise*, Discussion Paper for comment, National Transport Commission, Melbourne, Australie, 2001.

Commission européenne (2005), *Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen, Stratégie thématique sur la pollution atmosphérique*, COM(2005)446 final, Commission européenne, Bruxelles, Belgique, 2005.

Commission européenne (2007), *EU Energy and Transport Figures – Statistical pocketbook 2006*, Commission européenne, Bruxelles, 2007.

CONCAWE (2006), *Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context*, CONCAWE/EUCAR/JRC, avant-projet, 2006.

Cornell Chronicle (2007), « Water, Air and Soil Pollution Causes 40 percent of Deaths Worldwide, Cornell research survey finds », *www.news.cornell.edu/stories/Aug07/moreDiseases.sl.html*, site consulté le 25 mars 2008, Cornell Chronical Online, Ithaca, USA, 2007.

Creutzen, P.J. *et al.* (2008), « N_2O Release from Agro-Biofuel Production Negates Global Warming Reduction by Replacing Fossil Fuels », *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, pp. 389-395. Disponible à l'adresse : *www.atmos-chem-phys.net/8/389/2008/acp-8-389-2008.pdf*.

Den Boer, L.C. et A. Schroten (2007), *Traffic Noise Reduction in Europe – Health Effects, Social Costs and Technical and Policy Options to Reduce Road and Rail Traffic Noise*, CE Delft, Delft, Pays-Bas, 2007.

Den Boer, L.C. *et al.* (2008), *STREAM – Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten*, CE Delft, Delft, Pays-Bas, 2008.

Eurostat (2006), *Statistics in Focus – Transports routiers de marchandises 1999-2004 : cabotage et transport avec des pays non membres de l'Union européenne*, Eurostat, 2006.

Eurostat (2007), *Railway Transport – Goods Transported, by Type of Transport*, Eurostat, 2007.

GIEC (2007a), *Quatrième rapport d'évaluation du GIEC*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

GIEC (2007b), *Quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Rapport du groupe de travail III « Mitigation of Climate Change »*, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

He, Kebin *et al.* (2005), « Oil Consumption and CO_2 emissions in China's Road Transport: Current Status, Future Trends, and Policy Implication », *Energy Policy*, 22 (2005) 1499-1507.

Hendriksen, P. *et al.* (2003), *Evaluation of the Environmental Performance of Modern Passenger Cars Running on Petrol, Diesel, Automotive LPG and CNG*, TNO-report 03.OR.VM.055.1/PHE, TNO Automotive, Delft, Pays-Bas, 2003.

Jacobs, G.D. et Amy Aeron-Thomas (2000), *A Review of Global Road Accident Fatalities*. *www.transport-links.org/transport_links/filearea/publications/1_771_Pa3568.pdf*, site consulté le 27 mars 2008.

Klooster, Jeroen et Bettina Kampman (2006), *Dealing with Transport Emissions, An Emission Trading System for the Transport Sector: A Viable Solution?*, CE Delft, Delft, Pays-Bas, 2006.

Maibach, M. *et al.* (2008), *Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector* – Produced within the study *Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport* (IMPACT), CE Delft, Delft, Pays-Bas.

Ministère américain des transports (2006), *North American Freight Transportation – US Trade with Canada and Mexico*, ministère américain des transports, Washington DC, États-Unis, 2006.

Nielsen, Jens Buurgaard *et al.* (2005), *Tracks for Saving Energy – Energy Saving Optionsfor NS Reizigers*, CE Delft, Delft, Pays-Bas, 2005.

OCDE (2009), *L'atténuation du changement climatique. Que faire ?*, OCDE, Paris. Disponible à l'adresse : *www.oecd.org/dataoecd/31/55/41751042.pdf*.

OMS (2007), *Estimated Deaths and DALYs Attributable to Selected Environmental Risk Factors, by WHO Member State*, 2002, *www.who.int/quantifying_ehimpacts/countryprofilesebd.xls*, site consulté le 25 mars 2008, Organisation mondiale de la santé (OMS), Département santé publique et environnement, janvier 2007.

Pischinger, R. *et al.* (1997), *Volkswirtschaftliche Kosten-Wirksamkeitsanalyse von Maßnahmen zur Reduktion der CO_2-Emissionen des Verkehrs in Österreich*, étude réalisée à la demande du ministère fédéral de l'environnement, Graz, Vienne, Linz, Autriche, 1997.

Pischinger, R. et S. Hausbergerm (1998), *Cost Effectiveness Study on Measures to Reduce CO_2-Emissions in the Transport Sector in Austria*; FISITA Congress Manuscript; Paris, septembre 1998.

Smokers, Richard *et al.* (2006), *Review and Analysis of the Reduction Potential and Costs of Technological and Other Measures to Reduce CO_2-emissions from Passenger Cars*, TNO report 06.OR.PT.040.2/RSM, Delft, Pays-Bas, 2006.

Smokers, R. et B. Kampman (2006), *Energy Efficiency in the Transport Sector*, Discussion paper prepared for the PEEREA Working Group on Energy Efficiency and Related Environmental Aspects, CE Delft, Delft, Pays-Bas, 2006.

Smokers, R. *et al.*, (2007), *State-of-the-Art CO_2* en *Mobiliteit*, CE Delft, Delft, 2007.

Sustainable Business (2008), *New Emissions Standards for Diesel Trains and Ships*, article publié sur : *www.sustainablebusiness.com/index.cfm/go/news.display/id/15589*, site consulté le 27 mars 2008.

Van Essen, H.P. *et al.* (2003), *To Shift or not Shift, That's the Question – The Environmental Performance of the Principal Modes of Freight and Passenger Transport in the Policy-making Context*, CE Delft, Delft, 2003.

Van Essen, H.P. *et al.* (2005), *Environmental Data and Policy on Non-road Transport Modes*, Document de travail destiné à l'Agence européenne pour l'environnement, CE Delft, Delft, 2003.

Van Essen, Huib (2008), *The environmental Impacts of Increased International road and Rail Freight Transport – Past Trends and Future Perspectives*, document préparé pour le Forum mondial OCDE/ITF sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008.

WWI (2006), *Biofuels for Transportation: Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century*, Worldwatch Institute, 2006.

Chapitre 9

Limitation des atteintes à l'environnement – Économie des mesures envisageables

par
Kurt van Dender, Philippe Crist, James J. Corbett et James Winebrake[1]

Le présent chapitre fait le point sur la lutte qui se mène aujourd'hui contre le changement climatique. Il veut montrer comment les émissions de CO_2 des transports sont susceptibles d'évoluer, dans l'hypothèse où il n'y aurait pas de variation prononcée des prix actuels de l'énergie, et traite de la situation des transports routiers, du transport maritime et de l'aviation eu égard aux émissions de CO_2.

Les transports exercent sur l'environnement et la santé des effets néfastes dont les plus importants sont la pollution locale et régionale de l'air, le changement climatique et le bruit. Le chapitre passe en revue, sans prétendre à l'exhaustivité, les mesures qui ont été ou pourraient être prises pour remédier à ces effets. Il met l'accent sur les transports internationaux qu'il définit comme étant des transports nés pour l'essentiel de la mondialisation des activités économiques plutôt que des transports simplement transfrontaliers au sens étroit du terme. Il s'attarde sur les transports de surface ainsi que sur les transports aériens et maritimes en mettant l'accent sur le changement climatique, les autres effets néfastes (dont le bruit des avions et la pollution locale et régionale causée par les navires) n'étant abordés que plus succinctement. Les mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre des transports sont évaluées dans le cadre d'un débat plus large sur les moyens de résoudre le problème des bénéficiaires indus. Une place assez importante est accordée à la réduction des émissions de CO_2 dans le transport routier, tandis que seuls quelques points concernant les transports maritimes et aériens sont mentionnés.

9.1. Introduction

Les transports routiers, maritimes et aériens – qui contribuent aux émissions mondiales de gaz à effet de serre – devraient connaître une croissance rapide. Nombreux sont ceux qui attendent dans le même temps des transports qu'ils contribuent à réduire les émissions de ces gaz à effet de serre. Le changement climatique est un mal public mondial, tandis que la réduction des gaz à effet de serre constitue en revanche un bien public mondial. L'absence d'autorité centrale capable de définir, d'imposer et de mettre en œuvre des politiques de lutte contre le changement climatique se fait nettement sentir dans l'action effectivement menée. Le Protocole de Kyoto est une tentative de faire progresser les choses en présence des contraintes de souveraineté nationale. Il a fait l'objet de vives critiques : sa portée est limitée, il privilégie les systèmes de plafonnement et d'échange plutôt qu'une taxe carbone, il est dépourvu de véritables mécanismes d'application et il vise essentiellement à réduire les émissions de CO_2 plutôt qu'à stimuler le développement et l'adoption de technologies sobres en carbone. Les autres stratégies possibles font appel à une participation plus large des pays et proposent parfois de confier le dispositif d'application à l'Organisation mondiale du commerce. Pour stimuler l'utilisation de technologies de substitution, il faut prévoir des mesures complémentaires destinées à pallier les insuffisances des marchés du développement et de la diffusion des technologies.

Le transport routier, grand producteur d'émissions de gaz à effet de serre, semble appelé à continuer à progresser. L'opportunité et la nature des mesures de lutte contre ces émissions à mettre en place dans le secteur des transport routiers posent quelques problèmes. L'Union européenne et les États-Unis ont adopté des politiques qui limitent la consommation d'énergie dans les transports, même si c'était pour d'autres raisons que la lutte contre le changement climatique. Quel effort supplémentaire de réduction devrait-on demander au transport routier ? Et alors, quels moyens utiliser ? L'analyse de ces questions fait une place particulière aux raisons qui pourraient justifier l'application de normes de consommation, en s'appliquant plus particulièrement à déterminer pourquoi le marché de la consommation de carburant n'est guère capable de favoriser la diffusion de technologies plus économes en énergie.

La part des transports maritimes et aériens dans les émissions totales est moins importante, mais elle a augmenté rapidement et pourrait continuer à le faire. Les transports maritimes et aériens ont été moins exposés que le transport routier aux mesures de réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. Cela donne à penser que les possibilités de réduction, dans le maritime et l'aérien, sont relativement peu coûteuses comparées au transport routier, mais le renouvellement de la flotte maritime et du parc aérien est lent, ce qui limite la diffusion des progrès technologiques disponibles. Les transports maritimes et aériens pourraient être intégrés à des systèmes d'échange de permis d'émission de carbone. Certaines études des conséquences de l'intégration du transport aérien dans les systèmes d'échange de permis d'émission apprennent que les mesures incitatrices sont de nature à favoriser la mise en

œuvre de mécanismes de réduction peu coûteux, ce qui est important étant donné que la technologie ne cesse de progresser. Ces mesures incitatrices stimulent en outre la recherche de systèmes peu coûteux. Les normes peuvent toutefois compléter utilement les mesures incitatrices dans certaines circonstances.

9.2. Changement climatique et mesures actuellement mises en œuvre pour y faire face

Le changement climatique pourrait se révéler très coûteux. Ses conséquences sont incertaines (Stern, 2006) et géographiquement diverses (Aldy, 2006). Il est très probable qu'il causera des dommages dans certaines régions, mais il pourrait aussi avoir des effets relativement bénéfiques dans d'autres. Le changement climatique pourrait par ailleurs rovoquer des dommages catastrophiques dont Weitzman (2009) juge que l'importance a été à ce jour sous-estimée dans beaucoup d'analyses économiques du changement climatique.

Le changement climatique est déterminé par le *stock* de gaz à effet de serre et, dans une moindre mesure, par le rythme de croissance de ce stock, dans lequel les émissions de gaz à effet de serre comptent pour beaucoup car leur dissipation est lente. Étant donné que le lieu d'où proviennent la plupart des émissions de gaz à effet de serre est sans importance, le changement climatique doit être considéré comme un mal public mondial, par opposition à la réduction des émissions, qui constitue un bien public mondial. Du fait qu'il n'existe aucune autorité mondiale capable d'imposer et de faire appliquer des mesures telles qu'une taxe carbone mondiale ou un système de plafonnement et d'échange de permis d'émissions, toute tentative d'élaborer une politique de réduction efficace se heurte inévitablement au problème des comportements opportunistes de certains pays ou groupes de pays qui bénéficient des efforts de réduction consentis par d'autres pays, ce qui a réduit les incitations de tous les pays à réduire leurs émissions.

Le défi du changement climatique a déclenché la mise en œuvre d'un large éventail de mesures. Certains pays, par exemple les pays scandinaves, ont introduit des taxes carbone[2]. Dans beaucoup de pays, des États, des villes, des entreprises et des universités ont pris diverses initiatives en vue de réduire les émissions. La principale réponse multilatérale au changement climatique est le Protocole de Kyoto. Ce Protocole, qui est entré en vigueur en 2005, oblige les pays qui y souscrivent à ramener leurs émissions à un niveau défini par rapport à celui d'une année de référence (réduction de 5.2 % par rapport au niveau de 1990 pour l'ensemble des pays industrialisés et de 8 % pour l'Union européenne). Dans le cadre du Protocole de Kyoto, l'Union européenne a mis en œuvre le système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre (SCEQE) pour réduire les coûts liés à la réalisation des objectifs en permettant des échanges de quotas d'émission. Ce système couvre près de la moitié des émissions totales de l'Union européenne, soit *grosso modo* 8 % des émissions mondiales en 2007. Les États-Unis se sont retirés du Protocole de Kyoto et les pays en développement n'y sont pas parties. La non-participation des États-Unis et la croissance rapide observée dans certains des pays non visés par le Protocole de Kyoto ont sensiblement réduit la portée de cet instrument. Dans sa forme originale, il couvrait près de 65 % des émissions mondiales de 1990, alors que sa portée effective n'est aujourd'hui que d'environ 32 %. Si l'Union européenne atteint les objectifs de Kyoto, les émissions mondiales devraient être en 2010 de 26 % supérieures à leur niveau de 1990, alors que l'augmentation serait de 27.5 % si les choses allaient librement leur cours.

Par rapport à un scénario où les politiques resteraient inchangées, le Protocole de Kyoto ne contribue que de façon limitée à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'approche globale qui le sous-tend a également suscité diverses critiques, qui donnent à penser que le Protocole ne constituerait pas l'architecture de base idéale pour mettre en place des institutions de gestion du changement climatique plus complètes à l'avenir. Trois de ces critiques sont brièvement évoquées ci-dessous.

Premièrement, l'approche Kyoto a été décrite comme « étroite et profonde ». La part des émissions mondiales couverte par le Protocole est relativement limitée et les sources visées devront faire l'objet de réductions importantes et coûteuses pour que les objectifs soient atteints, tandis qu'aucun effort n'est attendu des sources qui ne sont pas visées par le Protocole. Plusieurs observateurs, notamment Ellerman (2008), sont en faveur d'approches « larges et peu profondes ». Une portée large implique qu'à tout le moins les États-Unis soient partie à un accord, en raison de la part importante des émissions mondiales dont ils sont à l'origine et parce que les pays en développement ne seront guère incités à adhérer à l'accord en l'absence des États-Unis (Aldy *et al.*, 2008)[3]. Pour accroître les chances de coopération, il faut un mécanisme d'application et de sanction. Selon Stiglitz (2006), un pays qui n'applique pas une forme ou une autre de tarification des gaz à effet de serre subventionne en fait la production à forte intensité de carbone et pourrait donc être sanctionné selon les dispositions de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), si tant est que l'OMC soit disposée à assumer cette fonction. Les pays en développement doivent également être associés à un accord, bien que les efforts attendus d'eux puissent être relativement modestes initialement. L'idée est qu'un système large, mais peu profond peut graduellement évoluer vers un système plus profond.

Deuxième critique, beaucoup estiment que le système de plafonnement et d'échange adopté dans l'Union européenne et qui sera peut-être adopté par les États-Unis est moins efficace qu'un système de taxation du carbone. Selon Nordhaus (2007), une taxe carbone harmonisée à *l'échelle mondiale* donnerait de meilleurs résultats qu'un système de plafonnement et d'échange, car la taxe permettrait d'éviter la difficulté de décider des niveaux d'émissions de référence, ne créerait pas de rente et par conséquent n'encouragerait pas des comportements coûteux de recherche de rente (voir également Stiglitz, 2006). Une taxe serait également mieux adaptée à l'incertitude des coûts de réduction, étant donné que les avantages marginaux de la réduction sont très élastiques (la réduction étant définie par rapport aux émissions, tandis que l'impact dépend du stock de gaz à effet de serre). En outre, contrairement aux permis fondés sur des droits acquis, les taxes génèrent des recettes publiques appréciables. Aldy *et al.* (2008) font remarquer que les systèmes de plafonnement et d'échange peuvent être modifiés pour améliorer leurs résultats par rapport à la formule des taxes (en mettant les permis aux enchères, en introduisant des soupapes de sécurité, en permettant la réaffectation des permis dans le temps, etc.), de sorte que la différence pratique entre les « bons » systèmes de plafonnement et d'échange et les mécanismes fiscaux n'est en définitive guère importante[4].

Le niveau de la taxe ou le prix du permis peuvent être déterminés à l'aide d'estimations des dommages marginaux ou par rapport à un objectif de concentration de CO_2 dans l'atmosphère. Aldy *et al.* (2008) affirment que si les dommages marginaux se chiffrent à 10 USD par tonne de CO_2 (36.7 USD par tonne de carbone), le prix de l'essence augmenterait aux États-Unis de 0.09 USD par gallon (0.023 USD par litre). Par ailleurs, dans le rapport Stern, qui chiffre le coût des dommages marginaux à environ 85 USD par tonne de CO_2, la variation de prix doit être multipliée par 8.5, si ces chiffres plus élevés sont tenus

pour être importants. Un objectif de concentration atmosphérique de 450 parties par million est censé correspondre à une hausse de la température de la planète d'environ 2°C et exige une tarification carbone analogue à celle préconisée dans le rapport Stern. À un prix de 10 USD par tonne de CO_2 correspondraient des concentrations de 550 à 650 parties par million (soit une hausse de température de 3 à 3.6°C)[5].

Si le prix du carbone doit être fixé par un processus descendant, il faut mettre en place un mécanisme mondial de gestion et de sanction. Aldy *et al.* (2008) pensent que l'OMC est l'instance la mieux à même d'héberger un tel mécanisme, si tant est qu'elle y soit disposée. L'une des principales tâches de l'administration serait de surveiller « l'accompagnement budgétaire », c'est-à-dire les efforts déployés par les pays pour réduire la taxe carbone effective en modifiant légèrement d'autres dispositions de leur régime fiscal. Le problème du calcul des « taxes carbone effectives » serait très important dans le secteur des transports (voir ci-après). Il est loin cependant d'être évident qu'une approche descendante multilatérale permettra d'améliorer la coordination multilatérale des efforts de réduction des gaz à effet de serre. Un autre scénario possible serait que les États-Unis introduisent leur propre système de plafonnement et d'échange (Meckling, 2008, analyse l'évolution de la position des groupes de pression professionnels), tandis que l'Union européenne maintient son système d'échange de quotas d'émissions (SCEQE) et le durcit progressivement en fixant des plafonds plus stricts et en mettant les permis aux enchères. Des systèmes d'échange distincts pourraient ultérieurement être fusionnés pour en accroître l'efficacité.

Les transports aériens et maritimes internationaux ne ressortissent pas au Protocole de Kyoto, qui demande toutefois que l'OACI et l'OMI élaborent des règles applicables à ces secteurs. Il convient toutefois de souligner que l'approche Kyoto est faite de responsabilités communes, mais différenciées (en ce sens que les efforts demandés aux pays riches sont plus importants) alors que l'OACI et l'OMI n'ont pas cette tradition de différenciation. Ces organisations se trouvent de ce fait ralenties dans leur travail de réglementation, de telle sorte que d'autres institutions (notamment l'Union européenne) en viennent à appliquer (dans le cas du transport aérien) ou menacent d'appliquer (dans le cas du transport maritime) diverses mesures aux transports maritimes et aériens internationaux. Une approche graduelle, limitant dans un premier temps les efforts demandés aux pays qui ne figurent pas dans l'Annexe 1, pourrait bien être ici aussi la meilleure façon de faire avancer les choses. Kågeson (2009) se demande à quoi cette approche graduelle pourrait bien ressembler.

Ellerman (2008) souligne l'importance des avantages de club pour qu'un système de plafonnement et d'échange soit réalisable : la Commission européenne a réussi à obtenir l'adhésion de nouveaux États membres à son système d'échange parce que le coût de cette adhésion était dilué dans un ensemble plus vaste de coûts et, surtout, d'avantages liés à l'adhésion à l'Union européenne. On peut imaginer que les États-Unis (dont la structure fédérale est plus forte que celle de l'Union européenne) obligent les différents États fédérés à adhérer à un système national d'échange de permis d'émissions de carbone pour pouvoir continuer à bénéficier des avantages de club. À l'échelle mondiale, les avantages de club s'apparentent principalement à ceux offerts par l'OMC (Stiglitz, 2006).

Une approche montante laissera vraisemblablement apparaître des différences entre les systèmes d'échange qui seront mis en œuvre. Par exemple, le SCEQE n'englobe pas les transports et il est peu vraisemblable qu'il inclue le transport routier à brève échéance. En

revanche, un système américain pourrait très bien inclure d'emblée les transports (Ellerman *et al.*, 2006). Quoi qu'il en soit, la relation entre les politiques actuelles des transports et les systèmes de tarification carbone mérite un examen minutieux, qui fera l'objet de la section 9.4.

La troisième critique adressée à l'approche Kyoto est que son champ d'action – essentiellement la réduction des gaz à effet de serre et en particulier du CO_2 – est trop étroit. Barrett (2007), par exemple, préconise une approche plus large englobant l'adaptation, des incitations au développement technologique ainsi que le développement et la mise en commun des connaissances. Aldy *et al.* (2008) et Newell (2008) s'accordent à penser que le rendement social de l'innovation et de la diffusion des technologies sont plus importants que le rendement privé et que cela justifie par conséquent l'intervention des pouvoirs publics. Une stratégie possible consisterait à porter les prix du carbone à un niveau supérieur aux dommages marginaux, mais cette stratégie pourrait être insuffisamment ciblée. Notre compréhension économique de l'efficacité des politiques est limitée, surtout lorsqu'il s'agit de changement technologique porteur de transformations. Certains prétendent que les incitations financières ne sont pas assez puissantes pour assurer l'adoption d'autres technologies, de sorte qu'il pourrait devenir souhaitable d'instaurer des normes. Tel peut être le cas, par exemple, lorsque l'utilisateur final attribue à l'amélioration de son efficacité énergétique une faible (ou trop faible) valeur, comme on prétend que c'est souvent le cas sur le marché des voitures particulières. La question est examinée plus avant dans la section suivante.

En résumé, c'est vraisemblablement selon une démarche ascendante, à partir de l'émergence graduelle de systèmes régionaux adaptés aux circonstances locales, que l'on pourra progresser vers la mise en place de grands systèmes de gestion du changement climatique. Il se peut donc que le secteur des transports fasse l'objet d'un traitement différent selon les modes. Ce type de processus peut poser comme problème que les pays peu enclins à payer pour réduire leurs émissions ne seraient guère incités à y adhérer. Le progrès technologique revêt une importance primordiale dans la lutte contre le changement climatique. Cela vaut pour les transports au moins autant que pour les autres secteurs. Les stratégies axées sur la réduction de l'intensité de carbone des transports méritent donc une grande attention. Le défi pour le secteur est énorme, comme on pourra le voir clairement dans la prochaine section.

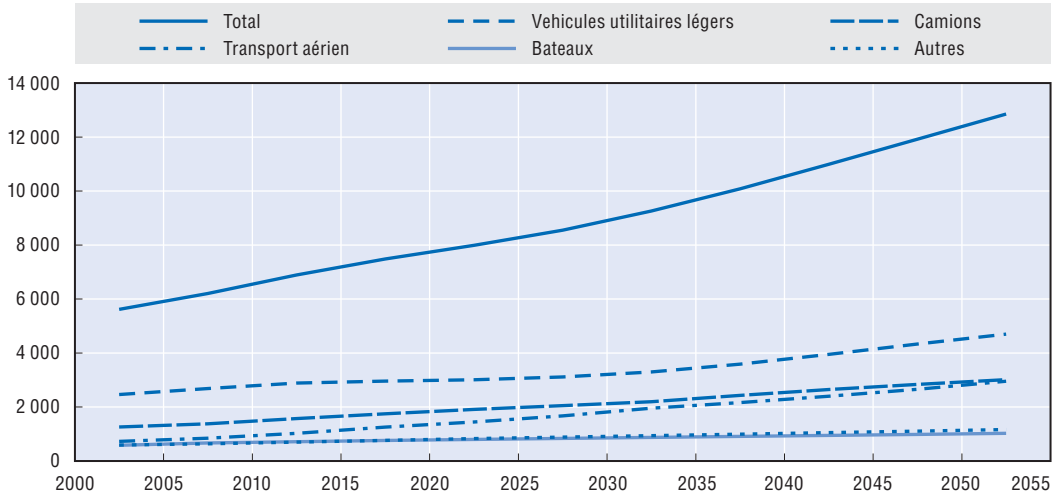
9.3. Transports et émissions de CO_2 : dans quel sens va la demande?

