Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE 2018

S'ADAPTER AUX BOULEVERSEMENTS TECHNOLOGIQUES ET SOCIÉTAUX

(VERSION ABRÉGÉE)

OCDE

LAUNCH VERSION

Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE 2018 (version abrégée)

S'ADAPTER AUX BOULEVERSEMENTS TECHNOLOGIQUES ET SOCIÉTAUX

OCDE
DES POLITIQUES MEILLEURES POUR UNE VIE MEILLEURE

LAUNCH VERSION

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 officielles des pays membres de l'OCDE.

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

Merci de citer cet ouvrage comme suit :
OCDE (2018), *Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE 2018 (version abrégée) : S'adapter aux bouleversements technologiques et sociétaux*, Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE, Éditions OCDE, Paris.
https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2018-fr

ISBN 978-92-64-30780-3 (imprimé)
ISBN 978-92-64-30781-0 (pdf)

Annuel : Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE
ISSN 2518-6280 (imprimé)
ISSN 2518-6175 (en ligne)

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

Crédits photo : © Sylvain Fraccola

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

© OCDE 2018

La copie, le téléchargement ou l'impression du contenu OCDE pour une utilisation personnelle sont autorisés. Il est possible d'inclure des extraits de publications, de bases de données et de produits multimédia de l'OCDE dans des documents, présentations, blogs, sites internet et matériel pédagogique, sous réserve de faire mention de la source et du copyright. Toute demande en vue d'un usage public ou commercial ou concernant les droits de traduction devra être adressée à *rights@oecd.org*. Toute demande d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales devra être soumise au Copyright Clearance Center (CCC), *info@copyright.com*, ou au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), *contact@cfcopies.com*.

Préface

L'innovation représente pour les pays un levier de compétitivité, de réactivité face au changement et d'amélioration des niveaux de vie. Elle jette les bases de la création d'entreprises et d'emplois nouveaux, et aide à affronter les défis sociaux et mondiaux urgents, dans des domaines tels que la santé, le changement climatique, ou la sécurité énergétique et alimentaire.

Si les possibilités d'innovation sont immenses, elles ne sont pas pour autant automatiques. De nouvelles réalités remodèlent peu à peu l'innovation et les décideurs doivent déterminer si les politiques de la science, de la technologie et de l'innovation (STI) continuent de remplir leur rôle à l'appui d'une croissance durable et de l'amélioration du bien-être sociétal. L'édition 2018 de la publication *Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE* a vocation à aider les pays à mieux comprendre les incidences des tendances et des enjeux à l'œuvre sur les pratiques scientifiques, les développements technologiques, les processus d'innovation et les politiques STI.

Un certain nombre de phénomènes changent la donne, tels la montée en puissance de l'intelligence artificielle (IA), conjuguée à une explosion inédite des volumes de données, ou encore le rôle, en rapide évolution, d'économies qui, à l'image de la Chine, sont à la pointe du développement de certaines technologies émergentes. L'IA promet de révolutionner les processus scientifiques, et des pôles d'activités STI voient le jour, offrant aux pays de nouvelles possibilités de tirer parti de la science et de l'innovation. Parallèlement, les questions de protection de la vie privée, de sécurité numérique, de sûreté, de transparence et de concurrence sont devenues pour les pouvoirs publics des priorités qui ne sauraient trouver de solution rapide, mais appellent des réponses nouvelles et coordonnées.

Des exigences croissantes pèsent sur l'innovation, dont on attend non seulement qu'elle stimule la croissance et les créations d'emplois, mais aussi qu'elle aide à affronter un large éventail de défis sociaux et mondiaux repris dans les Objectifs de développement durable (ODD). La priorité donnée aux ODD met en exergue l'importance de mieux faire concorder l'innovation et les besoins des individus. À cet égard, la transformation numérique peut favoriser la participation des citoyens à l'innovation – voire sa démocratisation – et la rendre plus inclusive. Or aujourd'hui encore, rares sont les programmes de financement de la recherche et de l'innovation qui font explicitement référence aux ODD.

On est à l'heure actuelle face à un défi de taille : mettre en place des mécanismes de gouvernance et de pilotage à même d'apporter des réponses aux préoccupations du public et aux risques inhérents à certaines technologies émergentes, telles l'IA ou l'édition génomique, de sorte que les résultats servent la société. Face au rythme effréné des progrès technologiques et aux incertitudes qui les accompagnent, les décideurs peinent à garder un œil sur ces technologies émergentes. Tout l'enjeu consiste désormais à assurer la prévention, la correction ou la limitation de leurs effets néfastes potentiels, sans pour autant brider l'activité entrepreneuriale.

Exploiter le plein potentiel de l'innovation au service de nos économies et de nos sociétés ne pourra se faire sans une meilleure compréhension des évolutions qui transforment le paysage de l'innovation. Les nouvelles opportunités s'accompagnent d'un creusement des écarts de gains de productivité entre les entreprises, et des disparités de performances

d'innovation entre les régions et les pays. Des efforts restent à déployer pour faire en sorte que l'innovation contribue pleinement à l'inclusion sociale et aux objectifs environnementaux, et que les individus soient mieux préparés à prendre part et s'adapter aux bouleversements que les processus d'innovation peuvent induire dans leur vie.

Les pouvoirs publics doivent faire preuve de plus de souplesse et de réactivité, davantage s'ouvrir à la participation des parties prenantes et mieux s'informer des possibilités et des défis que font naître les nouvelles technologies. Compte tenu de l'ampleur des enjeux, la coopération internationale s'avère essentielle, mais est menacée par l'érosion du multilatéralisme dans d'autres domaines. C'est pourquoi nous devons préserver notre vision internationale, défendre l'ouverture et soutenir la coopération multilatérale afin de stimuler l'innovation au service de la croissance et du bien-être, et d'en gérer les risques pour le bénéfice de tous. Il est de notre responsabilité de travailler de concert à l'élaboration de politiques STI meilleures, aux niveaux national et international, afin de veiller à ce que l'innovation soit porteuse d'une vie meilleure pour l'ensemble de la société, pour les générations actuelles et à venir. L'OCDE est déterminée à contribuer à faire de cet objectif une réalité.

Angel Gurría

Secrétaire général

OCDE

Avant-propos

La publication *Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE 2018* est la douzième édition d'une série biennale qui passe en revue les principales tendances relatives aux politiques de la science, de la technologie et de l'innovation (STI) dans les pays de l'OCDE et plusieurs grandes économies partenaires. Les 14 chapitres qui la composent abordent divers sujets d'intérêt, des opportunités et défis liés à l'élargissement de l'accès aux données, aux incidences de l'intelligence artificielle sur la science et l'industrie manufacturière, en passant par l'influence de la transformation numérique sur la recherche et l'innovation. On y examine par ailleurs les carences des mesures prises par les pouvoirs publics, la façon dont les Objectifs de développement durable remodèlent les priorités d'action dans le domaine de la STI, et la nécessité d'adopter des approches plus souples et réactives en matière de gouvernance des technologies et de conception des politiques. Si ces mutations profondes ne vont pas sans poser des difficultés aux décideurs, la révolution numérique apporte également des solutions qui les aident à améliorer le ciblage, la mise en œuvre et le suivi des politiques.

Cette étude s'appuie sur les travaux universitaires les plus récents menés dans le domaine de la STI, que viennent compléter des données statistiques sur la recherche et l'innovation, ainsi que des données sur des tendances et des sujets plus vastes. Elle se nourrit également largement des réponses des pays à l'édition 2017 de l'enquête internationale sur les politiques de la science, de la technologie et de l'innovation, menée conjointement par la Commission européenne et l'OCDE (https://stip.oecd.org). Enfin, elle bénéficie de contributions d'experts et d'universitaires de renom qui enrichissent les débats et apportent un éclairage plus personnel – parfois sujet à controverse.

Une conclusion commune se dégage des différents chapitres : la nécessité de mettre en place des politiques plus évolutives, capables de mieux répondre aux bouleversements scientifiques, technologiques et sociétaux. Pour y parvenir, les pouvoirs publics doivent eux-mêmes gagner en réactivité, tout en continuant de veiller à la cohérence des politiques et de préserver la confiance des citoyens. Pendant cette nécessaire transition, les technologies numériques émergentes, en rapide évolution, sont à la fois synonymes de défis pour les décideurs, et porteuses de solutions qui les aident à optimiser le ciblage, la mise en œuvre et le suivi de leurs interventions.

Chacun des chapitres de l'édition 2018 des Perspectives STI cite des exemples concrets de programmes d'action nationaux qui contribuent au processus d'apprentissage fondé sur l'examen des politiques internationales. Les liens entre les progrès de la STI et les défis économiques et sociaux auxquels sont confrontés les pays, quel que soit leur niveau de revenu, sont empreints de complexité et d'incertitudes. D'où la nécessité, plus prégnante que jamais, de poursuivre les échanges d'informations tant sur les politiques en place que sur les déterminants de leur réussite ou de leur échec.

Remerciements

L'édition 2018 de la publication *Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE* (les « Perspectives STI ») a été préparée sous l'égide du Comité de la politique scientifique et technologique de l'OCDE (CPST), avec le concours de ses groupes de travail. Les délégués auprès du CPST ont apporté une contribution notable par leurs réponses à l'enquête internationale sur les politiques de la science, de la technologie et de l'innovation, menée conjointement par la Commission européenne et l'OCDE (STIP Compass). Des experts de renom ont en outre apporté des éclairages précieux (dans les rubriques « Point de vue ») qui ont permis d'enrichir et d'approfondir les débats.

L'édition 2018 des Perspectives STI est le fruit d'un effort collectif, coordonné par la Division de la politique de la science et de la technologie (STP) de la Direction de la science, de la technologie et de l'innovation de l'OCDE (DSTI). Elle a été élaborée sous la direction de Dominique Guellec. Michael Keenan et Philippe Larrue en ont assuré la coordination générale, et Sylvain Fraccola, la coordination administrative.

Le chapitre 1, intitulé « Perspectives de la science, de la technologie et de l'innovation 2018 – Introduction », a été préparé par Michael Keenan et Philippe Larrue, avec la contribution de Dominique Guellec.

Le chapitre 2, « Intelligence artificielle et technologies de la prochaine révolution de la production », a été préparé par Alistair Nolan (DSTI). Il s'appuie en partie sur le premier chapitre (« La prochaine révolution de la production : principaux enjeux et propositions d'action ») de l'ouvrage intitulé *La prochaine révolution de la production : Conséquences pour les pouvoirs publics et les entreprises*, publié par l'OCDE en 2017. Il a bénéficié des observations de David Rosenfeld, de la Division des analyses économiques et des statistiques de la DSTI, de Luis Aranda, de la Division de la politique de l'économie numérique de la DSTI, de Luke Mackle, du Secrétariat des relations mondiales de l'OCDE, ainsi que des contributions de Linde Wester, qui achève actuellement un doctorat sur l'informatique quantique à l'Université d'Oxford. Enfin, il a bénéficié de la contribution de Greg Ameyugo, de l'institut CEA Tech List.

Le chapitre 3, « Tour d'horizon des politiques d'innovation à l'ère numérique », a été préparé par Dominique Guellec et Caroline Paunov (DSTI). Il se base sur le projet « Digital and open innovation » conduit récemment par le Groupe de travail de l'OCDE sur la politique de l'innovation et de la technologie (TIP). Il a bénéficié des contributions de Sandra Planes Satorra (DSTI), d'Erik Brynjolfsson et d'Avinash Collis, du Massachusetts Institute of Technology, et de Luc Soete, de l'Université de Maastricht. Les commentaires détaillés des experts et délégués du TIP et du CPST ont été vivement appréciés.

Le chapitre 4, « Objectifs de développement durable et collaboration internationale dans le domaine de la STI », a été préparé par Mario Cervantes et Soon Jeong Hong (DSTI). Il a bénéficié des contributions d'Ian Hughes, de l'Université de Cork, et d'Alfred Watkins du Global Solutions Summit.

Le chapitre 5, « Intelligence artificielle et apprentissage automatique au service de la science », a été préparé par Ross D. King, de l'Université de Manchester, et Stephen Roberts, de l'Alan Turing Institute de l'Université d'Oxford, sous la direction d'Alistair Nolan (DSTI). Il a également bénéficié de la contribution de Gary Marcus, de l'Université de New York.

Le chapitre 6, « Élargissement de l'accès aux données au service de la science, de la technologie et de l'innovation », a été préparé par Alan Paic et Carthage Smith (DSTI), à la lumière des activités récentes du CPST et du Forum mondial de la science de l'OCDE (FMS). Il a bénéficié des contributions de Michael Keenan, Membre du gouvernement australien, et Michelle Willmers, de l'Université de Cape Town.