Le FIT a publié ses premières « perspectives » en 2008. Ces perspectives se fondent sur le modèle « MoMo » que l'AIE/ETP utilisent pour projeter l'incidence de différents scénarios d'évolution de la demande sur les émissions de CO_2 du transport routier. Le scénario de maintien du *statu quo* du FIT est le même que le scénario de référence des perspectives 2008 de l'AIE. Le graphique 9.1 illustre un résultat du modèle qui ne manque pas d'intérêt, à savoir les émissions de CO_2 du réservoir à la roue, en millions de tonnes d'équivalent CO_2, entre 2000 et 2050[6]. Elle indique l'évolution des émissions des différents modes de transport contenus dans le modèle MoMo. La section 9.4 met l'accent sur les émissions des *véhicules utilitaires légers*. Ce choix se justifie par la part importante de ces émissions dans le total, mais il est clair que les émissions du transport aérien devraient progresser plus rapidement que celles de cette catégorie de véhicule. La politique concernant les émissions aéronautiques est brièvement examinée dans la section 9.6. Les émissions des autres modes, y compris le transport maritime, devraient également aller en augmentant. En

outre, il est probable que le scénario de *statu quo* sous-estime les émissions du transport maritime (voir section 9.5). Le tableau 9.1 détaille la composition du modèle des émissions mondiales de véhicules.

Graphique 9.1. **Émissions de CO_2 du réservoir à la roue, au niveau mondial**

Scénario de maintien du *statu quo*, 2000-2050, en millions de tonnes d'équivalent CO_2



Source : Calculs du FIT, d'après la version 2008 du modèle MoMo de l'AIE.

Tableau 9.1. **Parts modales des émissions de CO_2 des véhicules dans le monde, maintien du *statu quo*, 2000-2050, en pourcentage**

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Trains march. + voyageurs	2.1	2.2	2.3	2.5	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0
Autocars	6.8	6.3	5.7	5.4	5.2	4.9	4.6	4.3	4.1	3.8	3.6
Avions	12.9	13.5	14.8	16.8	18.1	19.5	21.1	21.5	21.8	22.3	23.0
Camions	22.4	22.2	22.8	23.4	23.9	24.0	23.7	24.1	24.1	23.8	23.4
Utilitaires légers	43.8	43.3	41.9	39.5	37.6	36.4	35.6	35.6	35.9	36.4	36.5
2-3 roues	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4
Bateaux	10.4	10.8	10.3	10.2	10.0	9.8	9.5	9.0	8.6	8.3	8.0
Total	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**

Source : Calculs du FIT, d'après la version 2008 du modèle MoMo de l'AIE.

Les émissions des véhicules utilitaires légers augmentent fortement à l'horizon du modèle : en 2050, elles sont pratiquement supérieures de 91 % à leur niveau de 2000. La croissance est modérée entre 2010 et 2030 et accélère par la suite. Les facteurs d'augmentation des émissions des utilitaires légers sont la taille du parc, l'intensité d'utilisation des véhicules et l'intensité carbone des sources d'énergie utilisées. La croissance du parc total est le facteur fondamental de l'augmentation du niveau d'émissions : les taux de motorisation mondiaux triplent, pour passer de 669.3 millions de véhicules en 2000 à 2029.9 millions de véhicules en 2050[7], cette progression étant essentiellement attribuable aux économies émergentes. La composition technologique du parc évolue. La part des véhicules à essence classiques devrait tomber de 87 % à 68 %, tandis que celle des véhicules diesel devrait passer de 12 % à 26 % et celle des véhicules

hybrides de 0.1 % à 4 %. On observe donc une évolution en faveur des technologies à moins forte intensité de carbone, mais pas de virage radical vers des technologies véritablement sobres en carbone.

Le profil d'émissions illustré à le graphique 9.1 dépend directement des hypothèses concernant la taille du parc de véhicules, l'utilisation des véhicules ainsi que leur technologie. Il convient de noter que le scénario de maintien du *statu quo* présenté correspond à la « tendance naturelle de la demande ». Autrement dit, il est tenu pour acquis que l'offre d'énergie est relativement élastique et que la forte croissance de la demande n'aboutit donc pas à de fortes hausses du prix de l'énergie des transports. Cette hypothèse ne va pas de soi, étant donné notamment l'inquiétude croissante qu'inspirent les contraintes du côté de l'offre et les prix élevés qui y font écho sur les marchés pétroliers, et dont on a pu constater récemment les effets sur la demande. En outre, l'augmentation du PIB fait augmenter la demande et la crise actuelle peut porter à penser que les hypothèses sur lesquelles le scénario du maintien du *statu quo* repose sont optimistes (voir note 6).

9.4. Transport routier[8]

Coût de la réduction des émissions

Pour décider comment ramener les émissions de gaz à effet de serre à un niveau pris comme objectif, on commencera en toute logique par les moyens les moins coûteux et l'on enchaînera avec des options de coût croissant jusqu'à ce que l'objectif soit atteint. Les modèles d'équilibre général plus ou moins détaillés utilisés pour déterminer les possibilités macroéconomiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre, leur coût et leur impact sur les émissions (Proost, 2008; Abrell, 2007) ont souvent amené à constater que l'effort « optimal » à accomplir dans le secteur des transports est faible par rapport à sa part des émissions totales.

La modicité de l'effort à accomplir dans le secteur des transports s'explique par le fait que la réduction des émissions y coûte cher en termes tant de technologie que de changement des comportements parce que 1) il existe peu de substituts à faible intensité de carbone à la technologie des moteurs classiques et que 2) les carburants ont été relativement chers (par rapport aux combustibles utilisés dans d'autres secteurs) dans de nombreuses régions du monde, essentiellement en raison d'une fiscalité relativement lourde. Les prix élevés des carburants ayant incité le marché à privilégier d'abord des options de réduction peu coûteuses, les réductions ultérieures seront plus onéreuses. La troisième raison tient au fait que l'intensité de carbone des carburants utilisés dans les transports est moindre que celle de *certains* autres combustibles, de sorte que les taxes carbone auraient moins d'effet sur les prix de l'énergie dans les transports que dans d'autres secteurs. Par exemple, en introduisant une taxe de 50 USD par tonne de carbone aux États-Unis, on augmenterait le prix du charbon d'environ 140 %, tandis que le prix de l'essence n'augmenterait que de 6 % (Parry, 2007), ce qui implique des incitations plus limitées en faveur de la réduction dans les transports.

Pour solides qu'ils soient, les arguments qui expliquent les coûts relativement élevés de la réduction des émissions dans les transports n'en sont pas moins contestés à plusieurs égards. Première objection, les hypothèses relatives au coût des technologies de substitution qui sont intégrées aux modèles d'équilibre général peuvent être trop élevées, car elles ne prennent pas en compte la baisse des coûts qui accompagne l'augmentation des niveaux de production. L'expérience apprend que les coûts, effectivement, diminuent

en général. Il est plausible, mais toutefois pas certain, que cela soit vrai également pour les technologies de substitution comme les accumulateurs, etc. Autre objection, les arguments expliquant les coûts plus élevés dans le secteur des transports sont en partie empiriques, mais sont également en partie fondés sur l'inférence économique : une réduction plus forte dans les transports « doit » être relativement coûteuse parce que l'énergie était relativement chère dans le passé et que l'on n'a pas encore adopté de technologie de substitution. Cette inférence repose sur l'hypothèse que les marchés des transports fonctionnent très bien, autrement dit que la totalité du potentiel technologique permettant d'améliorer le surplus est concrétisée. L'abandon de cette hypothèse modifie les résultats, comme nous le verrons ci-après pour le marché de la consommation de carburant.

Les normes de consommation de carburant sont-elles justifiées ?

La réduction de la consommation de carburant des voitures particulières est parfois considérée comme une solution dont l'utilité est incontestable, car les économies actualisées sur les dépenses de carburant priment sur les coûts lorsqu'on applique un taux d'actualisation privé standard. Il semble bien toutefois que les consommateurs situent le taux d'actualisation à un niveau très élevé quand ils se positionnent en matière de consommation de carburant, avec cette conséquence que les investissements en la matière restent limités. Turrentine et Kurani (2007) observent ainsi que les consommateurs comptent implicitement amortir leurs investissements en moyens de réduction de la consommation de carburant en trois ans, ce qui porte les taux implicites d'actualisation à un niveau élevé. Les études d'évaluation de l'impact du règlement sur la consommation de carburant que la Commission propose d'adopter (Union européenne, 2007) constatent que le taux d'actualisation qui compense le surcoût des véhicules par la diminution des coûts de carburant est d'environ 20 % et est donc nettement plus élevé que le taux privé courant[9]. Il ne faut pas tirer de cet état de fait des conclusions définitives, mais il est quand même permis d'en inférerqu'il existe des imperfections du marché qui vont au delà de la myopie du consommateur et justifient l'intervention de la puissance publique[10].

Pourquoi utiliserait-on des taux d'actualisation élevés dans les décisions concernant la consommation de carburant? L'un des arguments invoqués à cet égard est que les consommateurs n'accordent guère d'attention à la consommation parce qu'ils privilégient d'autres attributs de leur véhicule et que la part des coûts de carburant (et *a fortiori* l'importance des économies de carburant résultant d'une amélioration de la consommation) dans l'achat total et les coûts d'utilisation est faible. Étant donné l'effort qu'il faut consentir pour traiter l'information sur les économies que l'on peut attendre d'une réduction de la consommation de carburant, il est possible que les consommateurs ne se donnent guère la peine de procéder à un calcul détaillé. Les pouvoirs publics peuvent contourner ce problème en fournissant une meilleure information sur les économies que l'achat d'un véhicule plus économe en carburant permet de réaliser. Du point de vue de l'analyse, selon ce raisonnement, les consommateurs prennent des décisions erronnées en matière de consommation de carburant, mais cela ne veut pas dire qu'ils investissent systématiquement trop peu.

Greene *et al.* (2008) proposent un cadre qui implique une sous-évaluation systématique de la consommation par rapport au modèle théorique du consommateur cherchant à maximiser l'utilité. Ils montrent que les consommateurs qui font preuve d'aversion aux pertes[11] et n'ont pas de certitude quant aux facteurs qui optimisent la consommation de carburant investiront moins pour réduire leur consommation que les

consommateurs soucieux de maximiser leur bien-être[12]. Les facteurs d'incertitude qui influent sur les choix en matière de consommation de carburant sont notamment la différence entre consommation effective et consommation annoncée, la durée de vie du véhicule, l'intensité d'utilisation et les prix des carburants. Parmi ces facteurs, un calcul numérique calibré révèle que la faiblesse de l'investissement s'explique principalement par l'incertitude qui plane sur la consommation effective de carburant. Il montre également que l'impact de l'aversion aux pertes est sensible, puisque les économies attendues d'une amélioration de la consommation, qui sont chiffrées à 405 USD pour un consommateur soucieux de maximiser son bien-être, deviennent une perte de 32 USD s'il y a aversion aux pertes.

Greene *et al.* (2008) considèrent que la réticence des consommateurs à payer pour réduire la consommation de carburant incite les constructeurs automobiles à adopter des stratégies qui orientent la conception des véhicules vers des attributs plus attractifs sur le marché, comme la puissance et le confort. Cette réaction de l'offre fait que la consommation de carburant proposée est plus élevée que si l'aversion aux pertes était moins répandue chez les consommateurs. Un constructeur automobile ne sera guère incité à faire appel à la technologie pour améliorer la consommation de ses véhicules s'il n'a aucune certitude que les consommateurs voudront acheter son produit et ignore comment ses concurrents réagiront à la même situation. Une norme de consommation peut remédier à ce problème, car elle précise le niveau de performances qu'un constructeur et ses concurrents doivent atteindre.

L'argument concernant l'aversion aux pertes est probant. Il offre une assise théorique à la réticence des consommateurs à payer pour améliorer la consommation de leurs véhicules, démontre de façon convaincante que c'est cet aspect de demande que les constructeurs prennent en compte lorsqu'ils décident du niveau de consommation à proposer et qu'une norme est un bon moyen de s'assurer que les constructeurs s'écartent de cette courbe de la demande pour améliorer la consommation de leurs produits. Une norme est particulièrement justifiée lorsque les taxes sur les carburants sont faibles et les revenus élevés, ces deux facteurs exacerbant l'écart entre les aspirations des consommateurs, qui dictent les décisions du côté de l'offre, et les objectifs des pouvoirs publics en matière de consommation de carburant. Cet écart est considérable aux États-Unis et existe également en Europe. Il est raisonnable de penser, par exemple, que l'échec de l'accord volontaire de l'Union européenne sur la réduction des émissions de CO_2 des voitures particulières est dû en partie à l'absence d'une initiative des pouvoirs publics pour accompagner l'accord pendant une période de forte croissance économique et de baisse des prix des carburants, tout au moins dans les premières années.

Il n'est toutefois pas évident que l'aversion aux pertes constitue un motif d'intervention des pouvoirs publics, à moins de retenir explicitement comme la norme les effets hypothétiques qui se feraient sentir sur le marché en l'absence d'aversion aux pertes, au lieu de laisser les consommateurs optimiser leur bien-être en fonction de leurs préférences, qui sont influencées par l'aversion aux pertes. Toute une panoplie d'interventions pourrait ce faisant être remise en cause parce que l'aversion aux pertes n'est pas l'apanage de ce seul marché.

S'il n'est pas évident que l'aversion aux pertes justifie que l'on corrige une défaillance du marché de la consommation de carburant, on peut en revanche centrer aussi la réflexion sur l'efficacité par rapport au coût et se demander si l'aversion aux pertes et

l'incertitude pourraient influer sur le choix entre une réglementation quantitative et une stratégie tarifaire pour atteindre un objectif de réduction, selon quelques modalités qu'il ait été défini. L'aversion aux pertes et l'incertitude des consommateurs sont source d'incertitude chez les producteurs quant à l'ampleur de leur investissement dans l'amélioration de la consommation, de sorte que les niveaux de consommation traduisent des taux d'actualisation implicites élevés. Une stratégie tarifaire améliore le consentement des consommateurs à payer pour réduire leur consommation de carburant, mais n'agit pas sur leur attitude face à l'incertitude et par conséquent n'atténue pas non plus l'incertitude des constructeurs. Les pouvoirs publics ne savent par conséquent pas dans quelle mesure une approche fiscaliste peut susciter des investissements. S'ils accordent de l'importance à ces investissements, par exemple parce qu'ils estiment que leur politique pourra moins facilement être remise en cause par les futurs décideurs (Glazer et Lave, 1996; Barrett, 2005) ou parce qu'ils souhaitent stimuler la diffusion de nouvelles technologies (Aldy *et al.*, 2008), ils peuvent opter pour une stratégie quantitative plutôt que tarifaire, précisément parce que la stratégie quantitative réduit la flexibilité. Cette approche, dans laquelle les pouvoirs publics se préoccupent plutôt de la *voie à suivre* pour réduire la consommation de carburant dans les transports, peut justifier le choix d'une norme de consommation[13].

Compte tenu de ces arguments en faveur de l'application de normes de consommation, il semble que les normes existantes et proposées exigent des améliorations de la consommation plus importantes que ce que pourraient justifier les imperfections du marché. De fait, la rigueur des normes semble cohérente avec une stratégie qui s'appuie sur l'hypothèse que la technologie destinée à réduire la consommation de carburant est très bon marché ou qui attache implicitement une très grande valeur à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à l'amélioration de la sécurité énergétique, mais manque de vision claire des coûts imposés aux consommateurs. Les motivations possibles pour atteindre des objectifs ambitieux de réduction ont été mentionnées ci-dessus et Barrett (2005) a noté qu'il pourrait être nécessaire de stimuler l'adoption de technologies de substitution. Néanmoins, compte tenu des données dont on dispose actuellement, le message de base qui se dégage des analyses d'équilibre général de ce type demeure valide : les coûts de réduction des émissions dans les transports semblent relativement élevés.

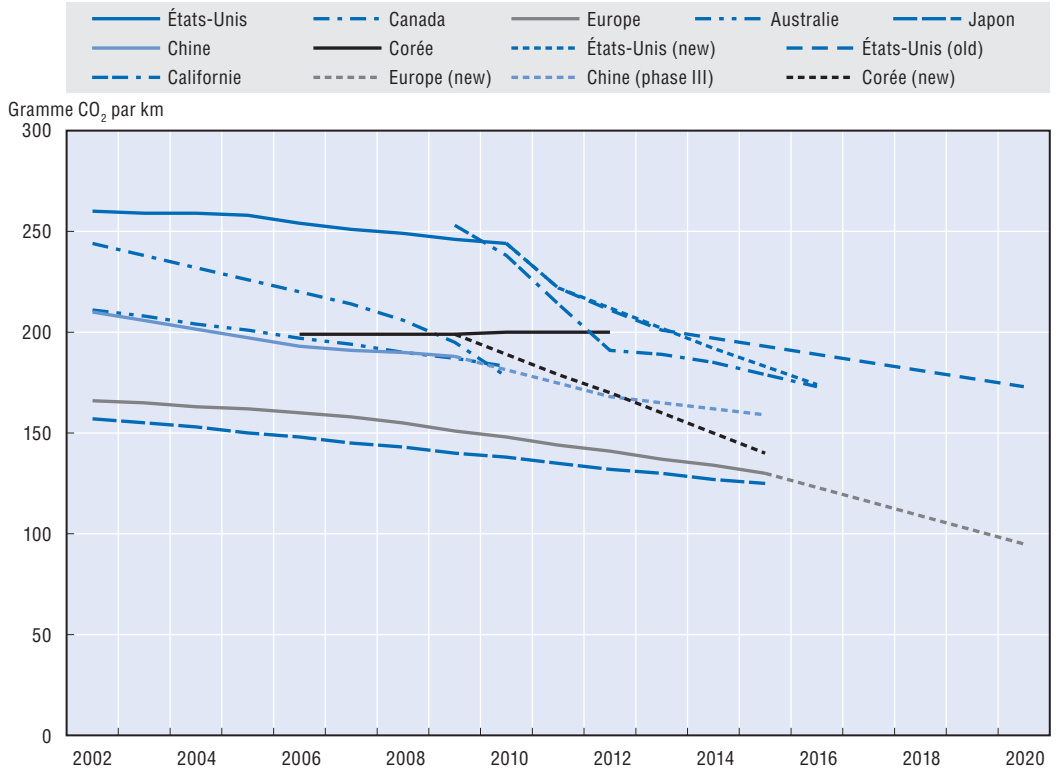
Malgré leur lien ténu avec les insuffisances du marché, les normes de consommation en vigueur et proposées ne peuvent pas stabiliser les émissions de CO_2 au niveau mondial dans le secteur des transports. Selon le CCRT (2008b), pour stabiliser les émissions en 2050 à leurs niveaux de 2010, il faudrait que la consommation moyenne du parc automobile soit de 3.5 l/100 km en 2050. Le graphique 9.2 compare les prescriptions de différentes normes de consommation à celles du nouveau cycle d'essais européen, en exprimant les émissions en grammes de CO_2 par km[14].

Changement climatique et autres coûts des transports

La présente section traite brièvement de l'importance relative des principaux coûts externes des transports en comparant les estimations de leur ordre de grandeur actuel présentées sous la forme de moyennes calculées sur un large éventail d'usagers. S'agissant des politiques de l'énergie et des transports, cette comparaison fournit certaines indications sur le degré de priorité à attribuer aux actions envisageables. Le tableau 9.2, tiré de Small et Van Dender (2007), rassemble des estimations des principaux coûts externes marginaux du transport routier de voyageurs et les classe selon qu'ils dépendent principalement de la consommation de carburant (changement climatique et dépendance

Graphique 9.2. **Comparaison de la consommation et des normes d'émissions de gaz à effet de serre**

Avec les prescriptions du nouveau cycle d'essais européen (grammes de CO_2 par km)



Sources : Données fournies par l'International Council on Clean Transportation, Feng An, l'Innovation Center for Energy and Transportation et le Forum international des transports.

à l'égard du pétrole) ou du nombre de véhicules/km parcourus. Aux fins de comparaison, les coûts externes liés au carburant sont convertis en coût marginal par véhicule/km sur la base de la consommation moyenne des véhicules de transport de voyageurs (soit 10.25 litres aux 100 km pour les États-Unis en 2005).

Les trois études citées dans le tableau 9.2 (exception faite de la dernière colonne) s'accordent à conclure que la congestion est presque toujours une externalité plus coûteuse que les externalités liées au carburant et qu'il en va de même de la pollution atmosphérique et des accidents, sauf si les coûts se chiffrent aux niveaux « bas » de Harrington et McConnell. Si l'on utilise les chiffres plus élevés concernant le carburant dans la dernière colonne du tableau, le tableau change quelque peu, bien que même dans ce cas, les externalités liées au carburant ne priment pas les autres externalités. On peut toutefois s'interroger sur la validité des moyennes indiquées dans le tableau pour guider l'action des pouvoirs publics. S'agissant du changement climatique, le principal problème est la très grande incertitude, déjà mentionnée et soulignée par Weitzman (2007). En ce qui concerne la sécurité énergétique, l'argumentation qui sous-tend les chiffres n'est pas entièrement convaincante (voir Small et Van Dender (2007) pour en savoir davantage).

Les mesures les plus efficaces concernant les externalités liées au carburant et celles liées à la distance sont très différentes. L'augmentation du prix des carburants induit une

Tableau 9.2. **Coûts externes marginaux de l'automobile**

En cents USD/mille, prix de 2005

	Harrington-McConnell (États-Unis et Europe)		Sansom *et al.* (Royaume-Uni)		Parry *et al.* (États-Unis)	Coûts liés au carburant[1] (États-Unis)
	hypothèse basse	hypothèse haute	hypothèse basse	hypothèse haute		
Coûts liés au carburant :						
Changement climatique	0.3	1.2	0.5	2.0	0.3	3.7
Dépendance à lrsquorégard du pétrole	1.6	2.7	n.a.	n.a.	0.6	2.4
Coûts liés à la conduite :						
Congestion	4.2	15.8	31.0	35.7	5.0	5.0
Pollution de lrsquorair	1.1	14.8	1.1	5.4	2.0	2.0
Bruit, pollution de lrsquoreau	0.2	9.5	0.1	2.5	n.a.	n.a.
Accidents	1.1	10.5	2.6	4.5	3.0	3.0
Total	**6.6**	**50.6**	**35.3**	**50.1**	**10.9**	**16.1**
Coûts liés au carburant, en pourcentage	22	7	1	4	8	38

« n.a. » veut dire qu'on ne dispose pas d'estimation, parce que la quantité est faible. Les coûts liés au carburant ont fait l'objet d'une conversion coût par gallon/coût par mille sur la base de la consommation moyenne actuelle.

1. Coûts liés au carburant : identique à Parry *et al.*, sauf en ce qui concerne le changement climatique (0.76 USD/gal, d'après Stern 2005) et la dépendance à l'égard du pétrole (0.55 USD/gal, d'après le chiffre haut dans Leiby (2007), tableau 1. Tous les chiffres sont convertis en USD de 2005.

Source : Harrington et McConnell (2003); Sansom *et al.* (2001); Parry, Walls et Harrington (2007).

réduction de la distance parcourue, mais également, et de plus en plus, une réduction de la consommation (Small et Van Dender, 2007). Autrement dit, une taxe sur le carburant n'est pas un instrument très efficace pour traiter les externalités liées à la distance parcourue et une taxe assisse sur la distance parcourue donnerait de bien meilleurs résultats (Parry et Small, 2005, le prouvent par des chiffres). L'instauration d'une taxe liée à la distance pour traiter une externalité liée au carburant, comme le réchauffement de la planète, ne susciterait goutefois pas l'une des plus importantes réactions nécessaires, à savoir la réduction de la consommation des véhicules. En outre, bien qu'elle soit préférable à une taxe sur les carburants, une taxe assise sur la distance n'est pas idéale pour lutter contre la congestion, qui varie beaucoup dans le temps et dans l'espace. Il y a tout lieu de croire que l'imposition d'une tarification ciblée de la congestion (c'est-à-dire une tarification qui varierait en fonction de l'heure et du lieu) induirait une vaste réorganisation des déplacements entre les périodes horaires, les modes et les itinéraires, mais réduirait beaucoup moins globalement le nombre de déplacements. Par conséquent, les mesures les plus efficaces viseraient à modifier ainsi la configuration des déplacements plutôt qu'à simplement en réduire le nombre.

Le coût du changement climatique calculé par Parry *et al.* (2007), indiqué dans l'avant-dernière colonne du tableau 9.2, est fondé sur une estimation des dommages de 25 USD par tonne de carbone, aux prix de 2005, chiffre que l'on retrouve dans plusieurs ouvrages (par exemple Tol, 2005), mais qui est moindre que celui cité par Stern (2006). Le coût marginal des dommages causés par les émissions de carbone est cependant très incertain.

Weitzman (2007) explique de façon convaincante pourquoi les estimations des dommages marginaux devraient aller au delà de celles sur lesquelles le tableau 9.2 repose implicitement. À son avis, le problème le plus important est celui de l'incertitude qui plane sur les perspectives et les conséquences de phénomènes peu probables, mais susceptibles

de causer des dommages d'une ampleur extrême liés au changement climatique. L'analyse coûts/avantages classique ne tient généralement pas explicitement compte de ces phénomènes, mais les fait intervenir implicitement par le biais du taux d'amortissement. Weitzman (2009) a tenté de faire une place au traitement explicite d'événements extrêmes (extrêmes dans leur probabilité comme dans leurs conséquences). Le cadre qu'il propose pour remédier à l'incertitude structurelle avance des arguments beaucoup plus solides en faveur de mesures visant à atténuer rapidement le phénomène du changement climatique que dans le modèle traditionnel.

Pour le secteur des transports, cela veut dire qu'il sera plus pratique de formuler des politiques en termes d'efficacité par rapport au coût qu'en termes d'imperfection du marché des transports. Au même titre que d'ambitieux objectifs de réduction des émissions, la décarbonisation faisant appel à des technologies de substitution devrait faire partie d'une stratégie à long terme. La recherche et le développement ne se concrétiseront que si les pouvoirs publics prennent l'engagement ferme d'atteindre les objectifs de lutte contre le changement climatique. Le financement public de la recherche est justifié dans la mesure où le rendement social est supérieur au rendement privé et où l'engagement des pouvoirs publics demeure incertain (Newell, 2008).

Les estimations des dommages illustrées dans le tableau 9.2 aident à guider la politique des transports vers la prise en compte des externalités liées à la conduite. Pour que la politique énergétique puisse contribuer à la lutte contre le changement climatique, la grande incertitude sur les impacts justifie l'adoption de mesures destinées à réduire les émissions de carbone, y compris sans doute dans les transports. Une norme de consommation de carburant peut être considérée comme l'un des éléments d'une telle stratégie dans la mesure où elle aide à maîtriser la croissance prévue des émissions. Des objectifs de réduction plus ambitieux nécessitent la mise en œuvre à grande échelle de technologies de substitution. Il peut se justifier de stimuler le développement et l'utilisation de ces technologies, mais il pourrait être difficile de justifier des profondes modifications de l'activité de transport en excipant de la lutte contre le changement climatique. Une stratégie « idéale » de maîtrise de la consommation d'énergie ne réduira vraisemblablement pas de beaucoup les déplacements motorisés, mais portera surtout ses fruits par le biais de changements technologiques expressément axés sur les économies d'énergie, essentiellement par utilisation de véhicules plus économes en carburant et de carburants de substitution. En choisissant des solutions technologiques quand cela est possible, les consommateurs éviteront des changements de comportement (choix du mode de transport, habitudes de déplacement, lieu de domicile et de travail) qui sont évidemment plus coûteux pour eux. La lutte contre la congestion peut agir sur la structure de la mobilité et contribuer ainsi à réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais probablement pas suffisamment pour atteindre des objectifs ambitieux.

Transport routier et systèmes de plafonnement et d'échange

Le transport routier est soumis dans de nombreux pays à des règles qui visent à réduire la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre. L'Union européenne, par exemple, a des taxes élevées sur le carburant et a adopté récemment des normes de consommation. Les États-Unis taxent moins lourdement les carburants, mais ont des normes de consommation moyenne de carburant par constructeur contraignantes depuis des décennies[15]. Comment de telles mesures déjà en place peuvent-elles être prises en compte dans l'élaboration d'un système de plafonnement et d'échange plus large ?

Pour commencer, on peut calculer le prix du carbone qui est implicite dans les politiques actuelles concernant le transport routier. Par exemple, Ellerman *et al.* (2006) ont calculé que les normes américaines de consommation moyenne par constructeur reviennent à faire payer le carbone de 90 à 110 USD la tonne. Les taxes sur les carburants de l'Union européenne le font payer beaucoup plus cher, à des prix qui dépassent ce que l'on attendrait d'un régime de plafonnement et d'échange, et devraient donc générer des gains d'efficience si le transport routier étaient soumis à ce régime (qui vise à minimiser le coût des réductions en imputant des coûts marginaux égaux à toutes les branches d'activité). L'Union européenne a toutefois décidé de ne pas inclure le transport routier dans le champ d'application de son système d'échange de quotas d'émission. Ellerman *et al.* (2006) proposent d'inclure le transport routier dans tout futur système d'échange de permis d'émission de carbone, en raison des gains d'efficacité potentiels que l'on peut en attendre.

L'un des problèmes que pourrait poser ce calcul est que les politiques actuelles ne sont pas axées uniquement sur les externalités du changement climatique. Ainsi, aux États-Unis, les normes de consommation moyenne par constructeur ont été introduites dans une optique de sécurité énergétique et les justifications relatives au changement climatique ne sont apparues que plus tard. Dans l'Union européenne, le niveau des taxes sur les carburants est déterminé par de nombreux facteurs, dont le plus important est bien le fait qu'elles sont considérées comme une source assez efficace de moyens de financement des dépenses publiques générales. Les taxes américaines (et japonaises) sur les carburants sont moins élevées et leur produit est en grande partie affecté au financement des infrastructures routières. La comparaison des coûts de la sécurité énergétique et du changement climatique donne toutefois à penser que les taxes américaines actuelles sur les carburants sont suffisamment élevées pour couvrir ces externalités, si la valeur attribuée aux dommages causés par le carbone reste modérée. Avant de décider des modifications à apporter à une taxe pour en faire un instrument de lutte contre le changement climatique (si elle ne l'était pas déjà auparavant), il importe de clairement définir quels coûts externes une taxe sur les carburants (ou une norme de consommation) est censée viser et dans quelle mesure elle constitue un instrument budgétaire. Parry et Small (2005) partent de l'hypothèse que des taxes sur les carburants constituent une solution de second rang pour lutter contre la pollution locale et planétaire ainsi que pour compenser les coûts externes marginaux moyens de la congestion et sont d'avis que les taxes américaines actuelles devraient être *grosso modo* doublées tandis que celles du Royaume-Uni devraient être réduites de moitié pour correspondre à une solution de second rang. Les coûts de congestion constituent la principale composante de la taxe. Si la congestion peut faire l'objet d'un instrument distinct (le cas échéant), les taxes tant américaines que britanniques sur les carburants seraient plus basses qu'actuellement. Sansom *et al.* (2001) estiment que les taxes britanniques par véhicule/kilomètre ne couvrent pas les coûts marginaux sociaux. Cette assertion s'écarte de ce qu'affirment Parry et Small (2005), mais les deux collectifs d'auteurs sont d'accord pour conclure que la congestion est le composant principal du coût marginal. Les taxes britanniques couvrent *grosso modo* les coûts marginaux si la congestion n'est pas prise en compte dans leur calcul (Sansom *et al.*, 2001, tableau B). Le changement climatique est beaucoup moins important, étant donné les hypothèses quant aux dommages marginaux.

9.5. Transport maritime

Émissions de CO_2

Buhaug *et al.* (2008) estiment que le nombre total de tonnes/kilomètree augmentera de 30 à 46 % d'ici 2020 et de 150 à 300 % d'ici 2050. Le transport de conteneurs devrait croître beaucoup plus encore, soit de 65 à 95 % d'ici 2020 et de 425 à 800 % d'ici 2050. Cette croissance, si elle se concrétise, aura d'importantes implications en ce qui concerne la consommation de carburant et les émissions de CO_2 étant donné que les porte-conteneurs sont dotés de moteurs plus puissants et naviguent à des vitesses plus élevées que la plupart des autres navires.

Les projections de l'OMI partent de l'hypothèse que la consommation s'améliorera avec l'évolution de la taille moyenne des navires (les grands navires sont, là où leur utilisation se justifie d'un point de vue commercial, plus économes en carburant à des facteurs de charge constants que les petits), l'évolution de la vitesse (la consommation des navires a été estimée en établissant un rapport à la troisième puissance entre la vitesse et la puissance des moteurs) et les améliorations techniques dont bénéficient les nouveaux navires. Les projections de base de l'OMI reposent sur l'hypothèse que la réglementation de l'augmentation des émissions de CO_2 ou de la consommation de carburant ne sera pas modifiée et que l'évolution de la consommation (attribuable à la conception ou à l'exploitation des navires) devrait procéder d'améliorations qui sont rentables dans l'état actuel des prix du pétrole et des impératifs commerciaux.

L'OMI évalue également la réduction des émissions que l'on pourrait attendre d'améliorations technologiques et conclut que malgré des améliorations sensibles de l'efficacité énergétique (néanmoins diffusées lentement à l'échelle de la flotte), les émissions de CO_2 du transport maritime international augmenteront de 10 à 26 % d'ici 2020 et de 126 à 218 % d'ici 2050 dans l'hypothèse de base. La mise en œuvre du plus grand nombre possible de moyens de réduction de la consommation, la réduction sensible de la vitesse et l'utilisation de façon plus intensive de combustibles à faible teneur en carbone pourraient stabiliser, voire légèrement réduire les émissions de CO_2 du transport maritime international (estimation basse), mais une telle évolution est peu probable sans des transformations et des interventions de grande ampleur.

L'analyse économique des stratégies de réduction dans le transport maritime se heurte à la pauvreté de l'information dont on dispose sur les coûts de réduction, mais il est néanmoins possible de formuler certaines observations à cet égard.

- Premièrement, si les coûts de réduction des émissions de CO_2 sont comparables à ceux des émissions de NO_x et de SO_x, les coûts de réduction sont alors plus bas dans le transport maritime que dans les autres modes de transport.
- Deuxièmement, la modification des stratégies d'exploitation – essentiellement la réduction de la vitesse – constitue l'option à court terme la plus facile. Réduire la vitesse est coûteux, car la chaîne d'approvisionnement s'en trouve ralentie, mais ces coûts peuvent être limités dans la mesure où la fiabilité peut revêtir autant d'importance que la rapidité. En outre, les coûts d'opportunité liés à la tenue de stocks, qui sont inversement corrélés à la vitesse, diminuent lorsque les conditions économiques globales sont moins favorables (la navigation à vitesse réduite est une des réponses possibles à la surcapacité). À long terme, la diffusion de l'innovation technologique par le biais du renouvellement de la flotte peut contribuer à réduire les émissions. Cependant, le renouvellement dans ce secteur est lent et le risque de transfert

d'émissions est important (déploiement des navires moins efficaces sur le plan énergétique dans des régions où la réglementation est plus tolérante, voire inexistante) dans la mesure où la réglementation est géographiquement restreinte. La réduction des émissions de l'aviation soulève le même genre de questions.

- Troisièmement, si les choix opérés en matière de consommation de combustible dans le transport maritime sont, comme on peut s'y attendre, optimaux au moins dans l'optique d'une maximisation des profits, le fait que l'incidence du coût des combustibles soit étroitement dépendante des stipulations des contrats de transport maritime[16] crée des problèmes « principal-agent » qui faussent les choix en matière de consommation de combustible. Ce problème se pose toutefois avec moins d'acuité sur les marchés du transport de conteneurs.

Les perspectives d'action multilatérale axées sur les émissions du transport maritime ne sont pas simples (Kågeson, 2009). L'OMI est confrontée à des difficultés, car les pays qui ne sont pas liés par l'annexe 1 du Protocole de Kyoto militent en faveur de mesures de la part des pays qui le sont, tandis que ces derniers préconisent plutôt des initiatives multilatérales plus larges. Si les progrès accomplis par l'OMI restent insatisfaisants, l'Union européenne pourrait décider d'agir de façon unilatérale, éventuellement en s'intégrant à un système d'échange régional ou en incorporant le transport maritime dans le SCEQE, tout en imposant la modulation des droits de port sur la base des émissions et en interdisant le dépassement d'indices CO_2 limites. Il est toutefois facile de contourner ces systèmes d'échange en faisant passer les marchandises par des plates-formes de transbordement.

Autres émissions

Les émissions des navires génèrent des gaz à effet de serre et contribuent en outre non seulement à la pollution locale de l'air dans les zones portuaires, mais aussi à la pollution régionale de l'air. Les soutages se constituent de combustibles résiduels saturés de contaminants et ne doivent pas être traités après leur combustion. Il s'en suit que les navires émettent davantage de soufre par tonne/kilomètre produite que les autres modes de transport (Wang et Corbett, 2007). L'utilisation de combustibles de meilleure qualité permettrait de réduire les émissions par unité de combustible brûlée et l'Organisation maritime internationale réglemente la teneur en soufre des combustibles. Elle plafonne les émissions de SO_x à des niveaux qui baissent au fil du temps et définit des zones de limitation des émissions sulfurées qui ressortissent à des normes plus restrictives (mer Baltique, mer du Nord et vraisemblablement, à l'avenir, d'autres zones dans des régions à hauts revenus)[17]. La teneur en soufre maximale autorisée est depuis 2005 de 4.5 % au niveau mondial, mais se réduit à 1.5 % dans les zones de limitation des émissions sulfurées. La teneur moyenne mondiale en soufre des carburants se chiffrait à 2.4 % en 2004. Wang et Corbett (2007) avancent que la transformation de la côte ouest des États-Unis en zone de limitation des émissions sulfurées est une opération qui rapporterait deux fois plus qu'elle ne coûte et que les avantages procurés par une réduction de la teneur en soufre maximale autorisée à 0.5 % seraient environ trois fois plus élevés que son coût (le facteur exact dépend de la taille de la zone de limitation des émissions sulfurées).

L'OMI réglemente les NO_x par le biais de son Code technique NO_x qui impose la certification des moteurs existants et le passage des moteurs installés après 2011 par un cycle normalisé d'essais. Les particules, en particulier les suies (black carbon), sont considérées comme étant un polluant important et un constituant des gaz à effet de serre,

mais ne font à ce jour pas l'objet d'une réglementation spécifique, même s'il est admis que l'utilisation d'autres combustibles et l'amélioration des performances des moteurs qui émettent peu de NO_x devraient réduire leurs émissions.

La contribution des navires à la pollution locale de l'air est importante dans certaines régions. La plupart des routes commerciales internationales restent proches des terres et les polluants se déplacent sur de longues distances. L'histoire déjà longue de la réglementation des émissions de différentes branches d'activité apprend que le coût de la réduction des émissions des navires pourrait être relativement faible. Il apparaît ainsi que pour la zone américano-canadienne de limitation des émissions sulfurées qu'il est envisagé de créer, le coût du respect des obligations qu'elle implique ne devrait pas excéder celui d'une réduction supplémentaire des émissions des sources terrestres. La réduction des émissions des navires est estimée coûter 2 600 USD par tonne de NO_x, 1 200 USD par tonne de SO_x et 17 000 USD par tonne de particules alors qu'il faut compter 2 700 USD par tonne de NO_x et 17 000 USD par tonne de particules dans le cas des camions à moteur diesel. Ces coûts font entrer en ligne de compte les surcoûts de raffinage ainsi que le coût du réglage des moteurs, des catalyseurs, des réducteurs de NO_x et du combustible supplémentaire. Ces coûts ne devraient pas fort affecter la demande parce que le transport maritime n'a guère de substituts et qu'ils ne majorent pas le coût d'un navire neuf de plus de 2 % et les coûts d'exploitation de plus de 3 %. Le coût du transport d'un conteneur pourrait augmenter d'environ 3 % (18 USD)[18].

Durabilité du système de transport intermodal de marchandises

Il semble probable que le transport maritime améliorera de plus en plus ses performances environnementales car il y est doublement incité. Premièrement, l'attention portée à la réglementation et à la défense de l'intérêt général feront peser des pressions externes sur le marché du transport maritime, du fait des actions menées au niveau territorial et international. Deuxièmement, le développement constant des méthodes de mesure des performances environnementales des chaînes logistiques multi-entreprises mondiales débouchera sur des incitations du marché à réduire la pollution due aux transports maritimes.

Angel *et al.* (2007) recensent trois aspects de la mondialisation et de la structure de l'économie mondiale : l'investissement étranger direct, le commerce international et les réseaux mondiaux d'entreprises, qui jouent le rôle de vecteurs de la production, des échanges et des investissements. Le premier joue un rôle fondamental dans les transports maritimes comme nous l'avons vu dans les parties du chapitre 3 relatives à l'évolution des conditions d'immatriculation des navires, aux régimes de propriété et au recrutement des marins. Le second aspect correspond à l'activité des transports maritimes mondiaux et le troisième aux compagnies internationales de navigation. En fait, nous observons que la conteneurisation en particulier favorise l'intégration verticale des entreprises dans la logistique internationale.

Les réglementations nationales et les accords territoriaux transfrontaliers (qui appliquent en fait à une région donnée des normes mondiales) tendent à céder le pas à des conventions mondiales visant à imposer aux chaînes logistiques internationales le respect de normes d'environnement définies en fonction des exigences de certains réseaux et régions. L'exemple récent le plus évident est celui de la révision de l'Annexe VI de MARPOL de l'Organisation maritime internationale.

De plus, les inquiétudes grandissantes suscitées par l'état de l'environnement de la planète (par ex. la biodiversité et le changement climatique) conduisent à s'intéresser de plus en plus aux pratiques industrielles, qu'elles soient sous le contrôle direct des entreprises internationales ou externalisées. L'idée que les secteurs industriels vont prendre des mesures pour répondre aux attentes du marché a favorisé la diffusion de normes et de pratiques nouvelles tout au long de la chaîne logistique internationale (Corbett et Kirsch, 2001; Corbett, 2005), dans le contexte de l'intégration mondiale des dimensions environnementales de la qualité des produits et des services (Pil et Rothenberg, 2003).

Le secteur des transports maritimes est tenu, comme d'autres secteurs d'envergure mondiale, de mieux protéger les ressources pour les générations futures et d'atténuer l'impact de ses activités sur les écosystèmes, le climat, les océans et la santé humaine. Il doit donc tenir compte des différents instruments d'adoption de normes, comme les traités internationaux, les réglementations nationales, les normes industrielles, les prescriptions négociées dans le cadre d'accords de tierces parties (organisations non gouvernementales ou ONG) et les associations professionnelles (Angel *et al*., 2007). Des normes adoptées au niveau des entreprises ou dans le cadre de tels accords existent pour d'autres secteurs d'activité, par exemple les « Energy Star ratings » aux États-Unis ou les normes ISO 9000; ISO 14000, etc. Pour les transports maritimes, les sociétés de classification ont élaboré des normes de gestion environnementale que certaines compagnies maritimes sont en train d'adopter (American Bureau of Shipping, 2005).

Un système durable de transport intermodal de marchandises est un système qui améliore la circulation des marchandises autour du globe d'une façon à la fois écologique, équitable et efficiente. Il requiert un fonctionnement harmonieux de l'ensemble des principaux modes actuels de transport de marchandises, à savoir les transports routiers, ferroviaires, fluviaux, maritimes et aériens ainsi que les oléoducs/gazoducs. Sa mise en place contraint aussi à opérer des arbitrages. Les exigences auxquelles le système de transport de marchandises doit répondre procèdent de la valeur que le consommateur attache aux matières premières et produits finis parce que cette valeur détermine souvent le choix du mode de transport. Dans la pratique, pour répondre aux exigences du consommateur, il faut arbitrer entre les différents facteurs qui entrent en ligne de compte, à savoir les coûts, les délais de livraison et la fiabilité. Les chargeurs choisissent leur mode de transport après avoir évalué, au terme d'un calcul compliqué, l'importance accordée par les clients à la rapidité de livraison des marchandises (et, partant, le prix qu'ils sont disposés à payer pour leur acheminement). Certains clients et entreprises sont disposés à payer davantage pour recevoir un article presque immédiatement et avec une grande fiabilité (dans ce cas, la préférence est généralement accordée au transport aérien ou routier) tandis que d'autres clients acceptent d'attendre afin de payer moins cher (auquel cas le choix se porte sur le transport ferroviaire ou maritime).

La réglementation suscite des craintes dans les milieux de la profession concernant son impact sur la compétitivité du transport par mer, comme le montrent les débats sur les périodes transitoires consenties pour la mise en conformité aux normes imposant le doublement des doubles, l'utilisation de combustibles moins polluants et l'emploi de peintures de coque moins toxiques. Les professionnels du transport maritime pourraient cependant, à mesure que les armements se conforment aux normes définies pour répondre aux préoccupations environnementales, admettre que leur compétitivité aurait tout à gagner de l'adoption de technologies et de modes d'exploitation garants de la

transparence et porteurs des avancées que les chargeurs réclament de plus en plus instamment, en particulier pour l'énergie, le CO_2 et les émissions. De plus, les atouts du transport maritime pourraient lui conférer un avantage compétitif.

Il est cependant intéressant de noter que les modes de transport qui se voient accorder le plus de publicité (c'est-à-dire les modes de livraison les plus rapides) sont aussi les plus polluants. Les transports aériens et routiers émettent plus de 10 fois plus de CO_2 que les transports ferroviaire et fluvial/maritime; en revanche, les contrôles d'émissions pour le transport routier donnent des résultats plus similaires au niveau des particules pour la route, les chemins de fer et les transports par eau. Tant que les impacts de ces émissions sur l'environnement et la santé humaine ne seront pas intégrés aux prix du transport, les véritables coûts sociaux des décisions en matière de transport du fret ne seront pas pris en compte. Il faut donc sans doute réfléchir sérieusement aux politiques qui visent à internaliser ces coûts externes, notamment par le biais de prescriptions technologiques, de normes d'émissions, de redevances ou de taxes.

La solution, en matière de transport intermodal durable de marchandises, passera par la coordination des efforts des professionnels des transports, des autorités publiques et du monde universitaire ainsi que par la sensibilisation de l'opinion aux modes d'acheminement des denrées alimentaires, des vêtements, des matériaux de construction et autres biens de consommation. Parallèlement, le secteur des transports maritimes continuera à adopter les progrès technologiques (notamment pour protéger l'environnement en réduisant les différentes sources de pollution dues aux émissions de fumées et autres, aux eaux de ballast, aux revêtements des coques, etc.), à optimiser son rendement énergétique (recours aux combustibles de substitution, meilleure efficience des groupes moteurs, amélioration de la conception de la coque et de l'hélice et adoption de concepts novateurs comme les cerfs-volants d'assistance à la traction) ainsi qu'à améliorer ses conditions d'exploitation (réduction de la vitesse, rééquilibrage des modes et modification d'itinéraires).

9.6. Aviation

Changement climatique

La part des émissions de l'aviation, comme du transport maritime, dans les émissions totales de carbone est faible, mais devrait augmenter rapidement. Selon le scénario de maintien du *statu quo* illustré dans le graphique 9.1, les émissions de l'aviation devraient progresser plus rapidement que celles de tous les autres modes. Certes, les parts dans les émissions totales ne renseignent pas sur les coûts de réduction, mais il est souvent tenu pour acquis que l'aviation devrait contribuer à la réduction des émissions.

Les mesures envisageables sontmultiples : redevances (comme la redevance britannique sur les passagers aériens ou la taxe néerlandaise sur les billets d'avion[19]), limitation des déplacements, normes d'émission, réforme du contrôle de la circulation aérienne, réglementation ou redevances aéroportuaires, limitation de l'expansion des aéroports, utilisation de carburants alternatifs[20], taxes sur les carburants ou taxes carbone, inclusion de l'aviation dans les systèmes d'échange de quotas d'émissions. On peut attribuer à ces diverses mesures les avantages et inconvénients habituels. Certaines d'entre elles, dont la généralisation de l'utilisation des biocarburants, peuvent être prises soit spontanément par les professionnels, soit en réponse à l'instauration d'une taxe sur le carbone. Les redevances et les normes doivent être considérées comme des mesures complémentaires plutôt que comme des mesures de substitution. Plusieurs régions ont déjà décidé ou se

proposent d'inclure le transport aérien dans le champ d'application des systèmes d'échange de permis. L'Union européenne a ainsi décidé d'intégrer tous les vols intérieurs ainsi que tous les vols qui ont son territoire pour origine ou destination dans son système d'échange de quotas d'émissions tandis que l'Australie et la Nouvelle-Zélande incluront le transport aérien intérieur dans leur système d'échange de droits d'émission de carbone.

Les systèmes d'échange contribuent à répartir la charge des coûts marginaux de réduction des émissions entre les branches d'activité qui y ressortissent, mais ils ne couvrent pas toutes les branches d'activité et présentent par conséquent certaines déficiences. Ces systèmes d'échange partiels posent en effet un problème de transfert d'émissions : les voyageurs pourront choisir de voyager vers d'autres destinations où le carbone est moins coûteux et les compagnies aériennes ont intérêt à exploiter des avions offrant une moins bonne efficacité énergétique à l'extérieur des zones visées par les systèmes d'échange. Tant que les redevances se calculent par segment plutôt que par couple origine/destination, les compagnies peuvent aussi modifier leur structure de réseau, par exemple en utilisant davantage les aéroports-pivots proches de zones d'échange afin d'abréger le(s) segment(s) de vol situé(s) dans ces zones. Les compagnies qui occupent une position dominante sur ces aéroports-pivots sont mieux placées pour effectuer ces modifications et pourraient donc voir leur position concurrentielle s'améliorer dans le cadre d'un système d'échange. Il n'est pas inutile de souligner que l'internalisation des coûts externes ne peut qu'affecter l'ensemble des interactions concurrentielles en ce sens que les entreprises peuvent répondre de plusieurs façons différentes à des modifications des coûts ou du cadre réglementaire. Il convient, partant, de se demander si des mesures imparfaites ont des effets excessivement forts que de meilleures mesures permettraient d'éviter.