Le chapitre 7, « Égalité femmes-hommes dans le contexte d'une STI en mutation », a été préparé par Elizabeth Pollitzer, de l'organisation Portia, Carthage Smith (DSTI) et Claartje Vinkenburg, de la Vrije Universiteit Amsterdam.

Le chapitre 8, « Approches et instruments nouveaux en matière de financement de la recherche publique », a été préparé par Dominique Guellec, Philippe Larrue et Frédéric Sgard (DSTI), à la lumière des travaux récents du CPST et du FMS. Il a bénéficié de la contribution d'Erik Arnold, du KTH Royal Institute of Technology (KTH).

Le chapitre 9, « Gouvernance des politiques en matière de recherche publique dans les pays de l'OCDE », a été préparé par Martin Borowiecki et Caroline Paunov, de la DSTI, à la lumière des activités récentes du TIP. Il s'appuie sur les travaux menés récemment par le TIP sur le transfert de connaissances entre l'industrie et la science. Cynthia Lavison, Andrés Barreneche, Diogo Machado, Evgeny Moiseichev, Tadanori Moriguchi, Sandra Planes Satorra, Akira Tachibana et Malte Tötzke ont contribué à l'élaboration de la base de données de l'OCDE sur la Gouvernance de la Recherche Publique (RESGOV). Les commentaires détaillés des experts et délégués du TIP et du CPST ont été vivement appréciés.

Le chapitre 10, « Gouvernance des technologies et processus d'innovation », a été préparé par Sebastian Pfotenhauer, de l'Université technique de Munich, et David Winickoff (DSTI). Il s'appuie sur les travaux menés récemment par le Groupe de travail de l'OCDE sur les biotechnologies, les nanotechnologies et les technologies convergentes (GTBNTC). Il a bénéficié de la contribution de David Guston, de l'Université de l'État d'Arizona.

Le chapitre 11, « Nouvelles approches de la conception et de l'expérimentation des politiques », a été préparé par Piret Tõnurist, de la Direction de la gouvernance publique et du développement territorial de l'OCDE. Il s'appuie sur les activités récentes de l'Observatoire de l'OCDE sur l'innovation dans le secteur public.

Le chapitre 12, intitulé « Transformation numérique des politiques de la science et de l'innovation : promesses, défis et besoins en termes d'intervention des pouvoirs publics », a été préparé par Fernando Galindo-Rueda, Daniel Ker, Michael Keenan et Dmitry Plekhanov (DSTI), à la lumière des travaux menés par le CPST et son Groupe de travail des experts nationaux sur les indicateurs de science et de technologie (GENIST). Il a bénéficié de la contribution de Clinton Watson, du ministère des Entreprises, de l'Innovation et de l'Emploi de Nouvelle-Zélande.

Le chapitre 13, « Allier expérimentation et ciblage : les politiques en faveur de l'entrepreneuriat innovant à l'ère numérique », a été préparé par Carlo Menon, de la Division de la politique structurelle de la DSTI, d'après les travaux menés par le Comité

de l'industrie, de l'innovation et de l'entrepreneuriat de l'OCDE (CIIE). Il a bénéficié de la contribution de Marco Cantamessa, de l'École Politecnico di Torino.

Le chapitre 14, « Mesurer la science, la technologie et l'innovation : les éclairages de la conférence Blue Sky sur la nouvelle génération de données et d'indicateurs », a été préparé par Fernando Galindo-Rueda (DSTI), à la lumière des travaux menés par le GENIST.

L'intégralité des chapitres de l'édition 2018 des Perspectives STI a été revue par Sarah Box, Dominique Guellec, Dirk Pilat et Andrew Wyckoff, de la DSTI. L'équipe des Perspectives STI les remercie pour leurs conseils et leurs observations particulièrement précieux.

Des remerciements tout particuliers vont à Sylvain Fraccola, auteur de l'infographie, et Blandine Serve, pour son soutien statistique. Merci également à Fernando Galindo-Rueda, Silvia Appelt, Hélène Dernis et Brigitte Van Beuzekom (DSTI) pour leur concours précieux aux données statistiques. Soulignons en outre la contribution de Giulia Ajmone Marsan (Centre de l'OCDE pour l'entrepreneuriat), d'Andres Barreneche (DSTI) et de Gernot Hutschenreiter (DSTI).

Les auteurs remercient Florence Hourtouat et Béatrice Jeffries, qui ont assuré le secrétariat, ainsi que Janine Treves, de la Direction des relations extérieures et de la communication de l'OCDE pour ses conseils, et Romy de Courtay pour sa contribution éditoriale et ses recherches bibliographiques. Par leur coopération, elles ont grandement contribué à la qualité générale de la publication.

Table des matières

Préface **3**

Avant-propos **5**

Remerciements **7**

Abréviations et acronymes **13**

Résumé **15**

Le numérique transforme les pratiques en matière de science et d'innovation 15
Les politiques et la gouvernance STI sont de plus en plus axées sur des finalités précises 16

Infographie : S'adapter aux bouleversements technologiques et sociétaux **18**

1. Perspectives de la science, de la technologie et de l'innovation 2018 - Introduction **19**

Introduction 20
Quels facteurs économiques, sociétaux et technologiques sont à l'œuvre dans l'évolution des politiques STI ? 21
Comment les évolutions technologiques et sociétales transforment-elles les processus d'innovation ? 24
Comment la science évolue-t-elle pour devenir plus ouverte, automatisée et porteuse d'égalité entre les sexes ? 29
Comment les politiques STI répondent-elles aux évolutions sociétales et technologiques ? 35
Comment la gouvernance de la STI s'adapte-t-elle à un contexte en rapide mutation ? 43
Conclusion 48
Note 49
Références 49

Graphiques

Graphique 1.1. Tendances en matière de financement de la R-D des entreprises par les entreprises et les pouvoirs publics 28
Graphique 1.2. Financement public direct et aides fiscales en faveur de la R-D des entreprises, 2015 et 2006 29
Graphique 1.3. Crédits budgétaires publics en faveur de la R-D civile*, 2000-08 et 2008-17 39
Graphique 1.4. Croissance annuelle moyenne des dépenses publiques totales et des CBPRD, 2009-16 41
Graphique 1.5. Évolution de la part des dépenses publiques dans le financement direct des dépenses intérieures brutes de R-D, 2009-16 (ou dernière année pour laquelle on dispose de données) 42

Encadrés

Encadré 1.1. Principales mégatendances influant sur la STI 21
Encadré 1.2. Tendances et problématiques phares des systèmes scientifiques 30
Encadré 1.3. Ciblage du soutien aux entreprises sur celles présentant un fort potentiel de croissance. 47

Suivez les publications de l'OCDE sur :

http://twitter.com/OECD_Pubs

http://www.facebook.com/OECDPublications

http://www.linkedin.com/groups/OECD-Publications-4645871

http://www.youtube.com/oecdilibrary

http://www.oecd.org/oecddirect/

Ce livre contient des...

StatLinks

Accédez aux fichiers Excel® à partir des livres imprimés !

En bas des tableaux ou graphiques de cet ouvrage, vous trouverez des StatLinks. Pour télécharger le fichier Excel® correspondant, il vous suffit de retranscrire dans votre navigateur internet le lien commençant par : http://dx.doi.org, ou de cliquer sur le lien depuis la version PDF de l'ouvrage.

Abréviations et acronymes

CBPRD	Crédits budgétaires publics de R-D
DIRDE	Dépenses intérieures brutes de R-D
EES	Établissement d'enseignement supérieur
FAIR	Findable, Accessible, Interoperable, Reusable
G7	Groupe des sept
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du Climat
IA	Intelligence artificielle
IDO	Internet des objets
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
ODD	Objectifs de développement durable
PIB	Produit intérieur brut
R-D	Recherche et développement
SATT	Sociétés d'Accélération du Transfert de Technologies
STI	Science, technologie et innovation
STIM	Sciences, technologies, ingénierie et mathématiques
TIC	Technologies de l'information et des communications
UE	Union européenne

Résumé

Les activités dans les domaines de la science, de la technologie et de l'innovation (STI) s'inscrivent dans un contexte marqué par des mutations profondes. Ralentissement de la productivité dans des sociétés dont le vieillissement s'accélère, incidences du changement climatique et nécessité de les limiter et de s'y adapter, mondialisation et rôle croissant des économies émergentes en sont autant d'exemples. Ces facteurs d'évolution sont synonymes à la fois d'opportunités et de défis pour la STI. Ils façonnent les attentes de la société et des pouvoirs publics quant aux objectifs de la STI et influent sur les modalités d'exécution des activités connexes. Ils sous-tendent pour la plupart les « grands défis sociétaux », du vieillissement en bonne santé au développement des énergies propres, en passant par la sécurité alimentaire. Ces défis sont repris dans les Objectifs de développement durable (ODD), qui occupent une place de plus en plus prépondérante dans les priorités d'action STI.

S'ils sont gérés judicieusement et s'accompagnent d'innovation sociale et de réformes des politiques, les progrès scientifiques et technologiques peuvent apporter des solutions utiles pour affronter nombre de ces grands défis. Ainsi, l'édition génomique pourrait révolutionner les thérapies médicales actuelles, les nanomatériaux et les bio-piles pourraient offrir de nouvelles solutions d'énergie propre, et l'intelligence artificielle (IA) pourrait devenir le « principal outil de recherche de molécules d'intérêt thérapeutique » au cours de la décennie à venir.

Toutefois, si les nouvelles technologies comme l'IA et l'édition génomique ouvrent la voie à des solutions particulièrement prometteuses, elles pourraient également causer des préjudices considérables. La prévention, la correction ou la limitation de leurs effets néfastes – bien que plus difficiles – prennent de l'importance à mesure que les technologies elles-mêmes deviennent plus complexes et omniprésentes. Face au rythme effréné des avancées et aux incertitudes qui les accompagnent, les décideurs peinent à garder un œil sur les technologies émergentes.

Les pouvoirs publics doivent faire preuve de plus de souplesse et de réactivité, davantage s'ouvrir à la participation des parties prenantes et mieux s'informer. Certes, certains pays expérimentent déjà de nouvelles approches anticipatives et participatives de la conception et de la mise en œuvre des politiques, mais ces pratiques restent rares dans le domaine des politiques STI.

Le numérique transforme les pratiques en matière de science et d'innovation

Le numérique transforme les processus d'innovation, réduit les coûts de production, favorise l'innovation ouverte et collaborative, brouille les frontières entre l'innovation industrielle et l'innovation de service, et tend à en accélérer les cycles. Les données sont devenues une ressource essentielle à l'appui des activités menées dans ce domaine, et nombre d'innovations se retrouvent dans les logiciels ou les données. Ce qui n'est pas sans

conséquences sur le soutien des pouvoirs publics en faveur de l'innovation des entreprises, puisqu'ils doivent (entre autres) favoriser l'élargissement de l'accès aux données.

La transformation numérique offre aux parties prenantes de nouvelles possibilités de participer à différents stades du processus d'innovation. On assiste ainsi à l'émergence de pratiques plus ouvertes, plus participatives et mieux adaptées aux besoins sociaux. La plupart des pays comptent désormais des sites dédiés, à l'instar des ateliers collaboratifs, des laboratoires d'innovation ouverte (*living labs*) et des laboratoires de fabrication (*fab-labs*), qui soutiennent les activités des innovateurs « non traditionnels ». Les entreprises établies peuvent également faire le choix d'une innovation inclusive. Des pratiques telles que la conception et la normalisation intégrant des critères de valeur voient le jour ; elles pourraient devenir de puissants outils pour transposer et intégrer, dans le développement technologique, des valeurs, des garanties et des objectifs sociaux fondamentaux.

Tous les domaines de recherche consomment des volumes de plus en plus importants de données. L'élargissement de l'accès aux données laisse entrevoir de nombreux avantages, dont des percées scientifiques, une moindre redondance des efforts et une meilleure reproductibilité des résultats de la recherche, un renforcement de la confiance dans la science, et davantage d'innovation. Les pouvoirs publics doivent aider le monde scientifique à relever les défis inhérents à la science ouverte et ce, à plusieurs égards : ils doivent assurer la transparence et renforcer la confiance au sein de la communauté scientifique et de la société au sens large, favoriser le partage des données par-delà les frontières nationales et les disciplines, et faire en sorte que des mécanismes de reconnaissance et de rétribution soient en place afin d'encourager les chercheurs à partager les données.

L'IA et l'apprentissage automatique sont à même de stimuler la productivité de la science, d'ouvrir la voie à de nouvelles formes de découvertes et de renforcer la reproductibilité. Dans la mesure où les systèmes d'intelligence artificielle présentent des forces et des faiblesses bien différentes de celles des chercheurs, ils peuvent les compléter utilement. Pour autant, plusieurs difficultés freinent la généralisation du recours à l'IA dans le domaine scientifique, en particulier la nécessité de transformer les méthodes d'IA afin de les transposer dans des environnements présentant des conditions délicates et variables, les inquiétudes quant au manque de transparence de la prise de décisions fondée sur l'apprentissage automatique, l'offre limitée de programmes d'enseignement et de formation spécifiques dans le domaine de l'IA, ou encore le coût des ressources informatiques nécessaires à la recherche de pointe sur l'IA.

Les politiques et la gouvernance STI sont de plus en plus axées sur des finalités précises

Dans la droite lignée des ODD, les pouvoirs publics cherchent à infléchir la trajectoire habituelle des progrès vers des technologies présentant des avantages économiques, sociaux et environnementaux plus marqués, et à impulser en ce sens les investissements dans la STI privée. Ce changement de paradigme a ouvert la voie à une nouvelle ère : celle des politiques STI axées sur des finalités précises, où les pouvoirs publics sont amenés à collaborer plus étroitement avec le secteur des entreprises et la société civile pour orienter les activités scientifiques et technologiques vers des objectifs ambitieux, à visée sociale.

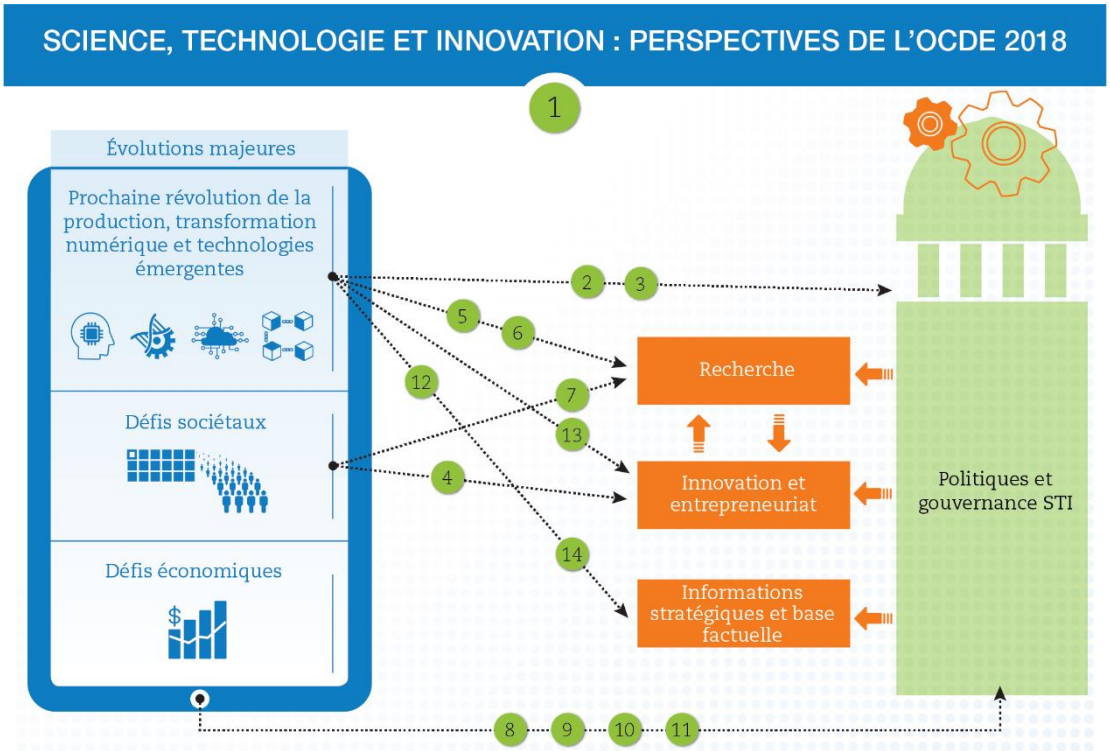
Or les tendances actuelles des dépenses publiques en faveur de la recherche-développement (R-D) pourraient ne pas être à la hauteur des ambitions ni des enjeux énoncés dans les politiques axées sur des finalités précises. Depuis 2010, les dépenses publiques de R-D

dans l'ensemble de la zone OCDE et dans presque tous les pays du G7 ont stagné ou fléchi, non seulement en valeurs absolues et par rapport au produit intérieur brut, mais aussi en pourcentage des dépenses publiques totales. La part du financement public dans les dépenses totales de R-D a baissé de 4 points de pourcentage (de 31 % à 27 %) dans la zone OCDE entre 2009 et 2016. Bien que dans de nombreux pays, cette diminution ait été compensée par une hausse des crédits d'impôt en faveur de la R-D, les pouvoirs publics pourraient avoir des difficultés à orienter les activités de recherche et d'innovation dans la direction stratégique souhaitée.

Des disparités notables entre les sexes demeurent dans les domaines de la science et de l'innovation, à une époque où il est pourtant urgent de favoriser la diversité de la main-d'œuvre à l'appui de la réalisation des ODD. En cause : des facteurs structurels profondément ancrés, au premier rang desquels figurent les stéréotypes sexistes et la difficulté de concilier carrière scientifique et vie familiale. Certes, la plupart des pays ont fait de la mixité l'un des objectifs clés de leurs plans nationaux en faveur de la STI, mais l'action des pouvoirs publics reste parcellaire. Une approche plus stratégique et systémique, inscrite dans le long terme, s'avère donc nécessaire.

Les pouvoirs publics gagneraient à exploiter les technologies numériques dans le cadre de l'élaboration, de la mise en œuvre et du suivi des politiques STI. Les données massives, les normes d'interopérabilité et le traitement automatique du langage naturel peuvent leur fournir des données plus granulaires et actualisées susceptibles d'éclairer la formulation et la conception de l'action publique. En reliant différents ensembles de données, ces outils peuvent transformer la base factuelle à l'appui des politiques STI et aider à démontrer les liens entre les dépenses allouées à la science et l'innovation, et les résultats tangibles obtenus. Toutefois, le suivi de la contribution de la STI aux grands enjeux multidimensionnels mondiaux que sont les ODD reste un défi et nécessitera de nouveaux développements sur le front des statistiques et des indicateurs.

Infographie : S'adapter aux bouleversements technologiques et sociétaux



Problématique phare de chaque chapitre

Chapitre 1	Comment renforcer la réactivité des politiques STI face aux évolutions technologiques et sociétales ?
Chapitre 2	Comment les politiques STI peuvent-elles aider les secteurs à développer et adopter l'IA et d'autres technologies de la prochaine révolution de la production ?
Chapitre 3	Comment les politiques STI peuvent-elles s'adapter aux défis et aux opportunités induits par la montée en puissance du numérique ?
Chapitre 4	Comment optimiser la contribution de la STI aux Objectifs de développement durable ?
Chapitre 5	Quels sont les possibilités et les obstacles liés à l'utilisation de l'IA dans le domaine de la science ?
Chapitre 6	Comment les politiques STI peuvent-elles favoriser au mieux l'élargissement de l'accès aux données de la recherche au service de la science et de l'innovation ?
Chapitre 7	Comment les politiques peuvent-elles aider à lutter plus efficacement contre les disparités femmes-hommes dans le domaine de la science ?
Chapitre 8	Comment le financement de la recherche publique évolue-t-il face aux nouvelles exigences sociétales et économiques ?
Chapitre 9	Quels dispositifs institutionnels régissent la recherche publique dans les différents pays ?
Chapitre 10	Quelles pratiques de gouvernance des technologies aideraient les pouvoirs publics à améliorer leur approche anticipative et promouvoir la participation ?
Chapitre 11	Quelles approches stratégiques nouvelles peuvent aider les pouvoirs publics à améliorer leur réactivité face aux défis qui se font jour ?
Chapitre 12	Comment les pouvoirs publics peuvent-ils exploiter le potentiel des technologies numériques pour améliorer les informations stratégiques au service des politiques STI ?
Chapitre 13	Comment les données massives et l'apprentissage automatique peuvent-ils aider les pouvoirs publics à soutenir plus efficacement l'entrepreneuriat innovant ?
Chapitre 14	De quels données et indicateurs les pouvoirs publics ont-ils besoin pour faire en sorte que les politiques STI répondent mieux aux nouveaux enjeux sociétaux et exploitent les possibilités offertes par la transformation numérique ?

1. Perspectives de la science, de la technologie et de l'innovation 2018 - Introduction

Ce chapitre introductif présente l'édition 2018 de la publication Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE. Il donne un aperçu des grandes tendances et questions de fond exposées plus avant dans les autres chapitres. Il se compose de cinq sections, dont la première traite des facteurs qui sous-tendent la transformation de la recherche et de l'innovation, et des politiques de la science, de la technologie et de l'innovation (STI). Les suivantes examinent les incidences sur les processus d'innovation et les pratiques scientifiques, avant d'envisager dans quelle mesure les pratiques en matière de politique et de gouvernance STI peuvent s'adapter aux opportunités et aux défis qui se font jour dans un environnement en rapide mutation.

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

Introduction

Les progrès réalisés dans les domaines de la science, de la technologie et de l'innovation (STI) sont des composantes phares de l'évolution des sociétés modernes. Ils sont eux-mêmes soumis à diverses influences – dont un certain nombre de facteurs sociétaux, économiques et technologiques – qui en façonnent les activités et les résultats. Les politiques publiques constituent un autre déterminant de poids de la STI, puisqu'elles en fixent le financement et la réglementation. Comme la STI elle-même, les politiques sont sujettes à différents facteurs d'évolution qui influent sur leurs priorités, leur élaboration et leur mise en œuvre.

Quatre grandes tendances se dessinent, qui ont des incidences sur l'orientation et la conception des politiques STI. Premièrement, on attend de plus en plus des programmes en faveur de la recherche et de l'innovation publiques qu'ils soient pertinents au regard des objectifs économiques et sociétaux, et qu'ils contribuent à leur réalisation. En particulier, les politiques STI tendent à être davantage axées sur les « défis » qui se posent, dans une volonté des pouvoirs publics d'infléchir la trajectoire habituelle des progrès vers des technologies présentant des avantages économiques, sociaux et environnementaux plus marqués, et d'impulser en ce sens les investissements dans la STI privée. Ce changement de paradigme a ouvert la voie à une nouvelle ère : celle des politiques STI axées sur des finalités précises, où les pouvoirs publics collaborent plus étroitement avec le secteur des entreprises et la société civile pour orienter les activités scientifiques et technologiques vers des objectifs spécifiques.

Deuxièmement, la révolution numérique transforme les processus de science et d'innovation. Les données sont devenues une ressource essentielle à l'appui des activités menées dans ces domaines, et nombre d'innovations se retrouvent dans les logiciels ou les données. L'innovation s'accélère à mesure que les technologies numériques réduisent les délais nécessaires à l'exécution de certaines tâches. Les différents domaines de recherche sont de plus en plus gourmands en données, devenant à la fois d'importants consommateurs et producteurs de données massives. Ces évolutions promettent d'améliorer la productivité de la science et de l'innovation, mais exigent que l'on adapte les politiques STI.

Troisièmement, de nombreux pays de l'OCDE, qui cherchent à réduire le poids de leur dette, disposent d'une marge de manœuvre budgétaire limitée. Comme le montrent les dernières données disponibles, les tendances actuelles en matière de financement public de la recherche et du développement (R-D) dans la zone OCDE pourraient ne pas être à la mesure des ambitions ni des enjeux énoncés dans les politiques axées sur des finalités précises. Dans ces conditions, il se pourrait que les pouvoirs publics peinent à réaliser les investissements dans les activités de recherche et d'innovation nécessaires pour orienter la science et la technologie dans la direction souhaitée.

Quatrièmement, les pouvoirs publics gagneraient à exploiter les technologies numériques à l'appui de la conception, de la mise en œuvre et du suivi des politiques STI. La montée en puissance du numérique a d'ores et déjà des incidences majeures sur la base factuelle qui sous-tend les politiques et la gouvernance STI. Or le recours croissant aux outils numériques dans les processus de recherche et d'innovation laisse davantage de « traces numériques », à savoir des données susceptibles d'être utilisées pour l'établissement d'indicateurs et d'analyses. De quoi fournir aux pouvoirs publics des données plus granulaires et actualisées qui viendront éclairer et améliorer les politiques de la science et de l'innovation. Elles peuvent également aider à répondre à un besoin des décideurs :

démontrer les liens entre les dépenses consacrées à la science et l'innovation, et les résultats concrets obtenus.

Ce chapitre introductif présente l'édition 2018 de la publication *Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE* et donne un aperçu des grandes tendances et questions de fond exposées plus avant dans les autres chapitres. À ce titre, il se limite aux sujets qui y sont abordés et n'a pas vocation à recenser l'intégralité des tendances et des questions qui ont trait à la STI et aux politiques y afférentes.