Forsyth (2008) estime que les possibilités de réduire les émissions des avions par l'amélioration de la consommation sont limitées, tout au moins au niveau du secteur. Le renouvellement du parc aérien contribue à réduire les émissions par passager-kilomètre d'environ 1 % par an, mais il n'est guère possible d'accélérer le mouvement. La taxation du carbone va donc influer avant tout sur les coûts variables des compagnies aériennes et, dans la mesure où la hausse des coûts induit une hausse des tarifs, sur le volume de trafic. Ces effets ne sont à de nombreux points de vue pas négligeables, mais ils ne sont pas énormes non plus. Selon Forsyth (2008), à un prix de 20 USD/tonne de CO_2, les tarifs augmenteront de 2 à 6 % si les coûts de carbone sont entièrement répercutés sur les passagers. Schröder (2008) prévoit quant à lui une augmentation des coûts des compagnies aériennes de l'ordre de 2.5 à 5 % ainsi qu'une baisse de la demande de 2.1 à 4.6 %, dans le cadre d'un système d'échange où 15 % des quotas sont mis aux enchères et où le plafonnement est fixé à 95-97 % des émissions moyennes de la période 1995-1997. Wit *et al.* (2003) avancent, dans un rapport destiné à la Commission for Integrated Transport (Commission de l'intégration des transports) britannique, que les tarifs courtes distances devraient augmenter d'environ 3.5 % et ceux des vols long-courriers d'environ 6 %. Le ministère britannique de l'environnement et des transports a calculé, en posant l'élasticité de la demande par rapport aux tarifs égale à –0.8, que la demande des secteurs court et long courriers allait reculer de respectivement 3 et 5 % environ. CE Delft (2002) a calculé de son côté que la perception d'une taxe de 50 EUR par tonne de CO_2 dans l'espace aérien européen pourrait réduire le volume de trafic des compagnies européennes d'environ 2 %. Anger *et al.* (2008) concluent, en utilisant un modèle macroéconomique, que l'inclusion du transport aérien dans le champ d'application du système européen d'échange de quotas

d'émission n'aurait que des effets limités. Ils estiment en effet que le transport aérien deviendrait un acheteur net de quotas parce qu'il aurait besoin d'environ 2.5 % de l'ensemble des quotas disponibles, que la demande de services aériens serait, en cas de vente des quotas à un prix de 40 EUR, inférieure en 2020 de 1 % à ce qu'elle était pendant l'année de référence et que les émissions diminueraient de 7.5 %. Les auteurs soulignent également que les recettes tirées de la vente éventuelle des quotas aux enchères ne doivent pas être affectées à des secteurs qui ne ressortissent pas au système européen d'échange de quotas parce que cela réduirait la réduction des émissions de carbone à néant.

Beaucoup de chercheurs considèrent comme acquis que la hausse des coûts du carbone sera intégralement répercutée sur les tarifs. Toutefois, c'est la structure du marché qui détermine dans quelle mesure les hausses de coûts sont répercutées sur les tarifs. Dans une structure de type Cournot (jugée adaptée aux marchés du transport aérien), ce processus est limité dans la mesure où aucune entreprise ne quitte le secteur, mais les tarifs peuvent augmenter beaucoup plus que les coûts du carbone s'il y a sortie du secteur[21]. Lorsque les permis d'émission sont distribués gratuitement, les compagnies aériennes sont dissuadées de sortir du secteur, ce qui limite l'impact du système de tarification carbone sur la réduction des émissions (Forsyth, 2008). L'impact des prix du carbone dépend également de la rareté (réelle ou artificielle) de la capacité aéroportuaire. En situation de rareté, l'introduction de permis d'émission de carbone ne fera peut-être guère plus que réduire le coût d'opportunité de la capacité (c'est-à-dire la valeur des créneaux), sans influer vraiment sur les tarifs. Indépendamment de la valeur sociale de ce type de transfert, l'impact du prix du carbone sur les émissions de gaz à effet de serre sera limité.

Bruit des avions

Les méfaits du bruit des avions sont considérables. La pollution acoustique se concentre autour des aéroports, mais varie considérablement d'un aéroport à l'autre en fonction de l'importance de la population qui y est exposée et des types d'avion. Lu et Morrell (2006) estiment que le coût moyen du bruit par atterrissage va de 16 EUR à Stansted à 774 EUR à Heahrow et qu'il se situe à mi-chemin entre ces deux extrêmes à Schiphol où il s'élève à 377 EUR. A titre de comparaison, les mêmes auteurs chiffrent le coût des émissions (de nombreux polluants locaux et de CO_2) par décollage à 626, 1004 et 842 EUR pour les trois mêmes aéroports.

La pollution acoustique retient l'attention depuis bien plus longtemps que le changement climatique et beaucoup de mesures ont déjà été prises pour y remédier. La réduction du bruit à la source, telle qu'il se reflète dans les niveaux de bruit tolérés à la certification, a réduit le niveau du bruit perçu d'environ un tiers en 30 ans (Girvin, 2009). Les avionneurs conçoivent leurs nouveaux avions en tenant compte des mesures de lutte contre le bruit. Le fait que les nouveaux avions restent en deçà des plafonds fixés par la FAA et l'OACI démontre que les avionneurs se conforment aux normes les plus sévères en vigueur sur le marché (souvent dans les aéroports européens). Il est possible d'atténuer le bruit aéroportuaire en agissant au niveau de l'aménagement du territoire, en investissant dans des moyens anti-bruit, en réglementant les procédures opérationnelles et en limitant le niveau d'activité. Certaines de ces mesures ont un impact direct, et considérable, sur la capacité des aéroports. Toutes sont utilisées à des degrés divers. Girvin (2009) observe que les aéroports de l'Union européenne jouissent en la matière de plus d'autonomie que les

aéroports américains qui ne peuvent agir qu'aux niveaux de l'exploitation et des procédures opérationnelles.

Les mesures prises ne sont pas restées sans effet, comme le prouve par exemple le fait qu'aux États-Unis, l'exposition à des niveaux de bruit significatifs a été divisée par 16 alors que le trafic aérien s'est multiplié par 3.5 entre 1975 et 2000. La poursuite prévisible de l'augmentation du trafic et la résistance croissante (d'une population aisée et de groupes d'intérêts bien organisés) au bruit appellent toutefois à l'adoption de nouvelles mesures alors que la réduction du bruit se fait de plus en plus coûteuse. Comme dans d'autres domaines de la politique environnementale, il devient alors sans cesse plus important de tenter de minimiser le coût des mesures anti-bruit supplémentaires, ce qui ajoute encore à l'attrait de mesures incitatrices telles que les redevances sur le bruit. Certains aéroports font déjà acquitter ce genre de redevances dont le montant est calculé sur la base d'une multitude de formules et de types d'avions[22]. Beaucoup d'aéroports s'en tiennent cependant à des stratégies de contraintes et de contrôles qui ne sont pas de nature à minimiser les coûts. Niemeier (2008) constate que des normes de bruit contraignantes déterminent la capacité de plusieurs grands aéroports (en période de pointe). Les pouvoirs publics qui usent de moyens inappropriés pour lutter contre le bruit font grimper le coût non seulement des efforts à accomplir pour ramener le bruit des avions à un niveau cible donné, mais aussi de l'utilisation inefficiente de capacités rares. La généralisation des redevances de bruit pourrait réduire le coût de la lutte contre le bruit. Étant donné que l'impact dépend largement des conditions locales, les redevances *ne* doivent *pas* être harmonisées, mais il pourrait en revanche être souhaitable d'harmoniser leur mode de calcul.

9.7. Conclusions

La situation qui se dégage du présent document en ce qui concerne la gestion du changement climatique dans les transports comporte deux volets. Les modes pour lesquels les politiques existantes sont faibles, tels que le transport maritime et l'aviation, semblent être en voie d'être intégrés aux efforts plus larges visant à mettre en place des cadres d'action pour lutter contre le changement climatique. En revanche, les transports de surface se caractérisent par des politiques plus vigoureuses et leur intégration dans ce type de cadre ne va pas de soi.

La forme des cadres d'action plus larges destinés à lutter contre le changement climatique est incertaine. L'analyse économique porte surtout sur des approches descendantes et étudie les modalités selon lesquelles les initiatives multilatérales peuvent être conciliées au mieux avec la contrainte de souveraineté. L'évolution actuelle des politiques semble toutefois relever davantage d'une approche ascendante dans laquelle les différentes autorités compétentes introduisent des mesures plus ou moins larges. Cette tendance n'a pas de quoi surprendre étant donné l'importance des avantages de club liés à une politique climatique aussi efficace que possible. Si l'on peut concevoir que l'approche ascendante aboutit à une extension graduelle de la couverture géographique (par exemple, en établissant un lien entre les systèmes d'échange de permis d'émissions de carbone des États-Unis et de l'Union européenne), l'inclusion d'économies en développement comme la Chine et l'Inde demeure en revanche problématique.

La rentabilité milite en faveur de l'inclusion de l'aviation et du transport maritime dans les systèmes de plafonnement et d'échange qui couvrent les autres secteurs. Dans les

deux modes, les possibilités de réduction qu'offre la technologie sont limitées à court terme en raison de la lenteur du renouvellement des flottes. Dans le transport maritime, il semble que les mesures d'exploitation puissent réduire dans une certaine mesure les émissions de CO_2 à court terme et à relativement peu de frais. Dans le transport aérien, il existe certaines possibilités de réduction liées à l'amélioration du contrôle de la circulation aérienne et à la gestion de la congestion aéroportuaire (ainsi qu'à la technologie, à plus long terme), mais la principale réduction à l'intérieur du secteur viendra vraisemblablement d'une baisse de la demande. Selon les estimations disponibles, la réduction de la demande plafonnerait à environ 5 % à des prix d'environ 20 EUR/tonne de CO_2. Une concurrence imparfaite et la congestion aéroportuaire limitent les possibilités de répercuter les hausses de coût sur les tarifs, ce qui limite d'autant la réaction de la demande. Le secteur de l'aviation sera donc probablement un acheteur net de permis. Dans le transport aérien comme dans le transport maritime, les possibilités de transfert d'émissions de carbone sont considérables dès lors que les systèmes d'échange ne sont pas très étendus. Néanmoins, l'inclusion de ces modes dans les systèmes d'échange est souhaitable pour que la réduction globale soit rentable. D'autres mesures incitatrices peuvent donner des résultats comparables, mais semblent moins acceptables. L'élargissement du champ d'application géographique des systèmes d'échange aux transports maritimes et aériens ne pourra vraisemblablement qu'être graduel et s'opérer dans les conditions décrites par Kågeson (2009).

Le transport routier se caractérise par la relative sévérité des politiques déjà en place. L'Union européenne a des taxes élevées sur les carburants et a récemment adopté des normes de consommation de carburant tandis que les États-Unis taxent peu le carburant et s'apprêtent à renforcer leurs normes de consommation. Dans l'Union européenne, le transport routier ne fait pas partie du système d'échange de quotas d'émissions. Diverses propositions américaines prévoient d'inclure le secteur routier, éventuellement par un système d'échange en amont entre les raffineurs. Étant donné que les politiques déjà en vigueur sont relativement sévères, les coûts de réduction des émissions de CO_2 du transport routier sont relativement élevés et dépassent les prix actuels et prévus des permis d'émission de carbone. Si l'on se situe dans une stricte logique de rentabilité, cela ne semble pas souhaitable, mais étant donné que les politiques en vigueur ont d'autres finalités que la seule réduction des émissions de gaz à effet de serre, il n'est pas évident que le coût en bien-être lié au durcissement de ces politiques soit très élevé. Par exemple, une hausse des taxes sur les carburants aux États-Unis semble justifiée si l'objectif est de maîtriser (résolument) la congestion et mieux couvrir les coûts d'infrastructures, ce qui aurait en même temps pour effet de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Il importe toutefois de souligner que la justification de cette politique est la gestion de la congestion et la création d'infrastructures, et non la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Si l'on se place dans le cadre économique statique du bien-être utilisé ci-dessus, les arguments en faveur d'un durcissement des normes de consommation de carburant ou d'une hausse des taxes sur les carburants dans le transport routier en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre sont faibles. Il est cependant souvent avancé qu'il est nécessaire d'accroître la diffusion des véhicules plus économes en carburant dans l'ensemble du parc, au motif que le marché n'incite guère à réduire la consommation, étant donné la réaction (rationnelle) des consommateurs à diverses incertitudes qui subsistent au sujet de l'investissement dans la réduction de la consommation. Compte tenu des autres défaillances du marché dans la recherche, le développement et la diffusion des

nouvelles technologies, une norme de consommation de carburant pourrait être un bon instrument pour améliorer la consommation du parc et favoriser l'adoption de technologies de substitution. Et comme il sera probablement moins coûteux, pour réduire les risques liés au changement climatique, de produire moins de carbone pour assurer le degré de mobilité actuel que de transformer radicalement la structure de l'activité de transport, ce type de norme pourrait jouer un rôle important dans un paquet de mesures en y complétant les instruments répondant aux lois du marché mis en œuvre dans le domaine des transports de surface ainsi que des transports maritimes et aériens.

Notes

1. Le présent chapitre se fonde pour l'essentiel sur le rapport « *Limitation des atteintes à l'environnement – Économie des mesures envisagables* » présenté par Kurt van Dender et Philippe Crist, du Centre conjoint de recherche sur les transports de l'OCDE et du Forum international des transports, au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008 (*www.oecd.org/dataoecd/12/53/41612575.pdf* et *www.internationaltransportforum.org/2009/workshops/pdf/Environmental.pdf*). Quelques paragraphes sont tirés du rapport « *Impact de la mondialisation sur le transport maritime international : Tendances passées et perspectives d'avenir* » présenté par James J. Corbett et James Winebrake, de Energy and Environmental Research Associates, États-Unis, au même forum (*www.oecd.org/dataoecd/10/61/41380820.pdf*).
2. Comme les exemptions, les possibilités de dégrèvement et/ou les possibilités de plafonnement de ces taxes ne manquent pas, le lien entre les émissions de CO_2 et le taux réel d'imposition est parfois assez ténu.
3. Les États-Unis participent activement aux débats qui doivent mener à l'adoption d'un accord post-Kyoto de lutte contre le changement climatique. Le 21 mai 2009, la commission de l'énergie et du commerce de la Chambre des représentants a avalisé la proposition du président Obama relative au changement climatique qui vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre de 17 % d'ici 2020 et de 83 % d'ici 2050 par rapport à 2005 en instaurant un système de plafonnement et d'échange avec vente des permis d'émission aux enchères.
4. La question des taxes environnementales et des systèmes d'échange de permis d'émission est traitée plus en détail dans OCDE (2008).
5. OCDE (2009) traite plus en détail du prix que doit atteindre le carbone pour arriver à différents niveaux de concentration. Ce prix devrait pour bien faire augmenter progressivement au fil des années.
6. Les projections ne prennent pas la crise économique et financière actuelle en compte. Si cette crise n'est que passagère et que l'économie mondiale retrouve les mêmes mécanismes de croissance qu'auparavant, il faudra plus ou moins cinq années supplémentaires à la demande de transport et aux volumes d'émissions pour atteindre les niveaux prévus (ce qui reste tout à fait dans les limites de la marge d'erreur du modèle). La croissance serait en revanche vraisemblablement plus timide si le fonctionnement de l'économie était plus profondément modifié soit par un changement de ligne politique, soit par adaptation aux réalités économiques. Dans un cas comme dans l'autre, le problème du changement climatique n'en reste pas moins de taille.
7. Le scénario du laisser faire, laisser aller table sur une diminution de l'intensité d'utilisation des véhicules dans les économies développées. La distance moyenne annuelle parcourue par un utilitaire léger, qui était d'environ 18 000 km dans les pays nord-américains de l'OCDE en 2000, devrait tomber à environ 16 000 km en 2050. Elle devrait dans le même temps revenir de 13 000 à 11 000 km dans les pays européens de l'OCDE. L'hypothèse sous-jacente est qu'une expansion du parc de véhicules dans ces pays réduit l'utilisation de chaque véhicule. Dans les économies non membres de l'OCDE, la distance moyenne parcourue devrait demeurer plus ou moins constante sur l'ensemble de la période.
8. Van Dender (2009) s'étend plus longuement sur l'argumentation développée dans cette section.
9. Le chiffre est tiré d'un courier électronique envoyé par Richard Smokers en date du 12 mars 2008 et est reproduit avec son autorisation.
10. En effet, si les politiques menées orientent l'utilisation des technologies vers la réduction de la consommation de carburant, il faut en calculer le coût en soustrayant du surplus produit par

l'utilisation de la technologie préférée des consommateurs le surplus découlant de l'utilisation de la technologie destinée à améliorer la consommation de carburant.

11. On entend par aversion aux pertes le comportement du consommateur qui évalue les résultats en termes de modification d'un état de prospérité de référence et attribue davantage de valeur aux pertes qu'aux gains équivalents (dans une plus large mesure que ne l'expliquerait la diminution de l'utilité marginale).

12. Il a été noté dans CCRT (2008a) que contre toute attente, les décisions en matière de consommation de carburant concernant les parcs de voitures de société et les poids lourds sont exposées à des imperfections analogues à celles que l'on constate pour les utilitaires légers privés. L'aversion aux pertes peut aider à expliquer ce phénomène également.

13. Les pouvoirs publics peuvent également privilégier une norme parce qu'ils sont particulièrement soucieux d'atteindre l'objectif de réduction, peut-être parce qu'ils estiment que le temps presse, et se préoccupent moins de ce qu'il en coûtera. Cet argument n'a pas de rapport direct avec la question de l'aversion aux pertes.

14. La consommation d'un litre d'essence provoque l'émission de 2.3434 kg de CO_2 tandis que celle d'un litre de gazole en fait émettre 2.6823 kg.

15. Le président Obama a proposé le 19 mai 2009 de durcir les normes de consommation moyenne de carburant par constructeur. Cette consommation moyenne devra diminuer de 5 % en moyenne par an de 2012 à 2016 pour tomber alors à 6.62 litres aux 100 km (35.5 milles par gallon).

16. Dans des contextes différents, les armateurs, les propriétaires des cargaisons ou les chargeurs peuvent payer la note de carburant.

17. En mars 2009, la commission de la protection du milieu marin des États-Unis et du Canada a proposé de créer une zone de limitation des émissions de NO_x, de SO_x et de particules (MEPC 59/5/X, 27 mars 2009), voir *www.epa.gov/oms/regs/nonroad/marine/ci/420f09015.htm*. Cette zone devrait englober les principales eaux côtières des États-Unis et du Canada.

18. Voir *www.epa.gov/oms/regs/nonroad/marine/ci/420f09015.htm*.

19. Bien qu'il ne soit pas clair que ces mesures visent principalement à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Alors que la redevance britannique sur les passagers aériens a été augmentée, la taxe néerlandaise sur les billets d'avion a été arrêtée.

20. Les possibilités de passage aux carburants de substitution sont évoquées dans *www.icao.int/WAAF2009/Documentation.htm*.

21. S'il y a concurrence à la Cournot, les entreprises rivalisent sur le plan du volume de leur production dont elles décident indépendamment l'une de l'autre, mais simultanément.

22. Tel est le cas notamment à Prague (*www.prg.aero/en/site/o_letisti/zivotni_prostredi/pristup_k_hluku.htm*) et à Zurich (*www.unique.ch/dokumente/umw_Environmental_Report_2007.pdf*).

Bibliographie

Abrell Jan (2007), *Transportation and Emission Trading – A CGE Analysis for the EU* 15, Economics of Global Warming Working Paper WP-EGW-01, Université technologique de Dresde. Disponible à l'adresse : *www.tu-dresden.de/wwbwleeg/publications/wp_egw_01_Abrell_Transportation_Emission_Trading.pdf*.

Aldy, Joseph E. (2006), *Evaluating the Costs and Benefits of Energy and Climate Change Policies: An Overview*, communication présentée lors du Symposium on Global energy and climate change, UCLA Extension Public Policy Program, Lake Arrowhead, Californie, octobre 2006.

Aldy, Joseph E., Eduardo Ley et Ian W.H. Parry (2008), *A Tax-Based Approach to Slowing Global Climate Change*, Resources for the Future Discussion Paper 08-26. Disponible à l'adresse : *www.rff.org/RFF/Documents/RFF-DP-08-26.pdf*.

An, Feng et Amanda Sauer (2004), *Comparison of Passenger Vehicle Fuel Economy and Greenhouse Gas Emission Standards around the World*, Pew Center on Global Climate Change. Disponible à l'adresse : *www.pewclimate.org/global-warming-in-depth/all_reports/fuel_economy/index.cfm*.

Anger, Annela *et al.* (2008), *Air Transport in the European Union Emissions Trading Scheme*, Final Report for Omega. Disponible à l'adresse : *www.omega.mmu.ac.uk/Events/OmegaStudy_17_finalreport_AAPMA_2-1 _240209.pdf*.

Barrett, Scott (2005), *Environment and Statecraft – The Strategy of Environmental Treaty-making*, Oxford University Press, Oxford.

Barrett, Scott (2007), « Proposal for a New Climate Change Treaty System », *Economists' Voice*, octobre 2007, Disponible à l'adresse : *www.bepress.com/ev*.

Buhaug, Ø. *et al.* (2008), *Mise à jour de l'étude sur les émissions de gaz à effet de serre en provenance des navires : compte rendu de la première phase,* Organisation maritime internationale (OMI) Londres, R-U, 1er septembre 2008. Disponible à l'adresse : *www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D23703/INF-6.pdf*.

CCRT (2008a), *Le coût et l'efficacité des mesures visant à réduire les émissions des véhicules*, CCRT, document de travail 2008-9, FIT/OCDE, Paris. Disponible à l'adresse : *www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/DP200809.pdf*.

CCRT (2008b), *Perspectives des transports 2008 – Le point sur les émissions de CO_2 des véhicules routiers,* CCRT, document de travail n° 2008-13, FIT/OCDE, Paris. Disponible à l'adresse : *www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/DP200813.pdf*.

CE Delft (2002), *Economic Incentives to Mitigate Greenhouse Gas Emissions from Air Transport in Europe*, Rapport établi à la demande de la direction générale des transports et de l'énergie de la Commission européenne.

Corbett, C. J. (2005), « Global Diffusion of ISO 9000 Certification through Supply Chains », *Manufacturing and Service Operations Management*, 8 (4), pp. 330-350. Disponible à l'adresse : *www.anderson.ucla.edu/documents/areas/fac/dotm/bio/pdf_CC27.pdf*.

Corbett, C. J., et D. A. Kirsch (2001), « International Diffusion of ISO 14000 Certification », *Production and Operations Management*, 10 (3), pp. 327-342.

Ellerman, Denny A., Henry D. Jacoby et Martin B. Zimmerman (2006), *Bringing Transportation into a Cap-and-Trade Regime*, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 136. Disponible à l'adresse : *http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/33953/MITJPSPGC_Rpt136.pdf?sequence=1*.

Ellerman, Denny A. (2008), *The EU Emission Trading Scheme: A Prototype Global System?*, Harvard Kennedy School, Harvard Project on International Climate Agreements, Document de travail 08-02. Disponible à l'adresse : *http://belfercenter.ksg.harvard.edu/files/Ellerman11.pdf*.

Eyring V., *et al.* (2005), « Emissions from International Shipping – 2: Impact of Future Technologies on Scenarios until 2050 », *Journal of Geophysical Research*, 110. doi : *http://dx.doi.org/10.1029/2004JD005620*.

Forsyth, Peter (2008), *The Impact of Climate Change Policy on Competition in the Air Transportation Industry*, JTRC Discussion Paper 2008-18, FIT/OCDE, Paris. Disponible à l'adresse : *www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/DP200818.pdf*.

Girvin, Raquel (2008), « Aircraft Noise Abatement and Mitigation Strategies », *Journal of Air Transport Management*, 15, pp. 14-22.

Glazer, Amihai et Charles Lave (1996), « Regulation by Prices and by Command », *Journal of Regulatory Economics*, 9, pp. 191-197.

Greene David L., John German et Mark A. Delucchi (2008), « Fuel Economy: The Case for Market Failure », Chapter 11 dans Dan Sperling et James Cannon (eds.) (2008), *Reducing Climate Impacts in the Transportation Sector*, Springer, Pays-Bas.

Harrington, Winston et Virginia McConnell (2003), *Motor Vehicles and the Environment*, Resources for the Future Report (avril), *www.rff.org/rff/Documents/RFF-RPT-carsenviron.pdf*.

Kågeson, Per (2009), *Making International Transport Pay its Climate Bill*, rapport présenté à l'atelier sur les impacts environnementaux du transport routier, Forum international des transports, Leipzig, mai 2009. Disponible à l'adresse : *www.internationaltransportforum.org/2009/workshops/pdf/ws5-Kageson.pdf*.

Leiby, Paul N. (2007), *Estimating the Energy Security Benefits of Reduced US Oil Imports*, Report nº ORNL/TM-2007/028, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, février. Disponible à l'adresse : *www.epa.gov/OMS/renewablefuels/ornl-tm-2007-028.pdf*.

Lu, Cherie et Peter Morrell (2006), « Determination and Applications of Environmental Costs at Different Sized Airports – Aircraft Noise and Engine Emissions », *Transportation*, 33, pp. 45-61.

Maritime Environment Protection Committee (2009), *Consideration and Adoption of Amendments to Mandatory Instruments – Proposal to designate and emission control area for Nitrogen Oxides, Sulfur Oxides and Particulate Matter submitted by the United States and Canada*, MEPC 59-5/x, 27 mars 2009.

Meckling, Jonas (2008), « Corporate Policy Preferences in the EU and the US – Emissions Trading as the Climate Compromise? », *Carbon and Climate Law Review*, 2, pp. 171-180.

Newell, Richard (2008), *Inducing Innovation for Climate Change Mitigation*, Resources for the Future Weekly Policy Commentary, 11 février 2008. Disponible à l'adresse : *www.rff.org/Publications/WPC/Pages/02_11_08_Innovation_CCMitigation_Newell.aspx*.

Niemeier, Hans-Martin (2008), *Airports and the Environment – How to Balance Economic and Environmental Concerns*, presentation at the « Aviation and the Environment » GARS Workshop at the International University of Applied Sciences, Bad Honnef, 26-27 novembre 2008, *www.garsonline.de/*.

Nordhaus, William D. (2007), « To Tax or Not to Tax: Alternative Approaches to Slowing Global Warming », *Review of Environmental Economics and Policy*, 1, 1, pp. 26-44.

OCDE (2008), *Environmentally Related Taxes and Tradable Permit Systems in Practice*, OCDE, Paris. Disponible à l'adresse : *www.olis.oecd.org/olis/2007doc.nsf/linkto/com-env-epoc-ctpa-cfa(2007)31-final*.

OCDE (2009), *L'atténuation du changement climatique. Que faire?*, OCDE, Paris. Disponible à l'adresse : *www.oecd.org/dataoecd/9/9/41852436.pdf*.

Parry, Ian W.H. (2007), « Are the Costs of Reducing Greenhouse Gases from Passenger Vehicles Negative? », *Journal of Urban Economics*, 62, 2, pp. 273-293.

Parry, Ian W.H. et Kenneth A. Small (2005), « Does Britain or the United States have the Right Gasoline Tax? », *American Economic Review*, 95, pp. 1276-1289.

Pil, F.K. et S. Rothenberg (2003), « Environmental Performance as a Driver of Superior Quality », *Production and Operations Management*, 12(3), pp. 404-415.

Proost S. (2008), *Calcul des coûts et avantages de la réduction des émissions de CO_2 dans le secteur des transports*, CCRT, document de travail n° 2008-3, FIT/OCDE, Paris. Disponible à l'adresse : *www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/DP200803.pdf*.

Sansom, Tom *et al.* (2001), *Surface Transport Costs and Charges – Great Britain 1998*, ITS Leeds in association with AEA Technology Environment.

Schröder, Andreas (2008), *Incorporating Aviation into the EU Emissions Trading System*, communication présentée lors de la conférence sur l'aviation et le changement climatique (GARS), Amsterdam, juillet 2008.

Small K. et K. Van Dender (2007), *Long Run Trends in Transport Demand, Fuel Price Elasticities and Implications of the Oil Outlook for Transport Policy*, CCRT, document de travail 07-16, FIT/OCDE, Paris. Disponible à l'adresse : *www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/DiscussionPaper16.pdf*.

Stern, Nicholas (2006), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, HM Treasury, Londres. *www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm*.

Stiglitz, Joseph E. (2006), « A New Agenda for Global Warming », *Economists' Voice*, juillet 2006 (*www.bepress.com/ev*).

Tol, Richard S.J. (2005), « The Marginal Damage Costs of Carbon Dioxide Emissions: An Assessment of the Uncertainties », *Energy Policy*, 33, pp. 2064-2074.

Turrentine, Thomas et Kenneth Kurani (2007), « Car Buyers and Fuel Economy? », *Energy Policy*, 35, pp. 1213-1223.

Union européenne (UE), 2007, *Document de travail des services de la Commission – Document accompagnant la proposition de la Commission au Parlement européen et au Conseil concernant un règlement visant à réduire les émissions de CO_2 produites par les voitures particulières – Résumé de l'analyse d'impact*, SEC(2007) 1724. Disponible à l'adresse : *www.europarl.europa.eu/registre/docs_autres_institutions/commission_europeenne/sec/2007/1724/COM_SEC(2007)1724_EN.pdf*.

Van Dender, Kurt (2009), « Energy Policy in Transport and Transport Policy », *Energy Policy*, vol. 37, issue 10, pp. 3854-3862.

Wang C. et James Corbett (2007), « The Costs and Benefits of Reducing SO_2 Emissions from Ships in the US West Coastal Waters », *Transportation Research D*, 12, pp. 577-588.

Weitzman, Martin L. (2007), « A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change », *Journal of Economic Literature*, 45, pp. 703-724.

Weitzman, Martin L. (2009), « On Modelling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change », *The Review of Economics and Statistics,* février 2009, 91(1), pp. 1-19.

Wit, Ron, Marc Davidson et Jos Dings (2003), *Meeting External Costs in the Aviation Industry*, CE Delft, Delft.

Chapitre 10

Instruments de politique destinés à limiter l'impact sur l'environnement : Droit international

par
Markus W. Gehring[1, 2]

Le présent chapitre donne un aperçu des moyens de lutte contre les effets néfastes du transport sur l'environnement offerts par le droit international ainsi que des limites sur lesquelles il bute. L'auteur examine successivement le transport aérien international, le transport maritime international, le transport par route et les régimes qui, par exemple, régissent le transport de déchets dangereux. Il opère ce faisant une distinction entre approches multilatérales, régionales et unilatérales.

Le droit international n'exclut pas dans son ensemble les possibilités d'action unilatérale, mais recommande vivement les approches multilatérales. Les États ont le pouvoir de réglementer leurs propres moyens de transport et de définir les règles applicables sur leur territoire, surtout si leurs règles ne sont pas discriminatoires. Les initiatives régionales offrent plusieurs cadres d'action qui, comme les faits l'ont prouvé, permettent d'examiner, de concevoir et d'adopter des règles novatrices intégrables par la suite à des régimes mondiaux. Le droit international limite parfois les États dans leur capacité de réglementation des activités néfastes à l'environnement, mais leur offre en revanche la possibilité d'innover en matière de réglementation de l'impact du développement du transport international sur l'environnement.

10.1. Introduction

Les échanges internationaux de biens et de services ont progressé ces dernières décennies de 6 %, ou davantage, en moyenne par an tandis que le transport et la mobilité internationaux ont, d'après l'OMC (2008), augmenté de 14 % en moyenne jusqu'à atteindre une valeur de 3 260 milliards USD en 2007 (OMC, 2008, pp. 9 et 16). Les échanges de produits agricoles se sont multipliés par cinq et les échanges de produits manufacturés par plus de 500 depuis 1950 (Kraemer, Hinterberger et Tarasofsky, 2007, p. 4). Cette orientation à la hausse de la conjoncture internationale a naturellement conduit à une augmentation parallèle du transport, essentiellement maritime, de marchandises et du transport, essentiellement aérien, de passagers. Le transport peut toutefois affecter l'environnement de plusieurs façons différentes, par exemple en émettant des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone et autres), des oxydes d'azote (NO_x), des oxydes de soufre (SO_x) et des particules et en causant du bruit. La lutte contre ces effets négatifs bute souvent sur des questions de coût ainsi que sur des engagements économiques internationaux qui peuvent empêcher les États de prendre les mesures les plus propres à atteindre certains objectifs environnementaux spécifiques.

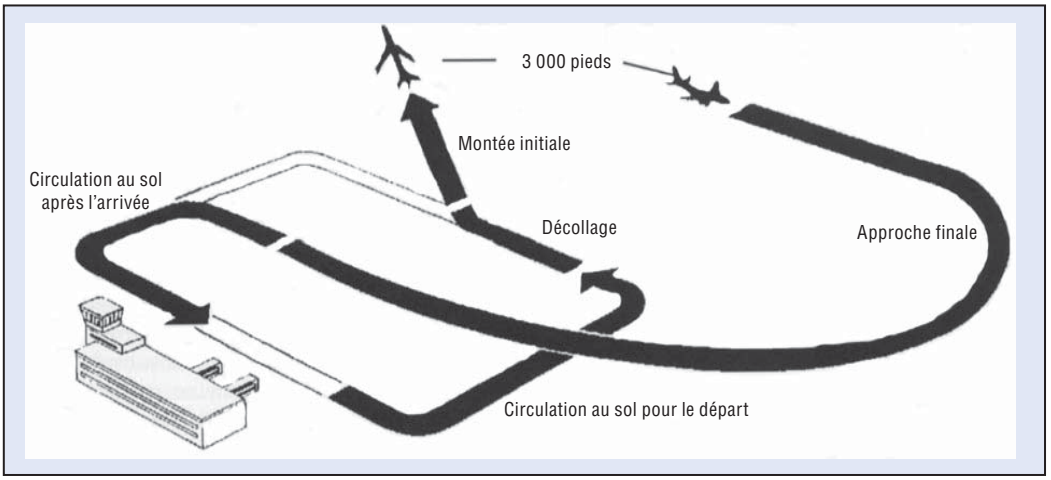
Le droit international s'attaque aux impacts environnementaux de toutes les formes de pollution, à savoir les SO_x et NO_x, le bruit, les particules et les gaz à effet de serre, dont le CO_2 en particulier. Les émissions de gaz à effet de serre revêtent une importance particulière en raison de leur contribution négative au changement climatique. A mesure que la production à forte intensité de ressources et l'extraction des ressources ont migré des pays développés vers des pays en développement d'outre-mer, la structure des émissions globales de CO_2 s'est modifiée parce que les émissions produites par ces activités sont comptabilisées dans les émissions totales du pays en développement où elles sont produites plutôt que dans celles des pays développés où les biens en cause sont finalement consommés. Quoique cette migration transfrontalière puisse réduire les émissions des pays développés, elle pourrait faire augmenter les émissions globales parce que les techniques de production des pays en développement sont moins efficientes. Les responsables politiques qui cherchent à imputer un coût à la réduction des émissions de CO_2 doivent donc veiller à ce que leurs décisions n'aient pas d'effet pervers et ne conduisent pas à une augmentation des émissions de CO_2 (Kraemer, Hinterberger et Tarasofsky, 2007, p. 3).

10.2. Transport aérien international

L'« empreinte carbone » et l'impact environnemental de nombreuses branches d'activité, dont le transport aérien, sont aujourd'hui analysés avec minutie. Les chiffres varient, mais l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) cite un rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat qui estime que les avions sont actuellement responsables d'environ 3.5 % du forçage radiatif total (un des indicateurs du changement climatique) imputable à l'ensemble des activités humaines[3]. Il

est généralement admis que ce chiffre va augmenter (Wit *et al.*, 2005) et les émissions de dioxyde de carbone produites par les avions vont en effet vraisemblablement augmenter de quelque 175 % entre 1990 et 2050 (Centre for Clean Air Policy, 2004). Les avions émettent en outre des oxydes d'azote (NO_x), notamment au décollage et à l'atterrissage. Ces gaz contribuent indirectement au forçage radiatif, même si leurs effets sont contrastés en ce sens qu'ils ont des effets à la fois de réchauffement parce qu'ils contribuent à la production d'ozone et de refroidissement parce qu'ils éliminent du méthane présent dans l'atmosphère[4].

Graphique 10.1. **Cycles de décollage et d'atterrissage**



Source : Fleuti et Polymris (2004).

Il a été tenté de faire avancer les choses en la matière au niveau international et un accord, signé en 2005, engage effectivement à réduire les émissions jusqu'en 2008[5]. Il semble néanmoins que les niveaux de NO_x seront 2.75 fois plus élevés en 2025 qu'en 2005 (Fleming, 2007). Les SO_x, émis par les avions principalement sous la forme de SO_2, mais souvent oxydés au cours du processus, contribuent également à l'impact du transport aérien sur l'environnement. Les NO_x et les SO_x sont de nature à induire, dans des zones proches des lignes de vol, un forçage radiatif qui peut être source de préoccupations sérieuses pour les villes hôtes d'aéroports-pivots. La pollution acoustique locale peut en outre perturber les personnes qui vivent près d'aéroports ou de champs d'aviation. Ces questions restent, malgré les progrès accomplis au niveau international, préoccupantes pour beaucoup de pays et pour leurs habitants.

Les paragraphes qui suivent évoquent brièvement certaines des limites légales qui affectent les mesures qui visent à remédier à ces problèmes environnementaux.

Limitations du droit international

Initiatives multilatérales

Le principal instrument législatif réglementant le transport aérien international est la Convention de Chicago de 1944 qui a créé l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) dont le siège se trouve à Montréal. Presque tous les pays du monde sont parties à la convention et membres de l'organisation. Leurs principes et leurs règles jouent, partant,

un rôle déterminant dans la définition des mesures prises pour tempérer l'impact du transport aérien international sur l'environnement.

Le respect de la souveraineté nationale est un principe extrêmement important du droit international et donc aussi des règles qui régissent le transport aérien international. Cette notion de souveraineté des États s'étend à l'espace aérien qui s'étend au-dessus de leur territoire[6]. L'article 1er de la convention de Chicago, intitulé « Souveraineté », « ….reconnaît que chaque État a la souveraineté complète et exclusive sur l'espace aérien au-dessus de son territoire ». L'article 6 réaffirme ce principe en disposant que « Aucun service aérien international régulier ne peut être exploité au-dessus ou à l'intérieur du territoire d'un État contractant, sauf permission spéciale ou toute autre autorisation dudit État et conformément aux conditions de cette permission ou autorisation ».

Il saute immédiatement aux yeux que l'article premier parle de « chaque » État alors que les autres articles parlent « d'États contractants ». Cet article ne prétend en outre pas instaurer la règle qui consacre la souveraineté sur l'espace aérien, mais « reconnaît » le principe. Cette terminologie, qui rend la convention applicable à tous les États qui y sont ou n'y sont pas volontairement parties et codifie une règle déjà existante, a des implications importantes.

- Elle indique en premier lieu que la règle est déclarative de droit international coutumier. Elle est respectée par les États dans la pratique et constitue l'*opinio juris* de la communauté internationale (Mendes de Leon, 2002, p. 484).
- Elle indique en second lieu, et par conséquence, que le principe est en tout état de cause inviolable. La convention dote donc les États d'un instrument extrêmement efficace pour réglementer les atteintes environnementales à leur espace aérien, mais fait également obstacle à ceux qui souhaitent prendre des mesures pour réglementer plus généralement l'impact du transport aérien international sur l'environnement.

Il importe aussi d'être attentif aux annexes que l'OACI promulgue de temps à autre. Ces annexes définissent des règles, notamment environnementales, applicables au transport aérien international. L'OACI a créé en 1983 un Comité de la protection de l'environnement en aviation (CAEP) appelé à s'occuper de l'impact du transport aérien international, notamment du bruit qu'il cause et des émissions produites par les moteurs, sur l'environnement.

L'Assemblée de l'OACI a adopté, au début du mois de février en 2007, une résolution A36-22 récapitulative des travaux menés par le CAEP. L'appendice L de cette résolution traite « des mesures fondées sur le marché, notamment les échanges de droits d'émissions ». Le préambule de l'appendice reconnaît que « les États contractants ont la responsabilité de prendre des décisions concernant les objectifs et les mesures les plus appropriées pour s'attaquer aux émissions de gaz à effet de serre de l'aviation, en tenant compte des orientations de l'OACI » , mais aussi que « la majorité des États contractants entérine l'application de régimes d'échange de droits d'émissions pour l'aviation internationale seulement sur la base d'un accord mutuel entre États », avec cette conséquence qu'il y a « nécessité de travailler de façon constructive afin d'atteindre un niveau élevé d'harmonisation des mesures en cours d'exécution et des mesures prévues ». L'interaction entre États dans le domaine du transport aérien est une réalité dont il faut tenir compte pour comprendre ce qui peut et ce qui ne peut pas se faire. Les États semblent donc être limités dans leur possibilité d'agir unilatéralement dans le domaine du transport aérien par la nécessité de travailler avec d'autres États, dans le cadre d'un accord mutuel,

afin d'harmoniser les initiatives particulières. Dans l'état actuel des choses, les États semblent donc plus ou moins contraints de se rabattre sur les forums de négociation multilatéraux existant au sein de l'OACI. Rien n'empêche pour autant un État d'animer les discussions ou de proposer l'adoption de mesures qui s'attaquent avec plus de détermination à l'impact du transport aérien sur l'environnement. L'immobilisme de ces dernières années amène toutefois à se demander quel peut être l'organe le plus approprié et le plus capable de réglementer la facette environnementale du transport aérien et à s'interroger sur le rôle que l'OACI peut jouer dans le monde de l'après-Kyoto.

Les annexes de l'OACI définissent des « normes et pratiques recommandées » (SARP) qui limitent encore davantage les possibilités de mise en œuvre unilatérale de mesures environnementales. Les SARP sont légalement contraignantes, même si elles n'ont pas valeur de traité international, pour les États parties à la Convention de Chicago. Ces États se sont engagés explicitement et légalement à coopérer pour atteindre le plus haut niveau possible d'harmonisation des règles, normes, procédures et organisations [en matière de navigation aérienne] (Milde, 1998, p. 254).

Les SARP de l'OACI constituent le mécanisme multilatéral actuellement utilisé pour encadrer, au niveau international, les réglementations nationales relatives au transport aérien. Le respect de ces normes est un sujet de préoccupation majeur pour la plupart des États parce que la coopération nécessaire à l'harmonisation des règles applicables au transport aérien est mise en danger si ce respect n'est pas assuré. L'article 33 de la Convention de Chicago vise à assurer ce respect en enjoignant tous les États contractants de reconnaître les SARP à titre de réciprocité[7]. Il s'en suit que « les certificats de navigabilité, ainsi que les brevets d'aptitude et les licences délivrés ou validés par l'État contractant dans lequel l'aéronef est immatriculé, seront reconnus valables par les autres États contractants si les conditions qui ont régi la délivrance ou la validation de ces certificats, brevets ou licences sont équivalentes ou supérieures aux normes minimales qui pourraient être établies conformément à la présente Convention ». Cet article interdit donc à un État de rejeter un aéronef d'un autre État ou de le soumettre à des mesures discriminatoires si l'aéronef en cause est conforme aux normes annexées à la Convention de Chicago. L'article 33 limite donc encore davantage la possibilité qu'ont les États d'agir unilatéralement pour réduire la contribution du transport aérien international au réchauffement de la planète et aux émissions de CO_2. L'invocation du principe de réciprocité dans le transport aérien international peut avoir pour effet collatéral malheureux d'inhiber les avancées unilatérales positives dans un domaine donné, celui de l'environnement par exemple. Les États doivent donc veiller à ce que des mesures mises en œuvre ne fragilisent pas une réglementation du transport aérien conforme aux dispositions de l'annexe adoptée par un autre État.

Initiatives bilatérales

Le transport aérien international se coule dans un moule bilatéral depuis la fin des années 40. Les États ont cherché, en s'écartant du multilatéralisme voulu à Chicago, à conclure des accords bilatéraux réglant plus dans le détail la capacité, la fréquence et le coût du trafic aérien effectué entre les territoires de deux États. Cette vision des choses reste prédominante aujourd'hui et il existe des dizaines de milliers d'accords internationaux bilatéraux de ce type qui soumettent leurs parties contractantes à toute une série d'obligations légales. La tendance est aujourd'hui à l'inclusion de clauses

environnementales dans ces accords. L'accord conclu en mars 2007 entre les États-Unis et l'Union européenne en est un exemple. L'article 15(2) de cet accord dispose que :

> « Lorsqu'une partie examine des projets de mesures de protection de l'environnement, il convient qu'elle en évalue les effets négatifs possibles sur l'exercice des droits prévus dans le présent accord et, si ces mesures sont adoptées, il convient qu'elle prenne les dispositions appropriées pour en atténuer les effets négatifs éventuels »[8].

Les deux parties à cet accord sont donc tenues, en premier lieu, d'évaluer l'impact négatif que toute action nationale pourrait avoir et, en second lieu, de prendre des mesures appropriées pour tempérer cet impact négatif parce qu'elles violeraient les dispositions de cet article de l'accord si elles ne le faisaient pas. Étant donné qu'en droit international, la violation d'une convention internationale signée et ratifiée est une affaire sérieuse, une violation matérielle de cet accord pourrait amener l'autre partie à faire de cette violation un motif de résiliation du traité ou de suspension de son application en tout ou en partie[9]. Cela étant, l'existence d'un accord international bilatéral définissant les conditions de lancement des actions de lutte contre les impacts environnementaux, notamment les émissions, est un autre facteur important de limitation des possibilités d'intervention dans le domaine de l'impact du transport aérien international sur l'environnement. Ces accords affectent les investissements économiques et le développement des transports aériens entre les deux États en cause et sont généralement respectés dans le monde du transport aérien international.

Initiatives unilatérales

Un différend récent entre les États-Unis et l'Union européenne portant sur la pollution acoustique générée par certains avions permet de se faire une idée du poids que des règles européennes ont sur la scène internationale. Ce différend tournait autour d'un règlement sur les problèmes environnementaux du transport aérien international que l'Union européenne avait arrêté en dehors, et en violation, du cadre coopératif de l'OACI. Ce règlement visait à calmer l'inquiétude grandissante soulevée par la pollution acoustique causée par les avions civils autour des aéroports des États membres de l'Union européenne. Pendant la période qui s'est écoulée entre la présentation du projet de règlement et son adoption, les États-Unis et l'Union européenne se sont rencontrés à plusieurs reprises pour tenter de répondre aux réserves formulées par les États-Unis à l'encontre d'une mesure qu'ils estimaient être « purement protectionniste » (Knoor et Arndt, 2002, p. 4) et porteuse d'« atteintes disproportionnées aux intérêts américains » (ministère américain des affaires étrangères, 2000, p. 17).

L'Union européenne affirmait de son côté avoir pris cette mesure parce que les États-Unis avaient failli au plan d'élimination des aéronefs du chapitre 2 convenu à l'échelon international au sein de l'OACI (Commission européenne, 1999, p. 12). Chaque chapitre indiquait le niveau de bruit progressivement décroissant que les avions enregistrés étaient autorisés à atteindre. Les États-Unis avaient fait progresser le processus d'insonorisation plus rapidement qu'il n'avait été convenu et le marché de l'aviation ainsi que les lobbys anti-bruit de l'Union européenne craignaient que les propriétaires et opérateurs américains soient de ce fait incités à faire pénétrer leurs avions du chapitre 2 sur le territoire de la Communauté. L'Union européenne a donc arrêté ce règlement pour contrer cette adaptation par traitement acoustique des avions du chapitre 2 aux normes du chapitre 3 de l'annexe 16. Comme les avions équipés de réducteurs de bruit sont conformes aux normes du chapitre 3, mais se situent au niveau plancher de la fourchette

de bruit acceptable tolérée par ce chapitre (Fischer, 2000), l'Union européenne a estimé que ces avions étaient certes techniquement conformes aux normes du chapitre 3, mais qu'elle n'était pas pour autant tenue de les accepter en tant qu'avions du chapitre 3 (Fischer, 2000).

Les États-Unis ont formulé plusieurs objections d'ordre politique et économique à l'encontre du règlement de l'Union européenne, mais les objections les plus importantes au regard du présent chapitre sont d'ordre purement juridique. Quelle limite les États-Unis accusent-ils l'Union européenne d'avoir franchie en arrêtant ce règlement ? Ils accusent en substance le règlement d'être discriminatoire aussi bien dans sa conception que dans ses effets, allèguent qu'il avantage les États européens par rapport aux États tiers sur le plan de l'utilisation des avions en cause et, surtout, le jugent discriminatoire en ce qu'il opère une distinction entre les appareils conformes au chapitre 3 qui avaient été « recertifiés » et ceux qui l'avaient toujours été. Ils estiment que le règlement viole donc l'article 33 de la Convention de Chicago qui oblige tous les États à reconnaître la validité des certificats de navigabilité délivrés par quelque autre État contractant que ce soit et que la non reconnaissance de ces certificats viole l'article 33 puisque les États-Unis s'étaient techniquement conformés à ces normes.

Avant que l'affaire ne soit formellement portée devant la justice, le Conseil de l'OACI a toutefois ajouté à l'annexe 16, en juin 2001, des normes de bruits applicables aux avions du chapitre 4 qui laissent aux États membres une beaucoup plus grande marge de manœuvre pour la définition et la mise en œuvre de leurs mesures de lutte nationale et locale contre le bruit que les normes antérieures (Union européenne, 1999, p. 7). Le Conseil de l'Union européenne a par conséquent officiellement reconnu, à la mi-octobre 2001, que le règlement sur le traitement acoustique des avions allait être revu dans un avenir proche (Commission européenne, 2001). Il a finalement agi en ce sens à la fin du mois de mars 2002, en adoptant la « directive 30/202 relative à l'établissement de règles et procédures concernant l'introduction de restrictions d'exploitation liées au bruit dans les aéroports de la Communauté ». L'article 15 de cette directive abroge expressément le règlement sur les dispositifs réducteurs de bruit. La directive ne dit pas comment les compagnies aériennes doivent se conformer à ses dispositions et a effectivement clos le litige entre les deux parties.

Cette brève analyse est source d'enseignements utiles pour les États qui, désireux d'intervenir sur la scène environnementale, tentent de cerner les limites tracées et les possibilités offertes par le droit international du transport aérien. Elle montre clairement 1) que l'article 33 de la Convention de Chicago réprime les velléités unilatéralistes des États et 2) que les mesures prises doivent ne pas pouvoir être considérées par d'autres États comme discriminatoires à leur égard sur le plan tant du droit que de l'économie de leur secteur aérien. Elle montre cependant aussi que les actions unilatérales ne sont pas pour autant exclues dans le domaine du transport aérien international. L'analyse apprend en effet que l'Union européenne a fini par avoir les avions moins bruyants qu'elle souhaitait en fixant des normes de bruit du chapitre 4 dans le cadre de l'OACI. Les États doivent donc savoir que des restrictions existent, mais aussi que des normes mondiales peuvent procéder d'initiatives unilatérales.