Quels facteurs économiques, sociétaux et technologiques sont à l'œuvre dans l'évolution des politiques STI ?

Combiner l'action des pouvoirs publics pour affronter les défis économiques et sociétaux qui se font jour

L'édition 2016 des Perspectives STI faisait état de plusieurs mégatendances susceptibles d'avoir de fortes incidences sur les systèmes de recherche et d'innovation au cours des 10 à 15 prochaines années et au-delà (encadré 1). Dans la mesure où elles relèvent de processus lents, elles restent une référence utile dans la réflexion sur les défis économiques, sociétaux et stratégiques auxquels la STI et les politiques connexes seront confrontées (OCDE, 2016). Abordées pour la plupart dans les Objectifs de développement durable (ODD), elles composent les « grands défis sociétaux » qui façonnent de plus en plus les priorités des politiques STI. Dans le même temps, à mesure qu'elles prennent corps, elles suscitent des incertitudes d'un degré et d'une diversité tels qu'elles donnent lieu dans certains pays à une remise en cause du consensus économique, politique et social qui prévaut depuis l'après-guerre.

Encadré 1.1. Principales mégatendances influant sur la STI

Démographie : La population mondiale va continuer de croître au XXIe siècle et devrait franchir la barre des 10 milliards d'individus vers la moitié du siècle. L'Afrique représentera plus de la moitié de cette croissance, qui générera une poussée massive du nombre de jeunes sur ce continent. Ailleurs, y compris dans nombre de pays en développement, on observera un net vieillissement de la population, et les personnes de plus de 80 ans représenteront environ 10 % de la population mondiale d'ici à 2050, contre 4 % en 2010. Compte tenu du recul de la part de la population active, les pays dont la population vieillit devront mener une rude bataille pour préserver leur niveau de vie. Les migrations internationales en provenance de pays à la population plus jeune pourraient aider à corriger cette tendance, mais se heurteront vraisemblablement à des résistances. Les technologies qui augmentent les capacités physiques et cognitives pourraient permettre aux personnes âgées de travailler plus longtemps, tandis qu'une automatisation grandissante pourrait réduire la demande de main-d'œuvre. Sous l'effet de la croissance démographique et du nombre de personnes vivant dans les grandes villes, la population mondiale sera de plus en plus urbaine – 90 % de cette augmentation interviendra en Asie et en Afrique.

Ressources naturelles et énergie : Une population de plus en plus nombreuse, conjuguée à la croissance économique et au changement climatique, fera peser une charge considérable sur les ressources naturelles. Un fort stress hydrique est probable dans de nombreuses parties du monde, tandis que l'insécurité alimentaire persistera dans bien des régions,

essentiellement des régions pauvres, un phénomène que viendra exacerber le changement climatique. La consommation d'énergie progressera elle aussi vivement, contribuant à son tour à accentuer le changement climatique en l'absence d'une adoption massive des énergies renouvelables. Une menace croissante pèsera sur la biodiversité mondiale, en particulier dans les pays pauvres à forte densité de population.

Changement climatique et environnement : Limiter l'ampleur et les effets considérables du changement climatique nécessitera de fixer des objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le dernier rapport en date du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2018) souligne qu'un certain nombre de conséquences du changement climatique pourraient être évitées si le réchauffement de la planète était limité à 1.5 ºC, et non à 2 ºC, mais que pour y parvenir, il faudra modifier rapidement, radicalement et de manière inédite tous les aspects de la société. Il importera par ailleurs de fixer des objectifs ambitieux en matière de recyclage des déchets, ce qui suppose une réorientation majeure vers une « économie circulaire » bas carbone d'ici à 2050. Cette réorientation affectera tous les pans de l'économie et de la société, et sera rendue possible par l'innovation et l'adoption des technologies dans les pays développés et en développement.

Mondialisation : Le centre de gravité de l'économie mondiale continuera de se déplacer vers l'est et vers le sud, et de nouveaux acteurs gagneront en puissance – qu'il s'agisse d'États, d'acteurs non étatiques (comme des entreprises multinationales ou des organisations non gouvernementales) ou encore de mégalopoles nouvellement apparues. Nombre de ces déplacements de la puissance et de l'influence sont impulsés et facilités par la mondialisation, qui s'opère à travers les flux transfrontières de biens, de services, d'investissements, de personnes et d'idées, et est favorisée par l'adoption généralisée des technologies numériques. Cependant, la mondialisation sera inéluctablement confrontée à des contre-courants et à des vents contraires, nourris par l'instabilité géopolitique, de possibles conflits armés ou de nouveaux obstacles aux échanges sous l'effet de la montée du protectionnisme.

Santé, inégalités et bien-être : Le traitement des maladies infectieuses, qui touchent en proportion davantage le monde en développement, sera de plus en plus compromis par la résistance croissante aux antibactériens. D'après les projections, les maladies non transmissibles et neurologiques vont nettement augmenter, un phénomène qui concorde avec le vieillissement de la population et la progression mondiale des modes de vie malsains. Les progrès technologiques accomplis dans le séquençage de l'ADN, les technologies en « omique », la biologie de synthèse et l'édition génomique ont doté les chercheurs de nouveaux outils pour décrypter et traiter les maladies chroniques non transmissibles. Les inégalités et la pauvreté demeurent des préoccupations importantes dans de nombreux pays développés, bien que la pauvreté continue de reculer à l'échelle mondiale.

Source: D'après OCDE (2016), *Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE 2016*, https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-fr.

Les investissements nécessaires pour affronter les défis qui se posent s'inscriront vraisemblablement dans un contexte économique difficile. Selon un scénario de référence à long terme établi récemment par l'OCDE, la croissance mondiale devrait ralentir, pour passer de 3.5 % actuellement, à 2 % en 2060 (Guillemette et Turner, 2018). La productivité – l'un des principaux leviers de croissance lorsque la population vieillit – a reculé au cours des deux dernières décennies, en particulier depuis la crise financière mondiale de 2008. Cette tendance, conjuguée à une productivité multifactorielle faible voire orientée à la baisse dans plusieurs pays et secteurs, a suscité des inquiétudes quant à la capacité des activités de recherche et d'innovation de soutenir la croissance économique et le bien-être social. Les spécialistes continuent de s'interroger sur les raisons de ce ralentissement. Certains mettent en avant le fléchissement du rythme de l'innovation, fondement de la productivité. D'autres évoquent le décalage temporel entre l'innovation et ses effets sur la productivité. Ils arguent que la crise de la productivité prendra fin lorsque que les entreprises seront entrées en phase d'apprentissage, que l'on aura entrepris les réformes structurelles qui s'imposent et réalisé les investissements complémentaires, et que les innovations auront été largement adoptées et adaptées, au-delà du cercle des innovateurs. À cela s'ajoute une autre explication possible : la mauvaise mesure d'une économie de plus en plus irriguée par le numérique.

Affronter les défis sociétaux impérieux à une période où nombre de pays membres de l'OCDE disposent de ressources financières limitées et où la croissance semble au point mort relève de la gageure. Des actions combinées devront être entreprises pour faire face aux enjeux économiques, sociétaux et environnementaux. Pour autant, moyennant des politiques et des mesures d'incitation idoines – à commencer par des réformes budgétaires et structurelles rigoureuses, alliées à une action climatique cohérente –, les pouvoirs publics peuvent impulser une croissance synonyme à la fois de réduction sensible des risques liés au changement climatique et de retombées bénéfiques à brève échéance sur l'économie, l'emploi et la santé. On estime ainsi qu'un programme d'action climato-compatible, prévoyant notamment des mesures d'incitation à l'innovation renforcées, peut donner lieu à un accroissement durable du produit intérieur brut (PIB) pouvant aller jusqu'à 2.8 % en moyenne d'ici à 2050 dans les pays du G20 (OCDE, 2017a).

Les pays doivent relever les défis sociétaux et environnementaux dans un contexte économique difficile, caractérisé par une croissance et une productivité mondiales atones. Pourtant, des mesures combinées pourraient aider à affronter les enjeux économiques, sociétaux et environnementaux. Une politique efficace de lutte contre le changement climatique faisant fond sur l'innovation pourrait en outre stimuler la croissance et la création d'emplois, et améliorer le bien-être.

Les nouvelles technologies émergentes recèlent un potentiel considérable

Les nouvelles technologies émergentes peuvent aider à relever la plupart des grands défis sociétaux. S'appuyant sur de précédents travaux de l'OCDE (OCDE, 2017b), le chapitre 2 sur l'intelligence artificielle (IA) et les technologies de la prochaine révolution de la production cite de nombreux exemples de technologies émergentes susceptibles de trouver à l'avenir des applications dans un large éventail de domaines. Ainsi, l'édition génomique pourrait révolutionner les thérapies médicales actuelles ; les nanomatériaux et les bio-piles pourraient offrir de nouvelles solutions d'énergie propre ; et l'IA pourrait devenir le

« principal outil de recherche de molécules d'intérêt thérapeutique » au cours de la décennie à venir. À moyen terme, certaines technologies actuellement en phase de démonstration pourraient avoir des incidences considérables. Par exemple, les nouvelles générations de bioraffineries, qui transforment la biomasse et les déchets en produits et en énergie commercialisables, pourraient contribuer à réduire sensiblement les émissions de gaz à effet de serre.

S'ils sont gérés judicieusement et s'accompagnent d'innovation sociale et de réformes des politiques, les progrès scientifiques et technologiques peuvent apporter des solutions particulièrement utiles pour mieux affronter les grands défis sociétaux.

Certaines de ces technologies sont d'ores et déjà opérationnelles. C'est ainsi que, grâce à l'amélioration constante du matériel informatique, à la mise à disposition généralisée de grands ensembles de données et au perfectionnement des logiciels, l'IA trouve de nouvelles applications dans des domaines divers, du multimédia aux produits pharmaceutiques et semi-conducteurs, en passant par des secteurs plus traditionnels comme l'exploitation minière et la construction. Dans le secteur de la santé, elle est d'ores et déjà utilisée pour améliorer le diagnostic des cancers, voire détecter certaines maladies mentales.

La technologie des chaînes de blocs fait depuis peu l'objet d'une attention particulière. Tout comme la robotique (avec par exemple l'utilisation de robots logiciels pour l'automatisation des processus) et l'intelligence artificielle (pour la détection des anomalies de données et des vulnérabilités des processus), la technologie des chaînes de blocs pourrait révolutionner des fonctions clés liées aux services financiers, telles la prise en charge des transactions financières et l'automatisation des accords contractuels. D'abord réservée aux marchés des crypto-monnaies, elle trouve aujourd'hui de nombreuses autres applications dans le secteur financier, pour les remises de fonds, les virements interbancaires, les opérations sur les marchés de valeurs mobilières, etc. (OCDE, 2017c). Autant d'usages qui pourraient avoir des incidences sur les marchés et mettre à l'épreuve les acteurs historiques. Sans compter qu'à l'avenir, ces nouvelles technologies trouveront dans les entreprises un éventail d'applications aujourd'hui insoupçonné, et que les technologies numériques n'ont pas encore atteint leur plein potentiel. Leur convergence – par exemple, l'alliance de l'internet des objets (IdO) et de la technologie des chaînes de blocs – pourrait en outre en décupler les potentialités.

Comment les évolutions technologiques et sociétales transforment-elles les processus d'innovation ?

Les caractéristiques intrinsèques du processus d'innovation évoluent elles aussi, sous l'effet des possibilités technologiques (notamment celles découlant de la transformation numérique de l'économie), des pressions sociétales et des aspirations croissantes à davantage d'inclusivité et d'ouverture. Ces évolutions s'inscrivent dans un environnement plus favorable : une fois passés les effets de la crise financière, les entreprises ont recommencé à investir dans la R-D, motivées par le retour à la rentabilité et les incitations fiscales connexes de plus en plus généreuses mises en place par les pouvoirs publics.

Le numérique crée de nouvelles opportunités d'innovation et de partage de connaissances

Le chapitre 3 sur les politiques d'innovation à l'ère du numérique analyse les incidences de la transformation numérique sur les processus d'innovation. Les principales phases du cycle d'innovation sont plus rapides et moins onéreuses. Les coûts inhérents à la recherche, la vérification, la manipulation et la diffusion des informations et des connaissances, ainsi que ceux liés à la commercialisation de produits et de services innovants décroissent. L'innovation elle-même s'accélère à mesure que la concurrence progresse et que les technologies numériques permettent d'exécuter des tâches plus rapidement, notamment pendant les phases de conception et d'essai. La disponibilité croissante des données sur les besoins des clients et la possibilité d'expérimenter plus facilement à l'aide de données sur différents groupes de clients, permettent en outre de rationaliser l'innovation de produit et de procédé. Les technologies numériques contribuant à réduire sensiblement les coûts inhérents à la gestion des versions, il est possible de pousser beaucoup plus loin la différenciation (voire la personnalisation) des produits. D'où une accélération du cycle des produits, qui influe à son tour sur le dynamisme de la concurrence sur les marchés.