Le différend évoqué ci-dessus n'a au demeurant pas dissuadé l'Union européenne de poursuivre dans cette même voie puisqu'elle se prépare actuellement à intégrer tous les vols qui décollent d'un aéroport européen ou y atterrissent dans son système d'échange de quotas d'émissions à partir de 2012[10]. Il s'agit une fois de plus d'un système européen qui

pourrait déboucher à terme sur un système d'échange de permis d'émission de carbone d'une portée géographique plus étendue. D'aucuns affirment que le système est compatible avec la Convention de Chicago et le droit international aérien parce qu'il s'appuie sur les mécanismes du marché et est expressément tenu pour être une avancée légitime dans le domaine du transport aérien telle que le prévoit le préambule de la Convention de Chicago (Delft *et al.*, 2005, p. 17). Les prochaines années apprendront si ce système initial survivra aux objections juridiques soulevées par d'autres membres de l'OACI.

Possibilités offertes par le droit international

L'article 38 de la Convention de Chicago dispose que « Tout État qui juge nécessaire d'adopter des règles ou des pratiques différant sur un point quelconque de celles qui sont établies par une norme internationale, notifie immédiatement à l'Organisation de l'aviation civile internationale les différences entre ses propres pratiques et celles qui sont établies par la norme internationale »[11].

L'objectif premier de cet article est d'amener les États à prendre pleinement conscience des pratiques et des règles en vigueur dans les autres États. Il s'en suit qu'un État « qui estime ne pouvoir se conformer en tous points à une norme internationale… » est légalement et inconditionnellement tenu, en vertu de l'article 38 de la Convention de Chicago, de le notifier immédiatement à l'OACI (Milde, 1998, pp. 254 et 255). Ce mécanisme devait, dans l'esprit de ses concepteurs, donner aux États contractants membres de l'OACI la possibilité d'évaluer en pleine connaissance de cause les normes de navigation aérienne de tous les autres États contractants. Quoique la sécurité et l'efficience aient été les principales préoccupations des auteurs de cet article, la partie qui en est reproduite ci-dessus n'opère pas de distinction entre les normes plus sévères et moins sévères que la norme internationale. Il s'en suit que l'article habilite les États à déroger à une norme internationale, relative par exemple aux émissions de dioxyde de carbone produites par les avions, moyennant notification immédiate à l'OACI. Les États peuvent donc exciper de cet article pour réglementer unilatéralement l'impact du transport aérien sur l'environnement.

Les États peuvent également se prévaloir de la doctrine dite des effets pour réglementer le transport aérien international. Cette doctrine permet dans son essence aux États d'user de leur pouvoir de décision au cas où le comportement d'une partie produit des « effets » sur son territoire (Shaw, 2003, p. 612). Abeyratne (1996) estime ainsi, en se situant dans le contexte du transport aérien, que si les émissions des moteurs d'un avion affectent le territoire d'autres États, l'État dans lequel cet avion est immatriculé, loué ou nolisé voit sa responsabilité engagée au regard du droit international (Abeyratne, 1996, p. 291). L'État lésé peut donc légitimement réglementer l'activité en cause. Cette doctrine est pleinement entérinée par de nombreux États, notamment par les États-Unis et le Royaume-Uni qui s'en prévalent régulièrement en matière de droit de la concurrence. Comme il l'a clairement été affirmé dans l'affaire qui a opposé les États-Unis à Aluminium Co of America, un État peut obliger des personnes sur lesquelles il n'a pas autorité à assumer la responsabilité d'actes commis en dehors de son territoire qui ont, sur son territoire, des effets qu'il réprouve[12].

Il s'en suit qu'un État désireux de réglementer une activité exercée en dehors de ses frontières, par exemple l'exploitation d'avions qui produisent des émissions qui lui sont néfastes, peut se prévaloir de cette doctrine pour faire appliquer des règles qu'il a adoptées. Il est clair que les tenants et aboutissants politiques et économiques d'une

restriction unilatérale de la liberté d'exploitation d'opérateurs aériens d'autres États sont une autre question et que l'extension du champ d'application de la doctrine des effets à des domaines autres que le droit de la concurrence reste encore à entériner.

Les taxes environnementales qui ne frappent pas spécifiquement les carburants pourraient sans doute tirer leur légitimité de règles internationales relatives à la qualité de l'air ou au transport de polluants sur de longues distances. Elles devraient être strictement non discriminatoires, c'est-à-dire frapper également les biens et les services de tous les États, parce qu'elles pourraient autrement être attaquées devant l'OACI ou l'OMC.

Le droit commercial international, tel qu'il est défini par les disciplines des accords de l'OMC, est souvent tenu pour être un facteur limitatif de l'autonomie réglementaire des États, en particulier dans le domaine social et environnemental. L'Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce (GATT) et l'Accord général sur le commerce des services (AGCS) comprennent toutefois l'un comme l'autre des clauses qui permettent aux États membres de prendre des mesures de protection de l'environnement. L'article XX du GATT dispose que « …rien dans le présent Accord ne sera interprété comme empêchant l'adoption ou l'application par une partie contractante des mesures… *b)* nécessaires à la protection de la santé et de la vie des personnes et des animaux ou à la préservation des végétaux… *g)* se rapportant à la conservation des ressources naturelles épuisables, si de telles mesures sont appliquées conjointement avec des restrictions à la production ou à la consommation nationales » sous réserve que ces mesures ne soient pas appliquées de façon à constituer un moyen de discrimination arbitraire ou injustifiable entre les pays où les mêmes conditions existent. L'article XIV de l'AGCS définit lui aussi des exceptions en matière d'environnement et de santé dans des termes identiques à ceux du GATT.

Le droit de l'OMC autorise donc les États à adopter des mesures de protection de l'environnement à la condition qu'elles s'appliquent également aux producteurs et fournisseurs nationaux et étrangers et ne donnent pas naissance à un protectionnisme déguisé. L'Organe d'appel de l'OMC a confirmé la compatibilité essentielle de mesures nationales de protection de l'environnement et de la santé avec le régime OMC dans les affaires *Gasoline*[13] et *Asbestos*[14]. Dans le domaine du transport aérien international, l'applicabilité du droit commercial peut toutefois se trouver limitée par la répugnance de la plupart des États à libéraliser pleinement le secteur en application de la liste positive de l'AGCS.

Les dispositions arrêtées par l'OMC en matière d'aides, d'étiquetage et de marchés publics permettent également de lutter contre les effets négatifs du transport sur l'environnement (Kraemer, Hinterberger et Tarasofsky, 2007, p. 2). Le régime instauré par l'Accord de l'OMC sur les subventions et les mesures compensatoires n'interdit pas d'office tout versement d'aides publiques aux entreprises. Dans le cadre de l'approche dite « des feux de circulation », les aides de la catégorie « feu vert », c'est-à-dire les aides qui ne visent pas à renforcer la compétitivité des exportations, ne requièrent pas d'apports nationaux et ne visent pas certaines entreprises particulières, sont de nature à être autorisées[15]. Les États ont donc la possibilité de pousser à l'amélioration de l'efficience énergétique du transport aérien en aidant les acteurs performants et les innovations technologiques décisives, à la condition que les mesures d'aides soient mises en œuvre avec circonspection.

Un État peut aussi encourager l'utilisation de « labels écologiques » ou la diffusion aux consommateurs d'informations sur l'impact environnemental des biens ou services qu'ils consomment. Les compagnies aériennes pourraient ainsi commencer à diffuser

spontanément des informations sur l'efficience de leurs avions et donner ce faisant aux passagers la faculté de choisir la compagnie la plus efficiente en termes d'énergie et la moins polluante pour effectuer leurs voyages. Les systèmes d'étiquetage (de même que les autres systèmes d'information des consommateurs) ne vont très vraisemblablement pas violer des accords de l'OMC tant qu'ils restent volontaires, mais risquent en revanche, s'ils sont rendus obligatoires par des lois nationales, de violer les clauses anti-discrimination du GATT[16] et de l'AGCS[17] ou de devenir un obstacle non nécessaire au commerce international au sens de l'Accord relatif aux obstacles techniques aux échanges[18]. Ces clauses ne produisent toutefois leurs effets que si les biens et les services dommageables à l'environnement peuvent être jugés « similaires » (c'est-à-dire équivalents) à des biens et des services propres puisque ces clauses ne s'appliquent qu'à des produits similaires. La question de la « méthode de transformation et de production » est une question qui doit être posée quand il est débattu de la « similitude » de services de transport aérien assurés au moyens d'avions hautement dommageables à l'environnement et de services assurés par des concurrents au moyen d'appareils plus efficients. L'Organe d'appel n'a pas encore répondu clairement à la question et les obligations d'étiquetage, de certification et d'information ne restent donc qu'un moyen potentiel de réglementation environnementale (OMC, 2000).

Les marchés publics offrent aux États une troisième possibilité d'encourager le transport aérien écologique. Les pouvoirs publics peuvent par exemple accorder la préférence aux compagnies aériennes peu pollueuses (parce qu'elles utilisent des avions récents ou participent activement à des programmes de compensation des émissions de carbone) quand ils achètent des services de transport pour leurs fonctionnaires. Les marchés publics ressortissent en partie à l'Accord sur les marchés publics de l'OMC, mais cet accord ne permet pas, même dans les domaines où il s'applique, de faire jouer des facteurs non économiques tels que les exceptions pour protection de la santé de la vie et des animaux ou la préservation des végétaux prévues par le GATT et l'AGCS (McCrudden, 2008). La portée de cette possibilité offerte par l'Accord sur les marchés publics reste cependant incertaine et il est donc, comme dans le cas des labels écologiques, difficile de savoir si les États ont la faculté de faire intervenir des critères environnementaux dans la passation de leurs marchés sans enfreindre cet accord.

La lutte contre l'impact climatologique du transport aérien doit encore compter avec beaucoup d'autres questions, dont la moindre n'est pas celle de la comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre produites par le transport aérien. En vertu de Kyoto, les émissions sont calculées par rapport à un niveau de référence, mais les émissions produites par le transport maritime et aérien international sont recensées séparément alors que celles qui sont produites par le transport maritime et aérien intérieur sont incluses dans le total du pays en cause[19]. En 1996, l'Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques a identifié les huit modes d'imputation des émissions suivants :

- pas d'imputation (les émissions du transport aérien international restent internationales sans être imputées à l'un ou l'autre État);
- imputation des ventes mondiales de soutages et des émissions correspondantes aux États parties à Kyoto en proportion de leurs émissions nationales;
- imputation aux États sur le territoire desquels les soutages ont été vendus;
- imputation aux États dont les opérateurs de transport sont des ressortissants;
- imputation à l'État de destination ou de départ de l'avion ou du navire;

- imputation à l'État de destination ou de départ des passagers ou des marchandises;
- imputation à l'État d'origine des passagers ou des chargeurs;
- imputation de toutes les émissions produites sur le territoire d'un État ou au-dessus de ce territoire à l'État en cause (van Velzen et Wit, 2000).

Une étude réalisée par l'Autorité de l'aviation civile néerlandaise en 2000 analyse l'incidence quantitative de ces huit scénarios sur les émissions nationales de 23 grands États aéronautiques (UE-15, Suisse, Norvège, États-Unis, Canada, Russie, Brésil, Japon et Australie) (van Velzen et Wit, 2000). L'extrême inégalité des résultats mise en lumière par l'étude témoigne de l'incidence que les différentes méthodes d'imputation peuvent avoir sur l'aptitude des États à atteindre ses objectifs Kyoto. Il sera donc nécessaire de se mettre d'accord sur la méthode d'imputation la plus appropriée avant de pouvoir compter sur l'efficacité de mécanismes, conformes aux lois du marché, d'atténuation de l'impact du transport aérien international sur les émissions de gaz à effet de serre.

Il importe, enfin, de rappeler qu'en ce qui concerne le transport aérien, les gaz à effet de serre et le dioxyde de carbone ne sont pas les seuls facteurs du changement climatique et qu'ils n'en sont responsables qu'à hauteur de 25 à 33 % (Centre for Clean Air Policy, 2004). Une étude conclut que les traînées de condensation produites par les avions ont ajouté 0.2 à 0.3°C à la hausse décennale des températures observée entre 1973 et 1994 (Minnis *et al.*, 2004). La solution du problème des traînées de condensation passe sans doute par la mise en œuvre de moyens techniques et de mesures d'optimisation, par exemple une modification des trajectoires de vol destinée à en prévenir la formation, plutôt que par l'adoption de mesures réglementaires fondées sur le droit international (Centre for Clean Air Policy, 2004).

Le droit international n'est pas favorable aux actions unilatérales ou régionales, mais les pouvoirs que les États du pavillon peuvent exercer à l'égard des compagnies aériennes permettent, de même que certaines dispositions du droit commercial international, de durcir des normes environnementales. Il est donc permis de souligner, en conclusion, que l'engagement d'actions multilatérales sur de nombreux fronts (avec notamment adoption de nouveaux instruments environnementaux internationaux) offre de nombreuses possibilités de réglementer les conséquences environnementales du transport aérien sans qu'aucun État ne soit discriminé.

10.3. Transport spatial international

A mesure que l'entrée des vols spatiaux commerciaux dans le domaine du vraisemblable semble se préciser pour les décennies à venir, les États prennent conscience de leurs possibles implications juridiques. Les possibilités et impossibilités de gestion durable de l'impact environnemental de ce nouveau mode de transport par les États restent pour le moment imprécises. Le point de mutation du transport aérien en transport spatial n'a ainsi pas encore reçu de définition internationalement acceptée. La question est évidemment importante parce que les États ont la souveraineté sur leur espace aérien et sont pour la plupart avides d'étendre leur souveraineté territoriale. Certains États ont voulu définir ce point, mais leurs définitions divergent. L'Australie par exemple considère que les activités spatiales s'exercent à partir de 100 km d'altitude[20] tandis que le Royaume-Uni considère qu'à toutes fins pratiques, le seuil se situe à l'altitude qu'un avion quel qu'il soit peut atteindre (Shaw, 2003, p. 464). Le droit international ne précise donc ni l'altitude-seuil, ni sa méthode de détermination, laissant ainsi les États libres de délimiter

un « espace extra-atmosphérique » au dessus de leur espace aérien. Il semble néanmoins douteux que les États puissent élever cette altitude-seuil à l'infini et étendre ainsi le champ d'exercice de leur droit de souveraineté sur leur espace aérien. Une orbite géostationnaire, sur laquelle de nombreux satellites sont positionnés pour tirer avantage de ses propriétés géosynchrones, se situe à 36 000 km au-dessus de la surface équatoriale de la Terre. La Déclaration de Bogota signée en 1976 par plusieurs États équatoriaux proclame que certains segments de l'orbite synchrone géostationnaire font partie du territoire sur lequel ils exercent leur souveraineté[21], mais beaucoup d'États et de juristes rejettent cette revendication (Jakhu, 2007). Il semble donc que la communauté internationale s'oppose à l'exercice de droits de souveraineté à 36 000 km d'altitude (sur une ressource limitée, il convient de le préciser), mais ne s'est pas encore mise d'accord sur ce qui se passe sous cette limite.

Les États doivent aussi prendre conscience de l'impact environnemental d'engins de transport tels que l'hybride d'avion et de vaisseau spatial de Virgin Galactic qui va bientôt emmener des touristes dans l'espace et, dans un avenir pas très éloigné, va effectuer du transport international commercial. Virgin admet que la technologie qui sert aujourd'hui à envoyer des hommes et des charges utiles dans l'espace a un impact négatif profond sur l'environnement et est restée essentiellement inchangée depuis un demi-siècle[22]. Une fusée moyenne[23] consomme 1306 tonnes (3.5 millions de livres) de carburant par lancement alors qu'il se consomme, à titre de comparaison, 831 050 tonnes (2.5 mille millions de livres) d'essence par jour aux États-Unis. La contribution n'est donc pas négligeable et il faut s'attendre à ce qu'elle augmente fortement au cours des années à venir. La façon dont les États vont assurer le développement durable de ce mode de transport reste largement indéterminée.

Les instances législatives internationales ne font encore que commencer à débattre des moyens dont les États disposent pour empêcher les émissions de CO_2, SO_x, NO_x et autres substances délétères d'occulter les avantages présentés par ce mode de transport. Un des problèmes environnementaux soulevés par ce mode de transport semble trouver écho dans la Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux, qui établit une responsabilité pleine et entière pour les dommages causés par les débris spatiaux[24].

10.4. Transport maritime international

Les navires sont de grands émetteurs de gaz à effet de serre et autres polluants. Les transports aériens et routiers sont invités avec instance à limiter leurs émissions, mais le transport maritime est resté jusqu'ici à l'abri de ce genre de pression et aucune réglementation nationale, régionale ou internationale ne régit aujourd'hui les émissions de gaz à effet de serre des navires. Il a été reconnu, au cours de négociations menées sous l'égide de la Convention-cadre sur les changements climatiques des Nations unies, qu'il est nécessaire de réglementer les émissions des soutages, mais il n'a pas été décidé d'ajouter les émissions des navires aux totaux nationaux[25]. L'OMI s'applique toutefois, comme le prévoit l'article 2.2 du Protocole de Kyoto, à réglementer les émissions de carbone des navires à l'échelle mondiale[26]. Le transport maritime est aussi responsable d'autres impacts sur l'environnement, tels que déversements d'eaux usées, introduction d'espèces invasives et émissions de SO_x, de NO_x et de particules.

La *Convention de l'Organisation intergouvernementale consultative de la navigation maritime* a été adoptée par la Conférence maritime des Nations unies à Genève le 6 mars 1948. L'organisation a changé de nom en 1982 pour prendre celui d'Organisation maritime internationale (OMI), mais a gardé pour but général « d'instituer un système de collaboration entre les gouvernements dans le domaine de la réglementation et des usages gouvernementaux ayant trait aux questions techniques de toutes sortes qui intéressent la navigation commerciale internationale »[27] et « d'examiner toutes questions relatives à la navigation maritime et à ses effets sur le milieu marin dont elle pourra être saisie par toute institution spécialisée des Nations Unies »[28]. L'Organisation fait en outre office d'institution spécialisée des Nations Unies dans le domaine de la navigation maritime et de ses effets sur le milieu marin[29]. La mission qui lui est ainsi confiée justifie le rôle qui lui est attribué par l'article 2.2 du Protocole de Kyoto. Pour remplir sa mission, l'Organisation peut faire des recommandations au sujet des questions qui lui sont soumises, élaborer des projets de convention, d'accords et d'autres instruments appropriés et instituer un système de consultations et d'échange de renseignements[30]. Tous les États peuvent adhérer à l'Organisation qui est, avec ses 168 membres et trois membres associés (HongKong, Macao et Iles Féroé), une des enceintes les plus larges où faire adopter un système mondial d'échange de droits d'émission. L'article 192 de la *Convention des Nations Unies sur le droit de la mer* (Partie XII – Protection et préservation du milieu marin) dispose que les États ont l'obligation de protéger et de préserver le milieu marin, une obligation qui les contraint à prendre, séparément ou conjointement, toutes les mesures qui sont nécessaires pour prévenir, réduire et maîtriser la pollution du milieu marin, quelle qu'en soit la source[31].

Limitations du droit international

Initiatives multilatérales

Les premières règles relatives aux émissions de carbone des navires ont été adoptées par l'OMI en 1997 sous la forme d'une résolution donnant pour mission au Comité de la protection du milieu marin (MEPC) de réfléchir à la faisabilité de stratégies de réduction des émissions de CO_2 produites par les navires[32]. L'OMI a réaffirmé et clarifié cette mission en 2003 quand son Assemblée a voté la résolution 963(23) enjoignant le Comité de la protection du milieu marin d'identifier et mettre au point le(s) mécanisme(s) nécessaire(s) pour limiter ou réduire les émissions de gaz à effet de serre produites par le transport maritime international. Le MEPC devait pour ce faire par priorité définir un niveau de base pour le CO_2, établir un index des profils des navires ainsi que des directives pour un système d'indexation des émissions de CO_2 et évaluer les solutions techniques et opérationnelles ainsi que celles qui se fondent sur les mécanismes du marché[33]. Le MEPC a, deux ans plus tard, approuvé un ensemble de lignes directrices provisoires pour une indexation des émissions de CO_2 des navires de manière volontaire pour l'utilisation dans les essais qui devait permettre aux armateurs d'évaluer la consommation de combustible et les émissions de CO_2 de leurs navires et de leur flotte[34]. L'année suivante, le MEPC 55 (octobre 2006) a présenté un programme de travail qui devait permettre de soumettre le niveau de base pour le CO_2, le système d'indexation des émissions de CO_2 et les solutions techniques et opérationnelles ainsi que celles qui se fondent sur les mécanismes du marché au MEPC 59 en juillet 2009[35].

Le MEPC 57 (avril 2008) a analysé les mesures de suivi de la résolution A.963(23) et, plus particulièrement, les progrès accomplis dans la mise en œuvre du programme de travail adopté par le MEPC 55 en 2006. Le MEPC a enregistré à cette occasion une avancée majeure

en définissant les principes fondamentaux sur lesquels la réglementation future des émissions de gaz à effet de serre doit s'appuyer. Il a en effet estimé qu'un cadre cohérent et complet doit :

1. contribuer efficacement à la réduction de toutes les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale,
2. être contraignant et s'appliquer également à tous les États du pavillon afin d'éviter tout abus[36],
3. être d'un bon rapport coût/efficacité,
4. pouvoir limiter – ou au moins – réduire au minimum de manière efficace toute distorsion des marchés,
5. être fondé sur le développement durable de l'environnement sans pénaliser les échanges commerciaux et la croissance à l'échelle mondiale,
6. s'appuyer sur une approche fondée sur les objectifs et ne prescrire aucune méthode particulière,
7. appuyer les initiatives visant à encourager et faciliter les innovations techniques et la recherche-développement dans l'ensemble du secteur maritime,
8. être compatible avec les technologies de pointe dans le domaine du rendement énergétique et
9. être pratique, transparent, exempt de possibilités de fraude et facile à gérer[37].

Cela étant, le groupe de travail sur les émissions de gaz à effet de serre des navires s'est appesanti sur les mesures à prendre à court et long terme pour mettre ce cadre en place au cours d'une réunion intersessions du MEPC qui s'est déroulée à Oslo du 23 au 27 juin 2008. Le groupe de travail a été chargé d'analyser les mesures à court et long terme présentées au MEPC 57[38] et :

1. d'établir un indice nominal obligatoire d'émission de CO_2 pour les navires neufs aux fins d'approbation au MEPC 58;
2. de revoir les lignes directrices existantes pour une indexation des émissions de CO_2 des navires (MEPC/Circ.471) en vue de leur finalisation au MEPC 58 et, plus particulièrement:
   a) de mettre au point une méthodologie relative aux émissions de CO_2 de référence et
   b) de réfléchir à la raison d'être du système d'indexation des émissions de CO_2 .
3. Il a été chargé en outre de poursuivre la mise au point de mécanismes susceptibles de réduire les émissions de gaz à effet de serre du transport maritime international en vue de sélectionner, pour les soumettre au MEPC 58, les plus prometteurs au nombre desquels figurent entre autres :
   a) le système hybride de taxation/plafonnement et d'échange au niveau mondial,
   b) les systèmes d'échange de droits d'émissions et/ou le mécanisme de développement propre et
   c) les meilleures pratiques dans le domaine des mesures identifiées par le MEPC 57 et de leur mise en œuvre par les chantiers navals, les opérateurs, les affréteurs, les ports et les autres acteurs intéressés dans un sens propre à réduire autant que possible les émissions de gaz à effet de serre, afin de préparer une résolution éventuelle.
4. Il a été chargé, enfin, de déterminer le niveau jusqu'où la réduction peut aller et de réfléchir à la structure, à la mise en œuvre, au rapport coût/avantages, à l'effet

générateur de capacité et aux aspects juridiques et réglementaires de chacun de ces mécanismes ainsi qu'à leur impact sur le secteur du transport maritime, les États du pavillon et du port et les autres acteurs intéressés éventuels[39].

La réunion intersessions d'Oslo devait développer et finaliser certains aspects du cadre à mettre en place pour les émissions de gaz à effet de serre, mais a achoppé sur les litiges qui s'y sont fait jour. La réunion a débouché sur l'adoption d'un projet d'indice d'émission de CO_2 à soumettre au MEPC 58, mais son obligation d'application a été remise en question par les États hors Annexe I qui ont en outre récusé la mise au point ou en œuvre des mécanismes de réduction proposés par le Danemark (une taxe mondiale sur les combustibles) et par l'Union européenne (un système d'échange de quotas d'émissions) (Lloyd's Register, 2008, pp. 3-5). Ces questions seront rediscutées au MEPC 59, en juillet 2009. Les conclusions du MEPC 59 seront présentées à la Conférence des Nations unies sur le changement climatique qui se déroulera à Copenhague en décembre 2009. Il faudra bien en fin de compte décider si la discussion sur le système d'échange de droits d'émission va se poursuivre sous les auspices de l'OMI ou de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques.

Initiatives unilatérales

Comme aucun consensus n'a pu se dégager au sein de l'OMI, la Commission européenne va sans doute ouvrir des consultations sur une proposition de règlement intégrant le transport maritime dans le champ d'application du système d'échange de quotas d'émissions[40]. Les tribunaux pourraient aussi contraindre les États-Unis à adopter une solution unilatérale étant donné que plusieurs États fédérés et des organisations non gouvernementales ont officiellement déclaré avoir l'intention de poursuivre l'Agence pour la protection de l'environnement pour non réglementation des émissions de CO_2 produites par les navires et les avions[41]. Ces initiatives unilatérales peuvent compliquer la résolution internationale du problème des émissions des navires alors même que la nature du secteur maritime appelle à une action mondiale.

Possibilités offertes par le droit international

La réglementation des émissions des navires est un exercice juridique délicat parce que les navires se trouvent la plupart du temps en dehors des frontières de leur pays. Les États n'ont guère de pouvoir d'agir sur les émissions produites par les navires en dehors de leurs frontières, surtout quand ils se trouvent en haute mer[42]. La Convention des Nations unies sur le droit de la mer contient toutefois des dispositions relatives à la protection et à la préservation du milieu marin (Partie XII) qui habilitent les États à prendre, séparément ou conjointement selon qu'il convient, toutes les mesures qui sont nécessaires pour prévenir, réduire et maîtriser la pollution du milieu marin, quelle qu'en soit la source (article 194). La partie XII de la Convention donne donc aux États la possibilité de réglementer les émissions des navires et charge les États du pavillon, bien que l'article 211 fasse largement référence à l'OMI et d'autres organisations mondiales, d'adopter des lois ou des règlements en vue de prévenir, réduire et maîtriser la pollution.

Le processus réglementaire international est aussi entravé par la complexité des relations qui existent entre les pavillons de complaisance et les grands armements (ICCT, 2007). A l'heure actuelle, 75 % de tous les navires marchands du monde sont immatriculés dans des pays qui ne figurent pas dans l'Annexe I du Protocole de Kyoto alors qu'ils appartiennent pour la plupart à des armements installés dans des pays qui figurent dans

cette annexe[43]. Les volontés politiques sont difficiles à mobiliser parce que le transport maritime joue un rôle clé dans l'économie mondiale (il est estimé que 90 % des marchandises transportées de par le monde empruntent la voie maritime), mais le transport maritime est aussi le mode de transport le plus efficient et pourrait contribuer de façon déterminante à la réduction des émissions mondiales de gaz à effet de serre si des mesures appropriées étaient prises.

Les États du port jouissent de pouvoirs qui leur permettent de soumettre les navires qui traversent leurs eaux territoriales pour accoster dans un de leurs ports à un certain nombre d'obligations ou de repousser ceux qui ne s'y conforment pas. Il est juridiquement parlant difficile de réglementer la navigation en haute mer, mais il devrait quand même être possible de contraindre au respect de certaines règles aux points de départ ou d'arrivée au prix d'une coordination suffisante des droits des États du port[44]. Les règles édictées par les États du pavillon donnent aussi la possibilité de faire assumer la responsabilité de la pollution causée par les navires, mais cela dépend du bon vouloir des États dispensateurs des pavillons de complaisance qui pourraient craindre de perdre l'avantage comparatif que leur réglementation leur procure par rapport à d'autres États du pavillon potentiels.

L'étude *Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships* de l'OMI (2000) évalue les moyens potentiels de réduction des émissions de gaz à effet de serre produites par les navires. Elle analyse d'abord les règlements internationaux relatifs à la sécurité en mer (SOLAS) et à la protection du milieu marin (MARPOL) en vue d'identifier les obstacles qu'ils opposent à la réduction des émissions du transport maritime international[45]. Au nombre des règles de sécurité et de protection de l'environnement qui peuvent faire obstacle à la réduction des émissions de gaz à effet de serre en figurent certaines qui limitent la capacité de chargement (doubles coques), font augmenter la consommation d'énergie (multiplication des machines auxiliaires) ou régissent divers autres domaines (obligation de stockage des déchets liquides, réduction des émissions de NO_x et de SO_x, gestion des eaux de ballast, interdiction d'utilisation de peintures anti-encrassement contenant du Tributyltin)[46].

OMI (2000) s'étend aussi sur les mécanismes de réduction des émissions fondés sur les lois du marché, en soulignant toutefois que la recherche d'une solution efficace ne doit pas faire perdre de vue :

- qu'il est difficile d'identifier l'État ou le territoire où les services de transport maritime sont « générés »,
- qu'il est difficile aussi de déterminer tant la nationalité du navire que l'identité de son vrai propriétaire ou du responsable de son exploitation,
- que la majorité des transports mondiaux de vracs ont un pays de l'Annexe I pour origine ou destination,
- que les soutages sont généralement vendus aux opérateurs de navires par des négociants qui ne dépendent pas des grandes compagnies pétrolières et que la perception des taxes présente, partant, certaines difficultés administratives,
- que les mesures de réduction des émissions du secteur doivent être de portée mondiale pour être équitables et prévenir tout parasitisme, mais que certaines actions entreprises par des pays de l'Annexe I peuvent avoir un impact significatif sur les émissions mondiales et
- que le transport maritime international a appris depuis longtemps à résoudre des problèmes communs de sécurité et de pollution au moyen de normes internationales uniformes[47].

L'étude range l'indexation environnementale, les accords volontaires, la taxation des soutages sur la base de leur teneur en carbone, les normes communes d'émission et l'échange de droits d'émission au nombre des mesures fondées sur les lois du marché[48]. Elle arrive à leur propos à la conclusion que :

- la taxation des soutages sur la base de leur teneur en carbone n'est pas une solution viable parce que les possibilités de fraude fiscale sont énormes,
- les accords volontaires ne semblent pas être un moyen d'action très efficace dans le domaine du transport maritime international, mais qu'un certain volume de réduction peut procéder d'accords locaux ou d'accords conclus entre des pays de l'Annexe I/de l'OMI et des armateurs si les pays de l'Annexe I coordonnent leurs efforts,
- l'indexation environnementale ne semble pas être un outil très efficace de réduction des émissions, même si des réductions sont réalisables sur une base volontaire,
- l'échange des droits d'émission, avec association du transport maritime à d'autres branches d'activité dans les pays de l'Annexe I ou en tant que système distinct en dehors des pays de l'Annexe I, semble être une solution non viable parce que la capture des émissions des navires pose de très sérieux problèmes[49],
- les normes d'efficience énergétique ou d'émission semblent être une option prometteuse, surtout pour les navires neufs,
- la vente de quotas d'émissions générés par les mesures de réduction des émissions des navires neufs et peut-être aussi des navires en exploitation semble également être une option très prometteuse et pourrait, à long terme, se révéler être un outil économique qui inciterait puissamment les armateurs à réduire les émissions en usant de moyens techniques[50].

Le Centre for International Climate and Environmental Research (CICERO) analyse, dans un rapport de décembre 2007 qui s'appuie sur l'étude de l'OMI, cinq systèmes différents de réglementation des émissions de dioxyde de carbone des navires, à savoir un système de plafonnement et d'échange, une norme d'émission, une norme d'émission assortie d'une taxe, un système de taxation des émissions et un système combinant plafonnement/échange et taxation (CICERO, 2007). Ces systèmes ont été évalués au regard de leur efficience *environnementale*, c'est-à-dire leur capacité de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de leur efficience *financière*, c'est-à-dire leur faculté de minimisation du coût social du système, et de leur efficience *administrative*, c'est-à-dire leur pouvoir de minimisation des ressources nécessaires à la mise en œuvre du système[51]. Certains de ces systèmes, notamment la taxation des émissions et l'échange des droits d'émission, font appel aux mécanismes du marché tandis que d'autres, tels que les normes d'émission applicables aux navires, sont à ranger dans la catégorie des règles impératives. Le Centre s'est aussi intéressé aux système hybrides qui combinent par exemple la définition d'une norme avec l'imposition d'une amende en cas de non respect de la norme ou l'octroi d'une prime en cas de dépassement du niveau fixé par la norme.

Le rapport arrive à la conclusion qu'un système de normes sera sans doute plus facilement accepté qu'un système de taxes ou de plafonnement et d'échange, mais incite moins à réduire les émissions que des mécanismes fondés sur les lois du marché. Il considère que le système qui combine plafonnement et taxation est une solution de compromis dont l'efficience est moyenne en termes tant d'acceptabilité que de force incitatrice. Il constate, enfin, qu'il y a une vraie différence entre ce qu'il est actuellement

possible et ce qu'il est à terme souhaitable de faire en matière de réglementation des émissions de gaz à effet de serre des navires.

SO_x/NO_x et eaux usées

Les gaz à effet de serre ne sont évidemment pas les seuls problèmes environnementaux causés par le transport maritime international. Les principales dispositions législatives applicables en la matière sont réunies dans la *Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires* (connue sous le nom de MARPOL 73/78)[52] qui réglemente les émissions de divers polluants, dont les NO_x et le SO_x. L'Annexe VI de MARPOL 73/78 crée des zones de contrôle des émissions de SO_x (SECA) dans lesquelles des mesures plus strictes s'appliquent à ces émissions. La teneur maximale autorisée du gazole en soufre, qui avait été fixée au niveau assez peu restrictif de 4.5 % après 20 années de débat, est ramenée à 1.5 % dans les SECA (DieselNet, 2008). Les MEPC 57 et 58 sont convenus d'une baisse progressive de ce taux[53]. Les navires peuvent aussi s'équiper de systèmes qui permettent de limiter les émissions de SO_x (par exemple de dispositifs d'épuration des gaz d'échappement) plutôt que de se conformer à la norme des 1.5 % à condition de ne pas émettre plus de 6 grammes de SO_x par kWh (DieselNet, 2008). Les deux SECA actuelles couvrent la mer Baltique et la zone de la mer du Nord et de la Manche. Toute partie à l'Annexe VI de MARPOL peut proposer de créer une nouvelle SECA et l'Union européenne a donné à entendre[54] qu'elle allait demander que la Méditerranée en devienne une. Les États-Unis et le Canada proposent également de faire de la zone de 200 milles nautiques de large qui longe toute la côte ouest de l'Amérique du nord une SECA où la teneur maximale en soufre autorisée serait ramenée au niveau encore plus bas de 0.1 %[55]. Le respect des conditions de navigation dans la SECA pourrait toutefois poser problème étant donné que la Convention des Nations unies sur le droit de la mer n'habilite guère les États à agir en dehors de leurs eaux territoriales. Les États peuvent certes dénoncer les navires qui transgressent les limites à respecter pendant la traversée d'une SECA devant les autorités de l'État de leur pavillon, mais rien ne garantit que les armateurs seront pour autant poursuivis (Bunkerworld, 2008).

La réglementation des NO_x est semblable à celle du SO_x : leurs émissions sont plafonnées à un certain niveau à l'échelle mondiale et le plafond est rabaissé dans les zones de contrôle des émissions de NO_x. Le plafond mondial doit baisser progressivement jusqu'en 2016, date à laquelle il devrait se situer au niveau de 3 grammes de NO_x par kWh. L'objectif devrait pouvoir être atteint par la voie d'avancées technologiques et d'une optimisation du processus de combustion (DieselNet, 2008).

L'annexe VI de MARPOL 73/78 traite également des substances nocives pour l'ozone, notamment les halons et les CFC. Les substances nocives pour l'ozone sont désormais interdites de présence sur tous les navires, sauf pour les nouvelles installations fonctionnant avec des hydrocarbures partiellement chlorofluorés qui restent autorisées jusqu'au 1er janvier 2020 (OMI, 2008).

MARPOL 73/78 s'attaque également à d'autres problèmes environnementaux, notamment celui des eaux usées[56]. L'annexe IV (dans sa version amendée de 2004) interdit aux vieux navires de déverser des eaux usées à proximité des terres et fait obligation aux ports de se doter d'installations de traitement des eaux usées. Elle dispose également que les navires neufs doivent être équipés de dispositifs de traitement ou de rétention des eaux sanitaires. Ces dispositions sont devenues contraignantes en septembre 2008. L'OMI est également devenue un forum de discussion sur le problème des espèces invasives

importées principalement par les eaux de ballast. La *Convention internationale pour le contrôle et la gestion des eaux de ballast et sédiments des navires* négociée sous les auspices de l'organisation devait encore, en septembre 2008, être ratifiée par 16 pays pour entrer en vigueur[57]. Elle oblige, dans son article 2, « les États à s'engager à mettre pleinement en œuvre les disposition de la convention et de son annexe afin de *prévenir, réduire et finalement éliminer le déplacement d'organismes aquatiques nuisibles et pathogènes au moyen du contrôle et de la gestion des eaux de ballast et des sédiments des navires* » [soulignement de l'auteur][58].

Accords régionaux

Plusieurs régions de par le monde ont adopté des accords destinés à protéger leur milieu marin qui offrent également la possibilité d'y réglementer le transport maritime. La *Convention OSPAR*, signée en 1992 et entrée en vigueur en 1998, contient des dispositions relatives entre autres au déversement et à l'émission de substances dangereuses dans l'Atlantique du Nord-Est[59]. La convention vise à ramener la concentration de produits de synthèse dans le milieu marin à un niveau proche de zéro et celle des substances naturelles à un niveau proche du niveau historique d'ici 2020. La Commission OSPAR établit à cette fin une liste des *produits chimiques devant faire l'objet de mesures prioritaires* ainsi qu'une *liste OSPAR des substances potentiellement préoccupantes*. L'*Accord de Bonn* de 1969, « accord sœur » d'OSPAR, contient des dispositions relatives à la surveillance à exercer pour détecter la pollution causée par les navires et oblige les parties à échanger des informations, à réaliser les opérations de dépollution conjointement et à mener leurs actions de recherche et développement en commun[60]. L'Accord de Bonn a permis de réduire les marées noires d'environ 50 % depuis 1990[61].

La *Convention sur la protection du milieu marin et du littoral de la Méditerranée* de 1976 comprend un « Protocole d'immersion » qui vise à lutter contre la pollution causée par les déversements des navires et des avions[62]. Le déversement des substances qui figurent sur une liste est soit purement et simplement interdit, soit autorisé moyennant autorisation spéciale. Le protocole s'applique à tous les navires et avions immatriculés sur le territoire d'une partie ou battant son pavillon. La *Convention concernant la protection de l'environnement marin et des aires côtières du Pacifique du Sud-Est* de 1981 fait obligation à ses parties contractantes de prendre toutes les mesures nécessaires pour prévenir, réduire et contrôler la pollution, notamment celle que causent les navires[63]. La *Convention de Cartagena* de 1983 formule des obligations similaires pour toute la région des Caraïbes[64] tandis que la *Convention de Nairobi* de 1985 couvre la partie de l'océan Indien qui baigne les côtes des pays de l'Afrique de l'est[65] et la *Convention d'Antigua* de 2002 (qui n'est pas encore entrée en vigueur) le Pacifique du Nord-Est[66]. Ces accords régionaux sont des instruments de droit international qui offrent d'importants moyens de réglementation de la pollution causée par le transport maritime international.

Droit commercial

Il a déjà été souligné précédemment, à propos du transport aérien international, que le droit commercial, et plus particulièrement les articles XX du GATT et XIV de l'AGCS, offrent la possibilité d'agir sur le plan environnemental. Comme une grande partie des échanges internationaux de marchandises et quelques déplacements de voyageurs s'effectuent par mer, les exceptions du GATT et de l'AGCS permettent d'asseoir certaines règles sur le droit international. Les États pourraient ainsi décider de faire obstacle au débarquement de marchandises transportées par des navires qui ne respectent pas les

normes relatives aux émissions de gaz à effet de serre, de SO_x ou de NO_x. Conformément aux dispositions du GATT et de l'AGCS, les États doivent veiller à ce que les mesures qu'ils prennent à cet effet ne soient pas sources de discriminations arbitraires ou injustifiables à l'encontre de certains pays et ne constituent pas une restriction déguisée du commerce international. Le droit commercial international ne prenant pas le pas sur d'autres instruments juridiques, les mesures de réglementation du transport maritime de marchandises prises en application du GATT et de l'AGCS doivent être compatibles avec les autres dispositions applicables en la matière (notamment celles de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, de MARPOL 73/78 ou d'autres conventions de l'OMI). Le droit commercial ne limite toutefois pas, contrairement à ce qu'il est parfois prétendu, nécessairement et strictement les possibilités d'adoption de règles environnementales et pourrait, en fait, ouvrir la voie à la mise en place de mesures de protection.

Les règles de l'OMC relatives aux aides, à l'étiquetage et aux marchés s'appliquent toutes aussi bien au transport maritime qu'au transport aérien dont il a déjà été question précédemment. Il est donc loisible aux États de pousser à l'émergence d'un transport maritime plus respectueux de l'environnement en distribuant des aides soigneusement ciblées, en faisant coller sur les marchandises des étiquettes attestant du respect des normes par les navires qui les ont transportées ou en privilégiant les fournisseurs de services de transport maritime plus propres. La portée exacte de cette faculté de réglementation reste toutefois, comme il l'a déjà été souligné, mal précisée dans le droit de l'OMC.

États du port

Autorité des États du port

La Convention des Nations Unies sur le droit de la mer affirme que « les questions qui ne sont pas réglementées par la présente Convention continueront d'être régies par les règles et principes du droit international général. » Il s'en suit que des conventions nouvelles ou distinctes peuvent conférer aux États le pouvoir d'appliquer des nouvelles mesures environnementales internationales à leurs navires. Les États du port peuvent user, à l'égard des navires qui font escale dans leurs ports, de pouvoirs étendus qui ne le cèdent dans leur portée qu'à ceux des États du pavillon. La raison en est que les ports et les eaux intérieures font partie intégrante du territoire national. Pour faire pièce à cette prééminence des États du pavillon, les États du port ont conclu des mémorandums d'entente régionaux dont le plus connu est le *Mémorandum d'Entente de Paris sur le Contrôle des Navires par l'État du Port*. Ces mémorandums d'entente, qui assoient leur légitimité sur les articles 216, 218, 219, 220 et 226 de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, font obligation aux parties contractantes d'inspecter annuellement un certain pourcentage de navires afin de contrôler leur conformité aux dispositions de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer ainsi qu'aux règles et normes arrêtées par les organisations internationales compétentes ou par une conférence diplomatique. Les navires qui seraient cause d'une menace ou de dommages déraisonnables pour le milieu marin s'ils étaient autorisés à reprendre la mer après avoir été ainsi inspectés peuvent être retenus pour réparation ou être tenus de rejoindre le chantier de réparation le plus proche (qui se trouvera en règle générale dans un État où les coûts sont moins élevés)[67].

Navigation dans les eaux territoriales

La souveraineté sur la mer territoriale s'exerce dans les conditions prévues par les dispositions de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer et les autres règles du droit international[68]. Elle doit s'exercer dans le respect du droit de passage inoffensif[69], un droit qui est toutefois limité par le fait que 1) le passage n'est plus considéré comme inoffensif si le navire cause une pollution délibérée et grave, en violation de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer[70] et que 2) l'État côtier peut adopter, en conformité avec la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer et les autres règles du droit international, des lois et règlements qui peuvent porter sur la préservation de l'environnement de l'État côtier et la prévention, la réduction et la maîtrise de sa pollution[71]. L'État côtier qui a de sérieuses raisons de penser qu'un navire a transgressé ces lois et règlements peut procéder à l'inspection matérielle du navire et intenter une action[72].

L'État du port terminal peut également inspecter le navire suspect sur demande[73].

La définition de la pollution donnée par la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer peut limiter ou élargir le pouvoir qu'ont les États de légiférer dans le respect de la Convention parce qu'elle ne porte que sur la pollution du milieu marin. Elle précise en effet qu'il s'agit « d'introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin, y compris les estuaires, lorsqu'elle a ou peut avoir des effets nuisibles… »[74]. Quoique les États maritimes aient considéré dans un premier temps la Convention comme un bouclier contre les excès législatifs des États côtiers/États du port, la Convention fait relever bon nombre des questions traitées dans la partie XII (Pollution marine) d'un mécanisme obligatoire de règlement des différends mis en place en application des dispositions de la partie XV (ITLOS). Ces dispositions procurent un réel pouvoir de coercition aux États qui restent clairement dans les limites de ce qui leur est permis. En conclusion, il est permis d'avancer que : « La Convention sur le droit de la mer s'est gardée d'édicter des nouvelles normes pour certaines formes particulières de pollution et s'en tient à un régime global de droits et d'obligations fondé sur la codification et le développement des conventions qui régissent aujourd'hui et régiront demain la lutte contre la pollution. La Convention sur le droit de la mer incorpore donc de préférence les instruments qui ont été ou seront mis en place sous les auspices de l'OMI. La Convention est constellée d'expressions telles que « règles et normes internationales applicables », « règles arrêtées à l'échelon international », « règles internationales » et « règles et normes internationales généralement acceptées » qui ont pour avantage d'englober automatiquement toutes les normes techniques de l'OMI à mesure que l'organisation les adopte ou les amende pour les adapter aux circonstances » (Khee-Jin Tan, 2006, p. 195).

10.5. Transport terrestre international

Transport routier

Quoique des accords internationaux tels que le Protocole de Kyoto affectent de toute évidence la pollution causée par les émissions de gaz à effet de serre des véhicules routiers, il n'y a pas d'accords ou conventions internationaux spécifiquement axés sur la pollution causée par le transport routier. Cette pollution est au contraire généralement réglementée à des niveaux de pouvoir moins élevés, comme cela a été le cas avec la zone à émissions réduites instaurée par la ville de Londres[75]. Les principaux outils juridiques de réglementation du transport routier sont la *Convention sur la circulation routière* du 19 septembre 1949 et la *Convention sur la circulation routière* du 8 novembre 1968 qui, après

leur adoption dans le cadre de la CEE-ONU, ont ensuite largement transcendé ce cadre puisqu'elles avaient été ratifiées par respectivement 93 et 68 États en mai 2008[76]. La plupart des clauses de ces deux conventions routières internationales portent sur des questions de sécurité (quoique des amendements récents traitant de la création de pistes cyclables puissent être assimilés à une réglementation environnementale). La CEE-ONU estime que le secteur des transports devra, dans un avenir prévisible, continuer à compter avec les grands problèmes suivants : « Une augmentation continue de la consommation de combustibles fossiles et des émissions de CO_2, qui contribuera à aggraver le problème du changement climatique; […] Des flottes de véhicules anciennes, peu sûres et très polluantes, particulièrement en Europe de l'Est et du Sud-Est, ainsi que dans le Caucase et en Asie centrale, menant à un taux d'accidents accru et à des retombées environnementales »[77]. Il n'existe cependant encore aucun accord international, en dehors de ceux qui fixent des normes applicables aux véhicules, qui s'attaque à ces problèmes.

Consciente que 44 % de ses marchandises sont transportées par route et que 84 % des émissions de CO_2 imputables aux transports sont le fait du transport routier (Commission européenne, 2001), l'Union européenne a proposé notamment d'harmoniser les temps de conduite et les taxes sur les carburants, d'uniformiser les lois et règlements qui régissent le transport par route et d'imposer des normes « Euro » pour les émissions de NO_x et de particules. Les normes Euro VI vont ainsi réduire de 80 % les émissions de NO_x autorisées par les normes Euro V (pour les ramener à 0.4 gramme de NO_x par kWh) et les rapprocher par conséquent des normes américaines en 2013 (Commission européenne, 2007). En outre, le programme d' « écologisation » des transports adopté en juillet 2008 rassemble un paquet de mesures destinées à améliorer l'efficience du transport routier, à mieux internaliser les coûts de la congestion et de la pollution et à lutter contre la pollution acoustique (Commission européenne, 2008).

Le droit international offre donc de nombreuses possibilités de s'attaquer aux problèmes soulevés par la pollution causée par le transport routier. L'harmonisation des normes d'émission applicables aux véhicules neufs est une voie d'action prometteuse qui pourrait tout à la fois faciliter les échanges internationaux de véhicules automobiles en abattant l'obstacle technique constitué par la multiplicité des normes en vigueur et limiter la pollution par les NO_x ainsi que les émissions de gaz à effet de serre.

Transport ferroviaire

Les législateurs internationaux ne se sont jusqu'ici préoccupés que de la seule faisabilité du transport international par chemin de fer au niveau principalement régional. La *Convention relative aux transports internationaux ferroviaires*[78] a pour objectif premier de faciliter le transport international de voyageurs et de marchandises par chemin de fer. Quelque 42 États d'Europe, d'Afrique du Nord et du Proche-Orient l'ont ratifiée. Elle est complétée par le Protocole de Vilnius de 1999, entré en vigueur en 2006, qui contient le *Règlement international concernant le transport des marchandises dangereuses par chemins de fer* (RID – Annexe C de la Convention).

L'*Union internationale des chemins de fer* (UIC) étudie également l'impact du transport ferroviaire sur l'environnement. Ses études portent notamment sur le bruit, les émissions des moteurs diesels, l'efficience énergétique, le changement climatique et les marchés écologiques[79].