Les données sont devenues une ressource essentielle à l'appui des activités d'innovation : les données de base sur les caractéristiques des matériaux ou l'environnement, ou sur la demande des clients, peuvent servir à déterminer les caractéristiques optimales d'un produit et créer des « jumeaux numériques » de biens physiques, ce qui offre la possibilité de réaliser des simulations. L'accès aux données est désormais un paramètre clé des stratégies opérationnelles. De fait, les entreprises qui contrôlent des données uniques de qualité disposent d'un avantage concurrentiel sur les autres. Et contrairement aux intrants physiques, elles peuvent être réutilisées et partagées, ouvrant ainsi la voie à des opportunités de collaboration entre les entreprises.

L'innovation est par ailleurs devenue plus collaborative, grâce à la fois à l'amélioration des conditions du côté de l'offre (partage des données) et au renforcement de la demande, sous l'effet d'une progression de l'interdisciplinarité et de l'engagement avec tout un éventail de parties prenantes. La collaboration peut prendre différentes formes, du partage de données à l'innovation ouverte, en passant par les plateformes électroniques, sans oublier les fusions et acquisitions. Les interactions au sein des chaînes de valeur mondiales, qui ont gagné en importance depuis le début des années 2000, sont également influencées par les technologies numériques, avec des conséquences notables sur la redistribution des activités à forte valeur ajoutée entre les pays (à l'image de la relocalisation d'activités hautement automatisées ; voir De Backer et Flaig, 2017).

La transformation numérique a en outre donné lieu à l'émergence de nouvelles formes de soutien des pouvoirs publics au transfert de connaissances. Par exemple, les plateformes électroniques, les réseaux et les communautés en ligne se sont imposés comme de nouveaux espaces de transfert de savoir aidant à rapprocher l'offre et la demande de technologies. Ils mettent les entreprises en relation avec les réseaux mondiaux de centres de recherche publics, de chercheurs et de consultants indépendants susceptibles de les aider à résoudre des problèmes technologiques particuliers. La multiplication des solutions à l'appui des échanges électroniques a également conduit à l'apparition de nouveaux modèles de bureaux de transfert de technologies « hors campus », avec par exemple des alliances de bureaux aux niveaux régional, national ou sectoriel. Ces initiatives sont généralement le fruit d'une coopération entre plusieurs universités et établissements publics de recherche, comme c'est le cas en Allemagne (avec les agences régionales d'exploitation des brevets) et en France (avec les sociétés d'accélération du transfert de technologies, ou SATT). La mutualisation

de ressources et de services spécialisés (bases de données et services liés aux brevets, activités de marketing et de communication, et formation et services d'experts) contribue souvent à améliorer l'efficience et la qualité des services fournis par les bureaux de transfert de technologies. Compte tenu de la diversité et de la répartition de ces solutions, les décideurs ont un rôle utile à jouer pour promouvoir l'intégration, la coopération et l'interopérabilité au sein de la mosaïque d'initiatives existantes et nouvelles (OCDE, 2018a).

Les pouvoirs publics et les entreprises adoptent de nouvelles pratiques à l'appui de l'innovation inclusive

Le rôle de l'innovation va bien au-delà de la création ou de l'amélioration de produits et services conférant aux entreprises un avantage concurrentiel et participant à la croissance économique. Elle peut aussi être « inclusive », à savoir répondre aux besoins d'un éventail plus large de parties prenantes. D'une part, l'innovation peut contribuer à la création ou l'amélioration de produits et de services qui aident à relever les défis auxquels sont confrontés les personnes socialement défavorisées. Elle peut par exemple offrir aux groupes de personnes à faible revenu un accès plus large à des services comme les appels téléphoniques longue distance, la formation en ligne et l'administration électronique. L'effet des avancées techniques sur les prix peut également favoriser l'inclusion sociale : certains produits liés aux technologies de l'information et des communications (TIC), comme les ordinateurs portables et les smartphones, sont de plus en plus abordables, donc accessibles à un plus grand nombre de personnes. D'autre part, le processus d'innovation peut lui-même devenir plus inclusif, dans la mesure où des individus ou des groupes sociaux jusque-là sous-représentés peuvent désormais y prendre part (OCDE, 2017d). Le chapitre 10 sur la gouvernance des technologies présente des pratiques d'innovation d'entreprise émergentes qui s'avèrent plus ouvertes, plus participatives et mieux adaptées aux besoins sociaux. Elles offrent parfois la possibilité à des individus et des groupes restreints de contribuer à la production numérique sur des sites dédiés opérant à petite échelle, à l'instar des ateliers collaboratifs, des laboratoires d'innovation ouverte (living labs) et des laboratoires de fabrication (fab-labs). Ces ateliers locaux sont plus accessibles aux innovateurs « non traditionnels » – en particulier aux jeunes innovateurs et aux inventeurs indépendants – et fonctionnent généralement en collaboration avec les universités et les autorités locales. L'innovation peut alors devenir un facteur d'inclusion sociale, puisque les groupes qui y prennent part développent de nouvelles compétences et accèdent à un éventail plus large d'opportunités.

L'innovation peut être inclusive. On assiste à l'émergence de pratiques plus ouvertes, plus participatives et mieux adaptées aux besoins sociaux. Des sites dédiés, à l'instar des ateliers collaboratifs, des laboratoires d'innovation ouverte et des laboratoires de fabrication, voient le jour dans la plupart des pays et favorisent les activités d'innovateurs « non traditionnels ».

Ces entreprises établies peuvent également adopter des pratiques d'innovation inclusive. Le chapitre 10 sur la gouvernance des technologies recense un certain nombre d'approches plus inclusives et ouvertes (telles que l'éthique en matière de conception) utilisées pendant les phases préliminaires du cycle d'innovation. Si ces pratiques n'en sont qu'à leurs premiers balbutiements, elles pourraient devenir de puissants outils pour transposer et intégrer, dans le développement technologique, des valeurs sociales, des garanties et des

objectifs fondamentaux. Dans le domaine des nanotechnologies, par exemple, la normalisation est appréhendée comme un moyen non seulement de faciliter le commerce grâce à l'interopérabilité, mais aussi de promouvoir la santé et la sécurité. Il est en effet possible d'intégrer des connaissances sur les effets potentiellement néfastes dans le processus de normalisation de la conception de nanomatériaux et de nanoproduits. Dans nombre d'initiatives, la valeur ajoutée se trouve aussi bien dans le résultat – à savoir les technologies et produits dits « éthiques » – que dans le processus lui-même. Outre leurs travaux techniques traditionnels, certains organismes de normalisation (tels l'*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) jouent également le rôle de forums abritant des débats publics sur des sujets comme l'IA.

Le soutien des pouvoirs publics à la R-D des entreprises évolue

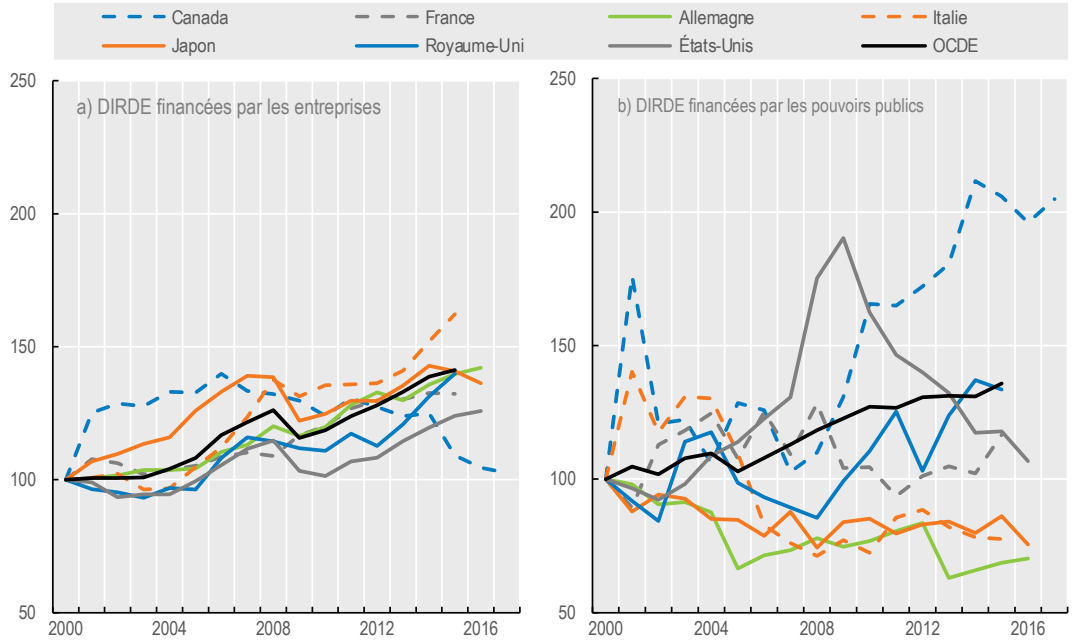
Les entreprises jouent un rôle essentiel dans le développement, la diffusion et l'utilisation de la nouvelle génération de technologies. Elles doivent pour ce faire investir lourdement dans la R-D, ainsi que dans des actifs complémentaires et des biens immatériels dans un large éventail de domaines. L'analyse des dépenses de R-D des entreprises (DIRDE) montre qu'elles s'attellent à relever ce défi. Les DIRDRE ont en effet augmenté dans de nombreux pays depuis la crise financière et ont presque renoué avec leur rythme de croissance d'avant-crise, tant en termes de volume que relativement au PIB. Cette progression est tirée par la croissance de la demande globale et le retour à la rentabilité des entreprises (graphique 1, partie a). Elle est également impulsée par des acteurs relativement nouveaux dans le domaine de la R-D – principalement de grandes entreprises des secteurs du numérique qui investissent massivement dans l'IA et d'autres technologies de la prochaine révolution de la production.

Bien que les entreprises financent elles-mêmes le gros de leurs activités de R-D, le soutien des pouvoirs publics contribue à encourager ces activités et à les orienter vers certaines priorités des politiques publiques. Les tendances mondiales en matière de soutien public à la R-D des entreprises sont difficiles à interpréter, tant les approches stratégiques divergent selon les pays (graphique 1, partie b). Il n'en reste pas moins que la part des DIRDE financée par les pouvoirs publics au moyen d'aides directes (telles que des subventions) a partout baissé depuis la crise financière ; elle est notamment passée de 14.1 % (en 2009) à 6.8 % (en 2016) aux États-Unis, et de 7.3 % (en 2010) à 6.3 % (en 2015) dans l'Union européenne.

Graphique 1.1. Tendances en matière de financement de la R-D des entreprises par les entreprises et les pouvoirs publics

Indice 2000=100.

a) DIRDE financées par les entreprises b) DIRDE financées par les pouvoirs publics



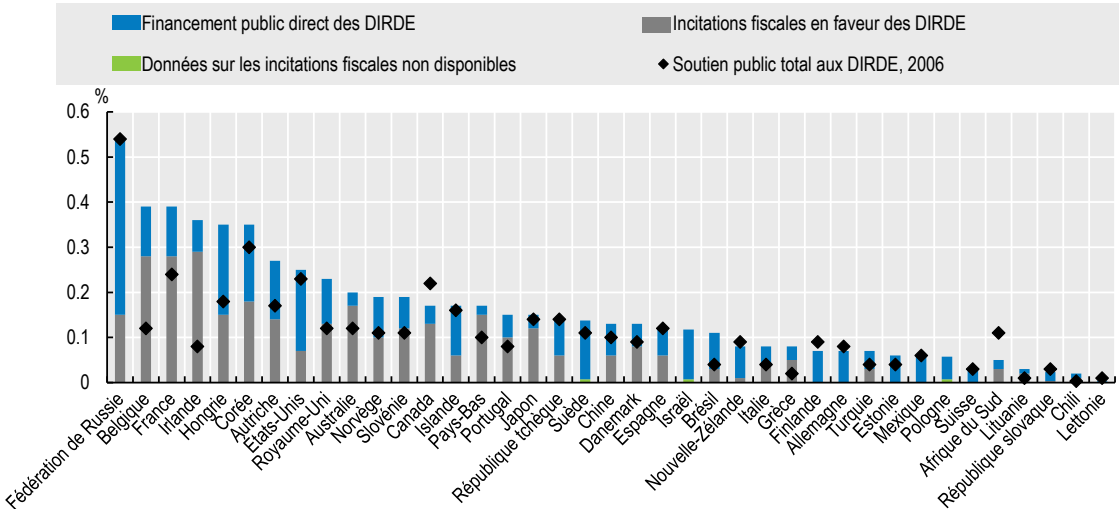
Note: La ligne noire dans la partie b correspond aux DIRDE financées par les pouvoirs publics dans les pays de l'OCDE à l'exception des États-Unis.
Source: Calculs d'après OCDE (2018d), « Statistiques de la Recherche et du Développement : Crédits budgétaires publics de R-D (Édition 2017) », *Statistiques de l'OCDE de la science et technologie et de la R-D* (base de données), https://doi.org/10.1787/data-00194-en (consulté le 26 septembre 2018).

StatLink https://doi.org/10.1787/888933876100

Toutefois, cette baisse du soutien direct à la R-D des entreprises a été amplement compensée par une hausse du soutien indirect au moyen d'incitations fiscales au cours de la période 2006-14 (OCDE, 2016, 2017e). Si l'on observe l'intégralité du soutien des pouvoirs publics (direct et indirect) à la R-D des entreprises, on constate dans la majorité des pays (soit 29 pays sur les 41 pour lesquels on dispose de données) une hausse des aides en pourcentage du PIB sur la période 2006-15. L'augmentation est particulièrement marquée dans les pays où les incitations fiscales représentent une part importante des aides publiques totales (graphique 2). Elle fait souvent suite à une réforme des dispositifs de soutien indirect à la R-D des entreprises dans le but de les rendre plus disponibles, accessibles et généreux ; douze pays de l'OCDE ont en outre adopté de tels dispositifs au cours de la période 2000-15 (OCDE, 2018b). Par conséquent, la part des allégements fiscaux dans le soutien public total en faveur de la R-D des entreprises dans la zone OCDE a progressé en moyenne de 36 % à 46 % entre 2006 et 2015 (OCDE, 2018c).

Graphique 1.2. Financement public direct et aides fiscales en faveur de la R-D des entreprises, 2015 et 2006

En pourcentage du PIB



Source: OCDE (2017e), *Science, technologie et industrie : Tableau de bord de l'OCDE 2017 - La transformation numérique*, http://dx.doi.org/10.1787/sti_scoreboard-2017-fr.

StatLink https://doi.org/10.1787/888933876119

Bien que les aides fiscales en faveur de la R-D soient jugées plus efficientes et plus faciles à gérer que les subventions et les allocations, elles sont exclusivement destinées aux activités de R-D des entreprises répondant aux besoins du marché. De par leur nature, mais aussi du fait des réglementations spécifiques (telles que la réglementation de l'Union européenne sur les aides d'État en faveur de la R-D et de l'innovation), il est difficile de déterminer quels domaines particuliers de recherche ou quels secteurs bénéficieraient le plus de ces aides indirectes. En tant qu'instrument d'action axé sur la demande, le financement public indirect offre en outre aux pouvoirs publics une marge réduite pour influer sur les montants octroyés, mis à part (par exemple) le « plafonnement » des crédits alloués. Cette évolution des panoplies de mesures soulève par conséquent la question de la capacité des pouvoirs publics à peser sur l'orientation de la R-D privée, à une époque où la réalisation des objectifs sociétaux et environnementaux appelle une innovation plus intense – et plus ciblée.

Comment la science évolue-t-elle pour devenir plus ouverte, automatisée et porteuse d'égalité entre les sexes ?

L'édition 2016 des Perspectives STI donnait un aperçu global des grandes tendances et problématiques ayant vocation à façonner les systèmes scientifiques à un horizon de 10 à 15 ans (encadré 2). Si elles sont toujours d'actualité, les opportunités et les défis qu'elles engendrent continuent d'évoluer, de même que les réponses des pouvoirs publics. Certaines problématiques ont gagné en importance au cours des deux dernières années. Tel est le cas notamment des incidences de la transformation numérique – que la présente édition des Perspectives STI examine en profondeur – et de la « crise de reproductibilité » que connaît la science, qui fait qu'un nombre croissant de résultats exposés dans les publications

scientifiques sont difficiles voire impossibles à reproduire par d'autres chercheurs. Par ailleurs, le déploiement accéléré de la science ouverte place au premier plan la question de la transparence dans la science : les principes en la matière mettent l'accent sur le libre accès aux publications, le partage des données ouvertes, et la participation plus ouverte et inclusive aux activités scientifiques elles-mêmes. À cela s'ajoute une autre préoccupation croissante : comment soutenir la recherche donnant lieu à des percées scientifiques à une époque d'apparente baisse de la productivité de la recherche et de défis sociétaux d'une échelle et d'une ampleur inédites ? Démontrer, à la lumière de l'analyse des données ou des études de cas, que les idées nouvelles sont « plus difficiles à trouver » est une tâche ardue (Bloom et al., 2017 ; Jones, 2009). En revanche, plusieurs communautés scientifiques s'accordent sur le fait que les mécanismes de financement basés sur une mise en concurrence pénalisent les propositions de recherche risquée, potentiellement transformatrice et transdisciplinaire au profit de projets de recherche appliquée, d'appoint et monodisciplinaire.

Encadré 1.2. Tendances et problématiques phares des systèmes scientifiques

L'édition 2016 des Perspectives STI intégrait un chapitre consacré à l'avenir des systèmes scientifiques, qui présentait plusieurs tendances et problématiques clés susceptibles de façonner les systèmes scientifiques à un horizon de 10 à 15 ans. Les phénomènes observés sont les suivants :

- des politiques budgétaires restrictives et des exigences d'action qui se télescopent, avec à la clé des pressions sur les dépenses publiques de R-D ;
- l'importance croissante, dans certains systèmes de recherche, du financement non étatique de la recherche publique, notamment par des organisations philanthropiques, des organisations caritatives et des fondations ;
- une part croissante de la recherche publique réalisée dans les économies émergentes – en particulier en Chine, qui se place désormais en deuxième position derrière les États-Unis en termes de dépenses publiques totales allouées à la R-D ;
- la réorientation des priorités de la science publique vers les « grands défis sociétaux », avec un recours croissant aux ODD en tant que cadre pour la définition des priorités d'action ;
- la transition vers une recherche publique plus axée sur des défis, mettant davantage l'accent sur la recherche interdisciplinaire et les interfaces entre recherche fondamentale et recherche appliquée ;
- l'émergence de nouveaux dispositifs de commercialisation des résultats de la R-D publique, avec notamment de nouvelles structures de type bureaux de transfert de technologies, et la mise en œuvre de stratégies plus judicieuses en matière de propriété intellectuelle dans les organisations menant des travaux de recherche publique ;
- la progression de la science citoyenne, notamment de la « science d'amateur » ;
- la plus grande prise en compte des aspects éthiques, juridiques et sociétaux de la recherche, au sein d'un cadre de « recherche et d'innovation responsables » ;

- l'émergence de nouvelles possibilités offertes par la transformation numérique de la science (avec notamment l'automatisation, les données massives et la science ouverte), mais aussi de défis majeurs (propriété des données, incitations antagonistes pour ce qui est de la science ouverte, coûts de maintenance des infrastructures de données et disponibilité des compétences, etc.) ;
- la précarisation des carrières des chercheurs dans des environnements de recherche hyperconcurrentiels, et ses incidences négatives sur certains groupes de personnes (en particulier les femmes) ;
- l'évolution des modes d'évaluation des performances en matière de recherche afin de tenir compte de l'émergence de mesures bibliométriques non traditionnelles (dénommées « indicateurs altmétriques ») et de l'utilisation accrue de critères d'intérêt public pour mesurer la contribution de la recherche aux défis sociétaux ;
- les inquiétudes croissantes quant à la « crise de reproductibilité » que connaît la science ;
- le décalage croissant entre les données scientifiques et d'autres formes de connaissances et d'opinion, accentué par le caractère mondial, multidimensionnel, évolutif et complexe de la plupart des grands défis sociétaux.

Source: OCDE (2016), *Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE 2016*, https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-fr.

Se basant sur l'évaluation de grande envergure réalisée en 2016, l'édition 2018 des Perspectives STI examine en profondeur trois grands sujets au cœur des débats actuels sur les politiques en matière de recherche. Le premier sujet a trait à la science ouverte et à l'élargissement de l'accès aux données de la recherche, qui présente divers avantages potentiels, mais pose également des défis de taille. Le deuxième concerne les incidences de l'IA et de l'automatisation sur la science, qui pourraient transformer les pratiques scientifiques au cours de la décennie à venir. Le troisième tient à la sous-représentation persistante des femmes dans certains domaines scientifiques : si les pouvoirs publics ont pris de nombreuses mesures en faveur de l'égalité femmes-hommes dans la science, beaucoup reste à faire à cet égard.

L'élargissement de l'accès aux données de la recherche présente de nombreux avantages

Tous les domaines de recherche consomment des volumes de plus en plus importants de données, et les données massives ne sont plus l'apanage de la physique expérimentale et de l'astronomie. Le chapitre 6 met en évidence les avantages attendus de l'élargissement de l'accès aux données, dont des percées scientifiques, une moindre redondance des efforts et une meilleure reproductibilité des résultats de la recherche, un renforcement de la confiance dans la science, et davantage d'innovation. Toutefois, ces avantages doivent être mis en balance avec les coûts, y compris ceux afférents à la protection de la vie privée et de la sécurité, et à la prévention de l'utilisation malveillante des données. C'est pourquoi le principe de l'« ouverture par défaut », prôné dans les premières heures du mouvement en faveur du libre accès, laisse peu à peu la place à un nouveau mot d'ordre : « aussi ouvert que possible, aussi fermé que nécessaire ».

L'élargissement de l'accès aux données pose aux pouvoirs publics plusieurs difficultés qui restent à résoudre. Premièrement, ils doivent mettre en place des systèmes et des processus pour favoriser la transparence et renforcer la confiance au sein de la communauté scientifique et de la société au sens large. De fait, si les violations de données confidentielles ne peuvent être évitées, les risques doivent en revanche être gérés, et les procédures définies à cette fin doivent être claires et transparentes. Deuxièmement, l'application des principes directeurs FAIR[1] dans le cadre de l'élaboration des politiques et de la coopération entre les communautés dépend de la mise au point et de l'adoption d'un cadre technique commun (Wilkinson et al., 2016). Les décideurs doivent par conséquent soutenir les organismes (tels que la *Research Data Alliance*) qui bâtissent l'infrastructure sociale et technique qui sous-tend le partage des données ouvertes par-delà les frontières nationales et les disciplines.

Troisièmement, il convient de mettre en place des mécanismes de reconnaissance et de rétribution adaptés pour encourager les chercheurs à partager les données. Les activités liées aux données doivent être intégrées aux systèmes d'évaluation afin de faire en sorte que les chercheurs qui fournissent des données de recherche de qualité (y compris sur d'éventuels résultats négatifs) soient récompensés. La généralisation des citations de données comme moyen d'encourager et de récompenser le partage des données appelle par ailleurs la définition d'indicateurs de mesure idoines.

Quatrièmement, les coûts substantiels d'administration et de mise à disposition des données requièrent un engagement financier à long terme. Leur financement nécessite de comprendre les modèles économiques et propositions de valeur non seulement des référentiels de données, mais aussi des réseaux hôtes. Dans certains cas, il pourrait être judicieux de centraliser la gestion des ressources de données afin de dégager des économies d'échelle des différents systèmes de recherche.

Enfin, la charge supplémentaire que représentent la curation et l'administration des données en vue de les rendre librement accessibles pour une utilisation secondaire représente un défi en termes de ressources humaines à l'échelle de la science, qui ne peut être relevé qu'en développant les compétences du personnel existant et en offrant de nouvelles possibilités d'apprentissage et de formation aux chercheurs et aux professionnels chargés des fonctions de support lié aux données de la recherche. Les scientifiques des données sont particulièrement recherchés dans l'industrie, et la recherche universitaire est en quête des meilleurs talents – il est donc urgent de proposer des évolutions de carrière attrayantes, afin d'optimiser la valeur de l'accès élargi aux données issues de la recherche publique.

Les pouvoirs publics doivent aider le monde scientifique à relever le défi de la science ouverte. Ils doivent pour ce faire assurer la transparence et renforcer la confiance au sein de la communauté scientifique et de la société au sens large ; favoriser le partage des données par-delà les frontières nationales et les disciplines ; et faire en sorte que des mécanismes de reconnaissance et de rétribution soient en place afin d'encourager les chercheurs à partager les données.