10.6. Autres régimes internationaux

L'impact négatif du transport sur l'environnement pouvant procéder non seulement du véhicule qui émet des substances polluantes telles que des gaz à effet de serre, des NO_x ou du SO_x, mais aussi des marchandises mêmes qu'il transporte, le droit international réglemente le transport des marchandises dangereuses dans le but d'éviter l'impact négatif que leur mauvaise préparation pour le transport ou leur dispersion à la suite d'un accident pourrait avoir sur l'environnement. La *Convention de Rotterdam*, adoptée en 1998 et entrée en vigueur en 2004, revêt une importance particulière dans ce contexte[80]. La Convention, qui comptait 128 parties contractantes en mai 2009, institue une procédure de consentement préalable pour le transport d'une large gamme de produits chimiques dangereux qui oblige les parties à décider si elles autorisent ou n'autorisent pas l'importation ou l'exportation de tel ou tel autre produit chimique inscrit sur la liste de l'annexe III de la Convention. L'échange de renseignements est un élément clé de la Convention et un guide de préparation des décisions contenant des informations relatives aux produits chimiques de l'annexe III et à leurs effets est remis à toutes les parties pour les aider à prendre leurs décisions. S'il est décidé d'autoriser l'exportation ou l'importation de produits chimiques, toutes les autres parties doivent en être informées et certaines règles d'étiquetage doivent être respectées. Les pays exportateurs doivent veiller à ce que l'exportation n'aille pas à l'encontre de la décision prise par le pays importateur dans le cadre de la procédure de consentement préalable. Deux parties venant de deux des sept régions géographiques identifiées par la Convention peuvent demander l'inclusion de nouveaux produits chimiques dans l'annexe III.

La *Convention de Rotterdam* offre donc une possibilité de réglementer les effets environnementaux potentiellement néfastes tant du transport que de l'utilisation de produits chimiques dangereux.

La CEE-ONU vise également à réglementer toutes les émissions de gaz à effet de serre et peut donc dans l'ensemble s'occuper aussi des émissions du transport international. Le Protocole de Kyoto fait toutefois aussi obligation aux parties figurant dans l'annexe 1 d'adopter « des mesures visant à limiter ou à réduire les émissions de gaz à effet de serre non réglementés par le Protocole de Montréal dans le secteur des transports » (Article 2. 1. *a) vii)*) et charge l'OMI et l'OACI de lutter, chacune dans son domaine, contre les émissions de gaz à effet de serre en disposant que : « Les Parties visées à l'annexe I cherchent à limiter ou réduire les émissions de gaz à effet de serre non réglementées par le Protocole de Montréal provenant des combustibles de soute utilisés dans les transports aériens et maritimes, en passant par l'intermédiaire de l'Organisation de l'aviation civile internationale et de l'Organisation maritime internationale, respectivement » (Art. 2.2). Il n'est pas sûr qu'un accord post-Kyoto charge à nouveau ces organisations d'œuvrer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre étant donné la maigreur des résultats atteints jusqu'ici.

10.7. Conclusions

Tant l'OMI que l'OACI offrent la possibilité de trouver des nouveaux mécanismes de réglementation et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Elles pourraient pour ce faire s'inspirer de ce qui a été fait pour réglementer (avec des résultats mitigés) les émissions de NO_x et de SO_x ainsi que le bruit des transports aériens et maritimes, les transports terrestres restant en revanche sous-réglementés en droit international. Le droit international n'exclut pas les actions unilatérales, mais penche nettement en faveur du

multilatéralisme. Les États ont la faculté de réglementer leurs propres moyens de transport et de définir les règles applicables sur leur territoire, surtout si leurs lois et règlements ne sont pas discriminatoires.

L'approche régionale ouvre plusieurs voies fructueuses à la discussion, l'élaboration et l'adoption de règles novatrices intégrables par la suite dans des systèmes mondiaux. La réglementation du bruit causé par le transport aérien montre que les approches unilatérales et/ou régionales peuvent déclencher la mise à l'étude et l'adoption de règles internationales ou mondiales. Cet exemple pourrait, en ce qui concerne plus particulièrement le changement climatique, jouer un rôle important à l'avenir quand l'Union européenne étendra unilatéralement le champ d'application de son système d'échange de quotas d'émissions au transport aérien, et peut-être même aussi maritime, international.

Les instances et les instruments multilatéraux ont dans le passé souvent mis l'accent sur la sécurité du transport international, mais les choses sont en train de changer. Les États commencent à s'intéresser aux problèmes environnementaux posés par le développement du transport international. Deux organisations internationales, l'OACI et l'OMI, ont été invitées à s'occuper sérieusement du changement climatique et des autres problèmes environnementaux causés par le transport international. Il est nécessaire de pousser la recherche plus avant pour identifier les règles existantes qui devraient être modifiées et analyser les possibilités d'adoption de nouvelles règles et instruments environnementaux offertes par ces organisations internationales.

Le présent chapitre n'évoque que quelques-unes des ouvertures exploitables à un niveau inférieur à celui du droit international. Il convient toutefois de souligner que dans la pratique, beaucoup d'autres instruments novateurs offrent également des possibilités. Les professionnels et les associations sectorielles sont largement à même d'imaginer et de tester des moyens d'atténuation de l'impact du développement du transport international sur l'environnement.

Le droit international limite parfois les États dans leur capacité de réglementer les activités néfastes à l'environnement, mais il offre en revanche de nombreuses possibilités de réglementer autrement l'impact du développement du transport international sur l'environnement. L'environnement de la planète attend en fait du droit international qu'il comble le vide que le Protocole de Kyoto laissera quand il arrivera à son terme en 2012 et la Conférence qui réunira les Parties à Copenhague en décembre 2009 sera décisive à cet égard.

Notes

1. Le présent chapitre se fonde pour l'essentiel sur le rapport « Instruments de politique destinés à limiter l'impact du développement du transport international sur l'environnement : Limitations et possibilités du droit international » présenté par Markus W. Gehring du Centre for International Sustainable Development Law, Montréal, Canada, au Forum mondial OCDE/FIT sur les transports et l'environnement à l'heure de la mondialisation qui s'est tenu à Guadalajara, au Mexique, du 10 au 12 novembre 2008 (*www.oecd.org/dataoecd/16/9/41579487.pdf*).

2. Markus W. Gehring remercie Gareth Price et Jarrod Hepburn, du CISDL, pour leur contribution aux travaux de recherche et à la rédaction du rapport, M. le Professeur Richard Janda, de la Faculté de droit de l'Université McGill et Mme le Professeur Marie-Claire Cordonier Segger, du CISDL, pour leurs suggestions ainsi que Frederic Perron-Welch pour son aide précieuse aux travaux de recherche.

3. Voir *www.icao.int/icao/en/env/aee.htm*. Le rapport complet peut être consulté en ligne sur *www.grida.no/climate/ipcc/aviation/index.htm*.
4. Miake-Lye *et al.* (2000) ; CICERO (2007), p. 21.
5. Conseil de l'OACI, 3-mars 2005, Comité de la protection de l'environnement en aviation.
6. CIJ, Affaire Nicaragua (1986), p. 128. « The principle of respect for territorial sovereignty is also directly infringed by the unauthorised overflight of a states's territory… ».
7. Convention de Chicago (1944), article 33.
8. Accord de transport aérien États-Unis/Union européenne (2007), article 15(2).
9. Shaw (2003), p. 854. Voir Convention de Vienne sur le droit des traités (1969), article 60(1).
10. Voir *http://eur-lex.europa.eu/LexUriSer.do?uri=OJ:L:2009:008:0003:0021:EN:pdf*.
11. Convention relative à l'aviation civile internationale, 1944, U.N.T.S. 29, article 38.
12. US v. Aluminium Co. of America (1945).
13. OMS, US – Gasoline (1996).
14. OMS, E.C. – Asbestos (2001).
15. Accord sur les subventions et les mesures compensatoires (1995), Parties II et III.
16. Articles I.1 et III.4.
17. Articles II.1 et XVII.1.
18. Article 2.2.
19. Décision 2/CP.3 de la Conférences des parties à Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.
20. Australia Space Activity Act (2002). L'Australie rappelle toutefois, dans une note au Secrétariat du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique de l'Assemblée générale des Nations Unies, qu'il n'y a toujours pas, en dépit des amendements de la loi, de définition de « l'espace extra-atmosphérique » en droit australien.
21. UIT, Déclaration de Bogota (1977).
22. *www.virgingalactic.com*.
23. Virgin Galactic affirme que son système d'accès à l'espace est « radicalement différent » et consommera en fait beaucoup moins.
24. Voir Bureau des affaires spatiales des Nations Unies *www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11E.pdf*.
25. Voir décision 9/2 du Comité INC 2 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, décision 4/CP.1 du COP et décision 2/CP.3 du COP citées dans le rapport de l'IIDD sur l'atelier technique norvégien hors CCCC sur les émissions des transports aériens et maritimes consultable à l'adresse suivante : *www.iisd.ca/YMB/SDOSL/*.
26. L'article 2.2 dispose que : « Les Parties visées à l'annexe I cherchent à limiter ou réduire les émissions de gaz à effet de serre non réglementées par le Protocole de Montréal provenant des combustibles de soute utilisés dans les transports aériens et maritimes, en passant par l'intermédiaire de l'Organisation de l'aviation civile internationale et de l'Organisation maritime internationale, respectivement ».
27. Convention portant création de l'Organisation maritime internationale, article 1^{er}(a).
28. Ibid., article 1^{er}(d).
29. Ibid., article 59.
30. Ibid., article 2.
31. Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, consultable sur *www.un.org/Depts/los/convention_agreementsd/texts/unclos/closindx.htm*.
32. COP (1997), MARPOL 73/78, résolution 8.
33. Résolution A.963(23) de l'OMI sur les lignes d'action et les usages de l'OMI concernant la réduction des émissions de gaz à effet de serre par les navires (2009) s.1.
34. OMI/MEPC/Circ. 471, 29 juillet 2005.

35. OMI/MEPC 55/23, annexe 9.
36. Les pays en développement (Afrique du Sud, Arabie Saoudite, Brésil, Chine, Inde et Vénézuéla) ont violemment contesté ce point en arguant de leurs responsabilités communes, mais différenciées. Voir MEPC 57/WP.8, 2.2.
37. Voir MEPC 57/WP.8, Rapport du Groupe de travail sur les émissions de gaz à effet de serre des navires, 2.1.
38. Voir MEPC 57/WP.8, annexe 1 pour une liste des mesures à court et long terme proposées.
39. Projet de termes de référence pour la réunion MEPC 57/WP.8, annexe 3.
40. *www.reuters.com/article/environmentNews/idUSL1639411220070416*.
41. *www.earthjustice.org/news/press/2008/earthjustice-will-sue-epa-to-reduce-global-warming-pollution-from-ships-and-aircraft.html*.
42. Voir articles 45 (Passage inoffensif), 87 (Liberté de la haute mer), 91 (Nationalité des navires), 92 (Condition juridique des navires) et 94 (Obligations de l'État du pavillon) de la Convention sur le droit de la mer.
43. Eivind Vågslid, OMI, dans IIDD (2007).
44. CICERO (2007) p. 12 et CE Delft *et al.* (2006), p. 246.
45. OMI (2000), p. 136.
46. OMI (2000), pp. 141 à 147.
47. OMI (2000), p. 149.
48. Les différentes possibilités sont analysées en détail dans OMI (2000), pp. 150 à 162.
49. Kågeson (2009) pense le contraire.
50. OMI (2000), p. 168.
51. CICERO (2007), p. 1.
52. Voir *www.imo.org/Conventions/contents.asp?doc_id=678&topic_id=258*.
53. Voir *www.imo.org/Newsroom/mainframe.asp?topic_id=1709&doc_id=10262*.
54. Voir *http://safemedproject.org/filebank/documents/task370/Consolidated_Final_Report_(E).pdf*.
55. Voir *www.epa.gov/oms/regs/nonroad/marine/ci/420f09015.htm*.
56. MARPOL 73/78, Annexe IV : Prévention de la pollution par les navires.
57. OMI, État de la ratification des conventions de l'OMI : *www.imo.org/Conventions/mainframe.asp?topic_id=247*.
58. TEMATEA donne plus d'informations sur les espèces invasives et les conventions correspondantes : *www.tematea.org*.
59. *www.ospar.org*.
60. *www.bonnagreement.org*.
61. *www.bonnagreement.org/eng/html/Briefing_document/Briefing%20document.htm*.
62. Protocole pour la prévention et l'élimination de la pollution de la mer Méditerranée par les opérations d'immersion effectuées par les navires et les aéronefs.
63. Articles 3 et 4.
64. Convention pour la protection et la mise en valeur du milieu marin dans la région des Caraïbes, articles 4, 5 et 6.
65. Convention pour la protection, la gestion et la mise en valeur du mileu marin et côtier de la Région de l'Afrique orientale, articles 4, 5 et 6.
66. Convention pour la coopération à la protection et au développement durable du milieu marin et côtier du Pacifique Nord-Est, articles 5 et 6.
67. Convention sur le droit de la mer, article 226.1.c.
68. Convention sur le droit de la mer, article 2.3.

69. Convention sur le droit de la mer, article 17. Il faut être attentif à la distinction qui existe entre État côtier et État du port.
70. Convention sur le droit de la mer, article 19.2.h.
71. Convention sur le droit de la mer, article 21.1.f.
72. Convention sur le droit de la mer, article 220.2.
73. Convention sur le droit de la mer, article 218.3.
74. Convention sur le droit de la mer, article 1.1.4.
75. *www.london.gov.uk/mayor/environment/air_quality/lez.jsp*.
76. Division des transports de la CEE-ONU : *www.unece.org/trans/conventn/legalinst.html*.
77. Division des transports de la CEE-ONU : *www.unece.org/trans/presentTransDiv.html*.
78. Organisation intergouvernementale pour les transports internationaux par chemins de fer : *www.otif.org*.
79. *www.uic.asso.fr/environnement/spip.php?page=sommaire*.
80. Secrétariat de la Convention de Rotterdam : *www.pic.int*.

Bibliographie

Traités et conventions

Convention relative à l'aviation civile internationale, 1944, 15 U.N.T.S 29, (Convention de Chicago).

Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce 30 octobre 1947, 55 U.N.T.S. 194, C.T.S. n° 31 (1948) *(entré en vigueur à titre provisoire le 1er janvier 1948)* [GATT].

Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets, 13 novembre 1972, 1046 U.N.T.S. 120, 11 I.L.M. 1294

Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL), 2 novembre 1973, IMO Doc. MP/CONF/ WP.35, 12 I.L.M. 1319

Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, 10 décembre 1982, 1833 U.N.T.S. 3, 21 I.L.M. 1245 (entrée en vigueur le 16 novembre 1994)

Accord sur le transport aérien entre l'Union européenne et les États-Unis, 2007, [2007] JO L 134/13.

Convention de Vienne sur le droit des traités, 1969, 1155 U.N.T.S 331, 8 I.L.M 679

Accord sur les subventions et les mesures compensatoires [Accord SMC], 1995.

Affaires

CJI, Case Concerning Military and Paramilitary Activities in and Against Nicaragua, Nicaragua v. United States, [1986] I.C.J. Rep 14 at 128.

US Court of Appeals (2nd Cir), US v. Aluminium Co. of America (1945).148 F.2d 443 (1945).

OMC, Communautés européennes – Mesures affectant l'amiante et les produits en contenant, 2001, WT/DS135/AB/R.

OMC, États-Unis – Normes concernant l'essence nouvelle et ancienne formules, 1996, WT/DS2/AB/R.

Publications spécialisées

Abeyratne, R. (1996), *Legal and Regulatory Issues in International Aviation*, Transnational Publishers, New York.

Bunkerworld (2008), « Where is Emission Legislation Going? » Bunkerworld, Janvier/Févier 2008. Disponible à l'adresse : *www.bunkerworld.com/news/magazine_features/2008/01/2008-01-C.pdf*.

Centre for Clean Air Policy (2004), « Bunker Fuels: Summary and Options », *Dialogue on Future International Actions to Address Global Climate Change*, 16-19 mai 2004, Disponible à l'adresse : *www.ccap.org/docs/resources/201/Bunker_Fuels-Summary_and_Options_Schmidt.pdf*.

CICERO (2007), *Climate Regulation of Ships*, Center for International Climate and Environmental Research, Oslo. Disponible à l'adresse : *www.cicero.uio.no/media/5852.pdf*.

CE Delft *et al.* (2006), *Greenhouse Gas Emissions for Shipping and Implementation Guidance for the Marine Fuel sulphur Directive*. Étude commanditée par la Commission européenne. Disponible à l'adresse : *http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/transport/final_report.pdf*.

CE (2001), *2374e réunion du Conseil de l'UE*, 15 et 16 octobre 2001, compte rendu, Conseil européen, Bruxelles. Disponible à l'adresse : *www.consilium.europa.eu/cms3_fo/showPage.asp?id=339&lang=en*.

Commission européenne (1999), Communication from the Commission on progress made in the negotiations with the United States on a new generation noise standard for subsonic civil jet aeroplanes. Disponible à l'adresse : *http://aei.pitt.edu/3552/01/000701_1.pdf*.

Commission européenne (2001), *Livre blanc: la politique européenne des transports à l'horizon 2010*. Commission européenne, Bruxelles. Disponible à l'adresse : *http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/l24007_fr.htm*.

Commission européenne (2004), *Current International Shipping Market Trends – Community Maritime Policy Priorities and Legislative Initiatives*, Atelier de l'OCDE sur les transports maritimes, Paris, 4-5 novembre 2004.

Commission européenne (2007), *Des bus et des poids lourds plus propres: limites plus contraignantes pour les émissions d'oxydes d'azote et de particules (Euro VI)*, Communiqué de presse de la Commission européenne. Disponible à l'adresse : *http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/1989&format=PDF&aged=1&language=FR&guiLanguage=en*.

Commission européenne (2008), *Ecologisation des transports : un nouveau paquet de mesures de la Commission pour promouvoir la viabilité environnementale du secteur*, Communiqué de presse de la Commission européenne. Disponible à l'adresse : *http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/1119&format=PDF&aged=0&language=FR&guiLanguage=en*.

Delft, O. *et al.* (2005), *Giving Wings to Emissions Trading*, Rapport destiné à la Commission européenne. Disponible à l'adresse : *www.eel.nl/documents/aviation_et_study.pdf*.

DieselNet (2008), *Emissions Standards: International: IMO Marine Engine Regulations*, Disponible à l'adresse : *www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php*.

Eyring, V. *et al.* (2005), « Emissions from International Shipping: 2. Impact of Future Technologies on Scenarios until 2050 », *Journal of Geophysical Research*, vol. 110, D17306, doi : *http://dx.doi.org10.1029/2004JD005620*.

Fischer, J. (2000), *Aircraft Hushkits: Noise and International Trade*, National Library for the Environment, Library of Congress, *http://digital.library.unt.edu/govdocs/crs/permalink/meta-crs-1341:1*.

Fleming, G. (2007), *Modelling Aviation Emissions on a Local and Global Scale*, ICAO Colloquium on Aviation Emissions, 15 mai 2007, *www.icao.int/EnvClq/CLQ07/Presentations/fleming.pdf*.

Fleuti, E. et J. Polymris (2004), *Aircraft NO_x within the operational LTO cycle*, UNIQUE (Flughafen Zurich AG) et Swiss Flight Data Services, *www.aero-net.org*.

ICCT (2007), *Air Pollution and Greenhouse Gas Emissions from Ocean-going Ships: Impacts, Mitigation Options and Opportunities for Managing Growth*, The International Council on Clean Transportation, Disponible à l'adresse : *www.theicct.org/documents/MarineES_Final_Web.pdf*.

IISD (2007), *Technical Workshop on Bunker Fuel Emissions Bulletin*, vol. 146 n° 1, lundi 8 octobre 2007. International Institute for Sustainable Development. Disponible à l'adresse : *www.iisd.ca/download/pdf/sd/ymbvol146num1e.pdf*.

Jakhu, R. (2007), « Legal Issues of Satellite Telecommunications, the Geostationary Orbit and Space Debris », *Astropolitics*, Volume 5, Issue 2, p 173-208.

Kågeson, Per (2009), *Making International Transport Pay its Climate Bill*. Rapport présenté à l'Atelier sur les impacts environnementaux du transport international, Forum international des transports, Leipzig, mai 2009. Disponible à l'adresse : *www.internationaltransportforum.org/2009/workshops/pdf/ws5-Kageson.pdf*.

Khee-Jin Tan, Alan (2006), *Vessel-Source Marine Pollution: The Law and Politics of International Regulation*, Cambridge University Press.

Knoor, A. et A. Arndt (2002), *Noise Wars: The EU's Hushkit Regulation, Environmental Protection or "Eco"-Protectionism?*, Université de Brême. Disponible à l'adresse : *www.iwim.uni-bremen.de/publikationen/pdf/w023.pdf*.

Kraemer, R.A, F. Hinterberger et R. Tarasofsky (2007), *What Contribution Can Trade Policy Make Towards Combating Climate Change?,* Étude commanditée par la Commission du commerce international du

Parlement européen. Disponible à l'adresse : *www.ecologic.de/download/projekte/250-299/270-03/270-03_final_report.pdf*.

Lloyd's Register (2008), Report of the First Intersessional Meeting of the Working Group on GHG Emissions from Ships, Lloyd's Register, Disponible à l'adresse : *www.lr.org/NR/rdonlyres/4F86EC70-FAC1-41D5-89AF-8E20AB3D0C3D/81717/LRIMO1stGHGIntersessionalWorkingGroupReport1.pdf*.

Mendes de Leon, P. (2002), « The Dynamics of Sovereignty and Jurisdiction in International Aviation Law » dans G. Kreijen (ed.), *State, Sovereignty and International Governance*, Oxford University Press, Oxford.

McCrudden, C. (2008), *Buying Social Justice*, Oxford University Press, Oxford.

Miake-Lye, R. *et al.* (2000), *Aviation and the Changing Climate*, Aerospace America, septembre 2000, Rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, *www.aiaa.org/aerospace/Article.cfm?issuetocid=14&ArchiveIssueID=5*>.

Milde, M. (1998), « Problems of Safety Oversight: Enforcement of ICAO Standards », dans Chia-Jui Cheng (ed.) (1998), *The Use of Air and Outer Space: Cooperation and Competition*, Kluwer Law International, Boston.

Minnis *et al.* (2004), « Contrails, Cirrus Trends, and Climate », *Journal of Climate*, vol. 17, p. 1671, *www-pm.larc.nasa.gov/sass/pub/journals/Minnis.etal.JClim.04.pdf* .

Morell, P. (2007), « An Evaluation of Possible EU Air Transport Emissions Trading Scheme Allocation Methods », *Energy Policy,* vol. 35, issue 11.

OMC (2000), *Information Relevant to the Consideration of the Market Access Effects of Eco-Labelling Schemes*, Comité du commerce et de l'environnement de l'OMC, WT/CTE/W/150, OMC, Genève.

OMC (2008), *Rapport sur le commerce mondial 2008 – Le commerce à l'heure de la mondialisation,* OMC, Genève.

OMI (2000), *Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships*, Issue n° 2. Organisation maritime internationale. Disponible à l'adresse : *http://unfccc.int/files/methods_and_science/emissions_from_intl_transport/application/pdf/imoghgmain.pdf*.

OMI (2008), *Prevention of Air Pollution from Ships*. Site web de l'Organisation maritime internationale, *www.imo.org/Environment/mainframe.asp?topic_id=233*.

RCN Wit *et al.* (2005), *Giving Wings to Emissions Trading: Inclusion of Aviation under the European Emissions Trading System (ETS): Design and Impacts*, Rapport destiné à la Commission européenne, Direction générale de l'environnement. Disponible à l'adresse : *http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/aviation_et_study.pdf*.

Shaw, M. (2003), *International Law*, 5th edition, Cambridge University Press, Cambridge.

UIT (1976), *Déclaration de Bogotá*, UIT Doc. WARC-155 (1977) 91-E.

United States Department of State (2000), *Memorial of the United States of America: Disagreement Arising under the Convention on International Civil Aviation Done at Chicago on December 7, 1944*. présenté devant le Conseil de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) Under the ICAO Rules for the Settlement of Differences (DOC. 778/2) Washington DC.

van Velzen, A. et R.C.N. Wit (2000), *National Allocation of International Aviation and Marine CO_2 Emissions*. Study commissioned by the Dutch Civil Aviation Authority. Disponible à l'adresse : *www.ce.nl/pdf/00_7568_35.pdf*.

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. La Commission 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 2010 02 2 P) ISBN 978-92-64-07292-3 – nº 56938 2010

Mondialisation, transport et environnement

Quel est l'impact de la mondialisation sur le secteur des transports ? Et sur l'environnement ? C'est à ces questions, et à d'autres encore, que ce livre entend répondre. Il examine en détail la manière dont les niveaux d'activité du transport maritime, de l'aviation et du fret routier et ferroviaire ont été affectés par la mondialisation, et évalue l'impact que ces évolutions ont eu sur l'environnement. L'ouvrage passe également en revue, dans une optique économique aussi bien que du point de vue du droit international, les instruments dont les pouvoirs publics peuvent faire usage, pour atténuer les répercussions néfastes pour l'environnement.

À lire également

Perspectives de l'environnement à l'horizon 2030 (2008)

The Economics of Climate Change Mitigation: Policies and Options for a Post-Kyoto Global Action Plan (2009, en anglais uniquement)

Merci de citer cet ouvrage comme suit :

OCDE (2011), *Mondialisation, transport et environnement*, Éditions OCDE.
http://dx.doi.org/10.1787/9789264072930-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.

éditions OCDE

www.oecd.org/editions

ISBN 978-92-64-07292-3
97 2010 02 2 P