L'automatisation pourrait transformer les pratiques scientifiques

L'IA et l'apprentissage automatique sont à même de stimuler la productivité de la science, d'ouvrir la voie à de nouvelles formes de découvertes et de renforcer la reproductibilité. Dans la mesure où les systèmes d'intelligence artificielle présentent des forces et des faiblesses bien différentes de celles des chercheurs, ils peuvent enrichir les travaux scientifiques humains. Le chapitre 5 expose trois évolutions technologiques phares qui ont impulsé l'essor récent de l'IA : l'amélioration du matériel informatique, la disponibilité croissante des données et le perfectionnement des logiciels d'intelligence artificielle. Il existe pléthore d'exemples de l'utilisation de solutions d'IA dans tous les domaines de la recherche scientifique.

La généralisation de l'IA dans la science se heurte à plusieurs défis. Premièrement, malgré les résultats impressionnants obtenus dans de nombreux domaines, il est encore nécessaire de transformer les méthodes d'IA qui ont fait leurs preuves dans des espaces-problèmes contraints et structurés pour les transposer dans des domaines scientifiques moins structurés, moins fiables et pour lesquels on dispose uniquement d'observations partielles. Ce constat vaut pour la climatologie, qui fait intervenir de nombreuses variables, où il existe des incertitudes quant aux boucles de rétroaction importantes, et où il reste difficile d'obtenir des mesures exactes – malgré des progrès évidents. Il en va de même pour la transmission des maladies (à l'instar des pandémies mondiales), dans la mesure où les données collectées dans les pays en développement peuvent être de piètre qualité et varier sensiblement d'un pays à l'autre. À cela s'ajoute le problème des approches d'apprentissage profond appliquées à des ensembles de données de petite taille (et bruités). Des efforts d'innovation supplémentaires devront être déployés pour parvenir à une approche rationnelle qui fonctionne pour toutes les échelles de données – des environnements pauvres en données aux contextes les plus riches. Deuxièmement, les débats sur l'IA font souvent ressortir une source de préoccupation potentielle : le manque de transparence de la prise de décisions fondée sur l'apprentissage automatique. Toutefois, le chapitre 5 souligne que ce problème ne concerne pas seulement l'apprentissage automatique, mais vaut également pour la science et les mathématiques. Qui plus est, certaines techniques fournissent des pistes d'audit complètes de l'apprentissage automatique qui permettent d'expliquer les résultats obtenus. Troisièmement, l'éducation et la formation sont des enjeux majeurs de l'action des pouvoirs publics. Trop peu d'étudiants apprennent à mesurer le rôle fondamental de la logique dans l'IA ; il conviendra, pour combler ce manque, de modifier les programmes universitaires. Enfin, la recherche de pointe sur l'IA nécessite des ressources informatiques considérables, qui peuvent être onéreuses. C'est dans le secteur des entreprises, et non celui de la recherche publique, que l'on trouve les ressources informatiques les plus importantes et la cohorte la plus nombreuse d'éminents chercheurs spécialisés dans l'IA.

Plusieurs phénomènes freinent la généralisation du recours à l'IA dans le domaine scientifique : la nécessité de transformer les méthodes d'IA afin de les transposer dans des environnements présentant des conditions délicates et variables ; les inquiétudes quant au manque de transparence de la prise de décisions fondée sur l'apprentissage automatique ; l'offre limitée de programmes d'enseignement et de formation dans le domaine de l'IA ; et le coût des ressources informatiques nécessaires à la recherche de pointe sur l'IA.

Lever les obstacles à l'égalité femmes-hommes dans le domaine de la science appelle une politique plus coordonnée

Le chapitre 7 sur les questions d'égalité femmes-hommes dans le contexte en pleine mutation de la STI passe en revue les principaux obstacles à la réduction des disparités dans le domaine de la science, aux différents stades de vie. Dès la petite enfance, les stéréotypes sexistes influent sur les choix éducatifs et les aspirations professionnelles. Dans l'enseignement supérieur, la répartition femmes-hommes est également inégale selon les filières, les femmes étant beaucoup moins représentées dans les filières ayant trait aux sciences, aux technologies, à l'ingénierie et aux mathématiques (STIM) – et plus particulièrement dans les domaines de l'ingénierie, des TIC, de la physique, des mathématiques et des statistiques. Au niveau doctoral, en revanche, la part des femmes dans certaines filières STIM a progressivement augmenté, et le phénomène de raréfaction de la présence des femmes au fil de l'enseignement supérieur et doctoral et de la formation n'est plus guère d'actualité (Miller et Wai, 2015). Pour ce qui est des carrières scientifiques, les chercheurs qui débutent occupent souvent des postes précaires dans un environnement ultraconcurrentiel. La compétition extrême, qui ajoute aux stéréotypes péremptoires, contribue à l'exclusion de ceux qui ne peuvent – ou ne souhaitent – pas soutenir continuellement la concurrence. Sans compter que la décision de s'engager dans la compétition coïncide souvent avec la période la plus active de la vie professionnelle comme familiale – celle où les individus fondent une famille –, ce qui ne fait qu'accentuer les déséquilibres entre les sexes.

L'évolution du contexte dans lequel s'inscrit la STI exacerbe les besoins de diversité. Si la justice et l'équité sociales sont en soi importantes, les faits tendent à montrer que la diversité contribue à renforcer la qualité des résultats de la recherche et leur pertinence au regard de la société (Smith-Doerr et al., 2017). La diversité et l'inclusivité dans le domaine de la STI sont indispensables à la production des connaissances et des innovations requises pour apporter une réponse efficace à l'ensemble des ODD.

À la lumière de ce contexte, le chapitre 7 énonce une vision future d'une entreprise scientifique plus empreinte de diversité et plus productive, qui reconnaît et récompense les contributions équivalentes et distinctes des hommes et des femmes. S'appropriant cet objectif, la plupart des pays ont défini des plans nationaux qui érigent l'équité entre les sexes au rang de priorité stratégique. L'édition 2017 de l'enquête sur les politiques STI menée conjointement par la Commission européenne et l'OCDE (https://stip.oecd.org) révèle que cette priorité a donné corps à un foisonnement d'initiatives liées à l'égalité femmes-hommes dans la STI. Pour autant, la vision globale reste celle d'une action publique fragmentée, caractérisée par une multitude d'institutions agissant indépendamment et une faible coordination entre les acteurs de l'éducation, de la science et de l'innovation. Rares sont les évaluations systématiques de l'efficacité et des incidences à long terme de la kyrielle d'interventions menées actuellement. Des actions coordonnées multipartites devront donc être entreprises à différents niveaux pour mener une réflexion stratégique et prendre des mesures ciblées afin de créer des cercles vertueux et de renforcer la position des femmes au sein des systèmes de STI.

La plupart des pays citent la mixité comme l'un des objectifs clés de leurs plans nationaux en faveur de la STI. Pourtant, l'action des pouvoirs publics demeure parcellaire. Une approche plus stratégique et systémique, inscrite sur le long terme, s'impose donc.

Comment les politiques STI répondent-elles aux évolutions sociétales et technologiques ?

Le cahier des charges de l'élaboration des politiques STI évolue à mesure que les technologies de rupture font naître des opportunités et des défis nouveaux. Affronter les grands défis sociétaux est devenu une priorité, et l'on tend à se tourner vers des politiques ciblées servant une finalité précise, assorties d'un calendrier bien défini. On peut toutefois s'interroger sur la capacité des pouvoirs publics à adopter de telles politiques directives – d'autant que la part des dépenses publiques consacrées à la R-D a, dans l'ensemble, diminué dans les pays membres de l'OCDE.

Défis sociétaux : de l'influence sur les priorités STI au conditionnement des actions concrètes

Comme le révèle une récente étude citée dans le chapitre 9 sur la gouvernance des politiques en matière de recherche publique, les stratégies STI de la plupart des pays de l'OCDE font explicitement référence aux défis sociétaux. Sur les 35 pays couverts par l'étude, 33 (soit 94 %) disposent d'une stratégie nationale en matière de STI ou envisagent de s'en doter. La grande majorité de ces stratégies (30 sur 33, soit 90 %) ont pour objectif d'apporter des réponses aux grands défis sociétaux ; les thèmes prioritaires sont la croissance durable, l'amélioration de la santé et la mise en place de systèmes de transport efficients. Ces stratégies font souvent référence aux ODD, qui se sont imposés comme un cadre d'action important à l'échelle mondiale. Néanmoins, comme le montre le chapitre 4 sur les politiques STI à l'appui de la réalisation des ODD, les défis sociétaux constituent rarement le but premier des programmes d'action STI, bien que de nombreux mécanismes de financement fondés sur une mise en concurrence intègrent des critères de sélection explicitement liés aux impacts sociétaux. Dans les ODD, les références à la STI sont souvent plus implicites qu'explicites, ce qui montre que davantage d'efforts doivent être déployés en dehors du champ des politiques STI afin de mettre en évidence la contribution potentielle de la recherche et de l'innovation à la réalisation des Objectifs. Il faudra pour ce faire mieux aligner les actuelles structures de gouvernance de la STI (aide à la formulation, pilotage et financement, coordination, évaluation et suivi des politiques, par exemple) sur le « cadre de gouvernance mondial » qui se dessine à l'appui de la réalisation des ODD.

On note à la fois une absence de références explicites à la STI dans les ODD, et de trop rares références aux ODD dans les stratégies STI. Des efforts doivent être déployés afin de mieux faire concorder les structures de gouvernance de la STI et le « cadre de gouvernance mondial » qui se dessine à l'appui des ODD.

L'ampleur et la portée transnationale des défis mondiaux et le volume d'investissements nécessaires pour les affronter exigent une coordination et une coopération internationales des efforts de recherche. La coopération internationale dans le domaine de la STI offre aux parties la possibilité d'accéder au savoir et à l'expertise, permet un partage des coûts et évite la redondance des efforts de recherche. La collaboration internationale entre les chercheurs n'a jamais été aussi intense et diversifiée – en témoignent les données relatives aux publications produites en co-autorat et au co-brevetage. Or elle se trouve aujourd'hui mise à mal par l'érosion du multilatéralisme dans d'autres domaines d'action des pouvoirs publics. Les responsables des politiques STI sont donc au défi de démontrer avec plus de vigueur les bienfaits d'une telle coopération sur les plans économique, sociétal et environnemental. Par ailleurs, la coopération internationale dans le domaine de la STI au service des défis planétaires exigera des mécanismes garantissant un partage équitable de la charge liée aux efforts de recherche déployés à l'échelle mondiale et des avantages qui en découleront

Vers un nouveau type de pilotage stratégique face aux défis économiques et sociétaux

Les voix s'élèvent en faveur d'une plus grande mobilisation de la science et de l'innovation au service de la croissance économique et des défis sociétaux, par le biais d'un pilotage stratégique de la STI. Comme le montre le chapitre 4 sur les politiques STI à l'appui de la réalisation des ODD, le recadrage des politiques STI n'est pas une tâche aisée et les appels à transformer les cadres d'action s'accompagnent rarement d'orientations claires à l'intention des décideurs ou de propositions de leviers d'action novateurs. On y préconise tout au plus de reformuler les instruments traditionnels agissant sur l'offre et la demande, en instillant des considérations de durabilité et de directivité.

Dans ce contexte, de nouveaux programmes axés sur une finalité précise ont été proposés, par exemple lors des débats préparatoires en vue de l'élaboration du plan « Horizon Europe ». Les programmes ciblés sont des interventions à grande échelle au service d'une mission précise (objectif ou solution), assorties d'un calendrier bien défini et intégrant une forte composante de R-D. Dans la mesure où l'on cherche à atteindre des cibles circonscrites dans le temps, la priorité est donnée aux réalisations concrètes plutôt qu'à la prise en charge de défis de grande envergure. Contrairement à ce qui a pu se faire par le passé, cette nouvelle génération de politiques axées sur des finalités précises est centrée plus clairement sur la demande et la diffusion des innovations, est cohérente avec les autres domaines d'action, et tient compte du rôle des innovations tant progressives que systémiques. Elles se veulent des politiques publiques « systémiques » qui tirent parti des connaissances les plus pointues pour atteindre des objectifs spécifiques, souvent extrêmement ambitieux (Mazzucato, 2018). Le cahier des charges de ces programmes reste à définir, mais doit allier la puissance entrepreneuriale des projets ascendants et le pilotage ciblé descendant nécessaire à l'innovation de rupture.

Les exemples de politiques ciblées qui se sont soldées par des échecs ne manquent pas. Les enseignements tirés de ces expériences justifient que les pouvoirs publics fassent preuve de prudence et prêtent une attention particulière à la conception et l'évaluation des approches finalisées. Si des programmes audacieux ont été adoptés par le passé (notamment dans les secteurs spatial et de la défense), leur transposition dans d'autres contextes et/ou à d'autres époques appelle des dispositifs d'action et de gouvernance distincts. À cela s'ajoute une différence de poids : par le passé, le gouvernement était le principal (sinon l'unique) client des produits issus des avancées technologiques ainsi obtenues, et les laboratoires publics, souvent les principaux acteurs de la R-D. Aujourd'hui, dans de nombreux pays de l'OCDE,

le secteur privé mène le gros des activités de R-D. Sans compter que l'exécution des missions dédiées aux grands défis sociétaux ne pourra se faire sans des financements considérables et des mécanismes de coordination spécifiques, faisant intervenir les entreprises et les acteurs de la société civile. Par conséquent, les pouvoirs publics doivent favoriser les partenariats public-privé, qui permettent un partage des risques et des retombées. Par ailleurs, ils font appel à des processus délibératifs afin de mieux aligner les stratégies d'innovation sur les priorités sociétales. En revanche, des questions subsistent quant à leur capacité de donner une orientation aux processus STI, compte tenu des limitations en termes à la fois de marge de manœuvre budgétaire, et de vivier de compétences et d'aptitudes existantes.

L'adoption de programmes axés sur des finalités précises permettrait de mobiliser la science et l'innovation au service des défis économiques et sociétaux. Reste toutefois à définir et tester les modalités concrètes de leur conception et des dispositifs de gouvernance connexes.

Soutenir le développement et l'adoption des technologies émergentes nécessite de composer avec des mesures anciennes et nouvelles

La mise au point et l'utilisation efficaces et éthiques des technologies de la prochaine révolution de la production (et au-delà) impliquent d'opérer des changements en termes d'élaboration et de gouvernance des politiques STI. Certains concernent des technologies particulières, tandis que d'autres sont plus transversaux. Plusieurs technologies numériques émergentes appellent de nouvelles formes d'interventions qui doivent encore être expérimentées et perfectionnées. Plusieurs chapitres, notamment le chapitre 2 sur l'IA et les technologies de la prochaine révolution de la production, le chapitre 3 sur l'innovation par le numérique et le chapitre 6 sur l'élargissement de l'accès aux données rendent compte de certaines tâches qui se profilent. Par exemple, les pouvoirs publics peuvent soutenir la production et le partage des données dans le cadre d'initiatives en faveur des données ouvertes. Ils peuvent jouer un rôle de catalyseur et d'intermédiaire de confiance dans les partenariats de données, par exemple en assurant la coordination et l'administration des accords de partage des données. Bien que de tels efforts soient généralement entrepris à l'échelon national, plusieurs initiatives internationales et multilatérales ont vu le jour pour favoriser le libre accès aux données de la STI.

Parallèlement, puisque les motifs traditionnels d'intervention des pouvoirs publics valent pour le soutien aux technologies émergentes, il convient de consolider les politiques et la gouvernance STI existantes, tout en en renforçant l'efficacité. Par exemple, les technologies de la prochaine révolution de la production (notamment dans les domaines de la microélectronique, de la biologie de synthèse, des nouveaux matériaux et des nanotechnologies) sont le fruit des progrès des connaissances et des instruments scientifiques. Les pouvoirs publics ont donc un rôle essentiel à jouer afin de promouvoir la recherche fondamentale et de mettre en place les incitations et les conditions propices à l'instauration de relations fructueuses entre la science et l'industrie. Même l'IA, aujourd'hui essentiellement aux mains de grandes entreprises privées, est le résultat de décennies de recherche publique qui ont jeté les bases des avancées actuelles.

Les politiques axées sur la diffusion sont tout aussi cruciales. Pour les systèmes complexes de grande envergure, à l'instar des bioraffineries, les partenariats public-privé autour des

démonstrateurs ont prouvé leur utilité en apportant des réponses aux questions techniques et économiques sur la production avant que des montants considérables soient engagés à fonds perdus. Les pouvoirs publics peuvent également soutenir les petites et moyennes entreprises afin qu'elles adoptent les technologies émergentes. Plus en aval, la certification des technologies, comme l'impression 3D, aidera à contrôler les éventuelles incidences néfastes, liées par exemple aux risques d'atteinte à l'environnement, favorisant par là même leur diffusion.

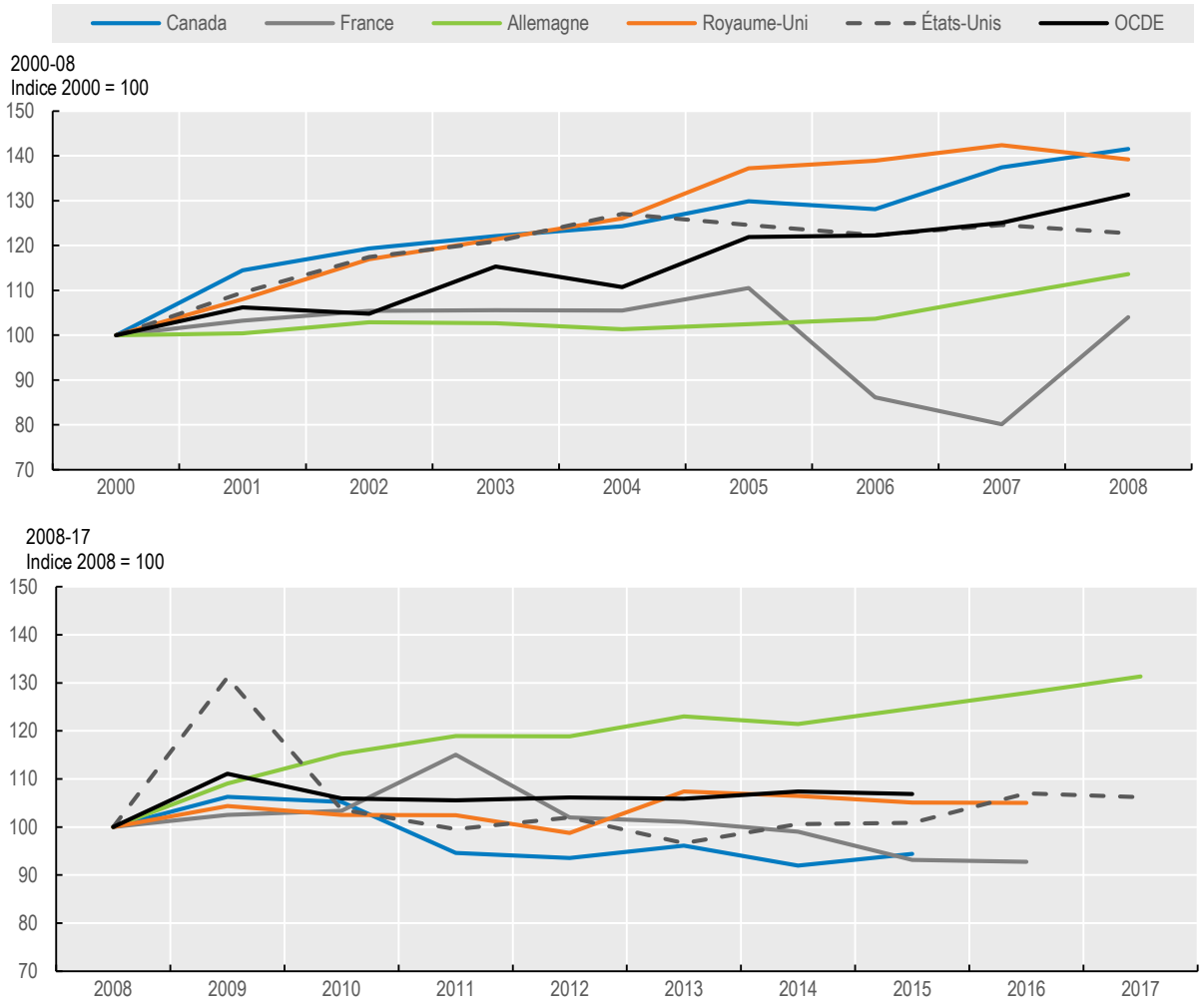
De nombreuses difficultés spécifiques peuvent faire obstacle à l'évolution des politiques. Dans la mesure où la prochaine révolution de la production a des répercussions dans un large éventail de domaines (de l'infrastructure numérique aux compétences, en passant par les droits de propriété intellectuelle) qui jadis n'étaient pas étroitement liés au regard de l'action des pouvoirs publics, elle exacerbe les problèmes de coordination déjà criants dans de nombreux pays. Par ailleurs, les pouvoirs publics ne disposent généralement pas de connaissances et de compétences suffisantes dans ces nouvelles technologies complexes et en rapide évolution. Par conséquent, l'accompagnement de la transition vers l'industrie 4.0 met à l'épreuve leur capacité d'intervenir dans différents domaines d'action en faisant preuve de vision prospective et de connaissances techniques. Avec l'accélération de l'innovation, il devient difficile d'apporter un soutien ciblé, les cibles évoluant à un rythme tel que les instruments traditionnels deviennent rapidement obsolètes et hors de propos. D'où la nécessité pour les pouvoirs publics de s'adapter : fixer des objectifs plus larges, définir des cibles évolutives ou opter pour une gestion flexible sont autant de solutions à explorer.

De nouvelles technologies émergent dans un large éventail de domaines qui, jadis, n'étaient pas étroitement liés au regard de l'action publique, créant par là même des problèmes de coordination. Qui plus est, les pouvoirs publics manquent de connaissances et de compétences dans la plupart de ces technologies complexes, en rapide évolution.

Tirer parti des technologies émergentes au service du progrès économique et social nécessite des investissements considérables et efficaces dans la recherche et l'innovation

Bien que la qualité et le type des activités de recherche et d'innovation comptent tout autant que les montants en valeur absolue qui leur sont alloués, les mesures précitées ne sauraient être menées à bien sans ressources financières. Reste à savoir si les tendances quant aux efforts publics de R-D sont à la mesure des défis actuels et futurs. Les crédits budgétaires publics de R-D (CBPRD) ont dans l'ensemble progressé avant la crise. Quelques années plus tard en revanche, maintenant que les dépenses supplémentaires liées aux programmes d'incitation et autres plans de relance ont été épuisées, ils diminuent ou stagnent dans tous les pays du G7 à l'exception de l'Allemagne. Ces pays affichant les plus gros budgets de R-D, on note une baisse générale des CBPRD à l'échelle de la zone OCDE (graphique 3).

Graphique 1.3. Crédits budgétaires publics en faveur de la R-D civile*, 2000-08 et 2008-17



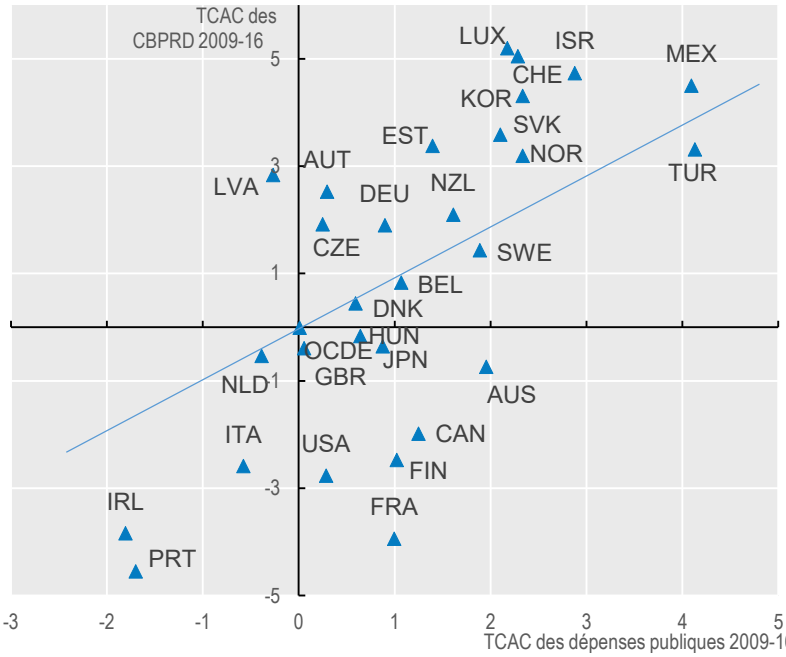
Note: CBPRD hors secteur de la défense.
Source: Calculs d'après OCDE (2018d), « Statistiques de la Recherche et du Développement : Crédits budgétaires publics de R-D », *Statistiques de l'OCDE de la science et technologie et de la R-D* (base de données), https://doi.org/10.1787/data-00194-fr (consulté le 14 septembre 2018).

StatLink https://doi.org/10.1787/888933876138

Les tendances en matière d'efforts publics de R-D pourraient ne pas être à la hauteur des défis actuels et futurs de la science et de l'innovation. Depuis 2010, les dépenses publiques de R-D dans l'ensemble de la zone OCDE et dans presque tous les pays du G7 ont stagné ou fléchi, non seulement en valeurs absolues et par rapport au PIB, mais aussi en pourcentage des dépenses publiques totales.

La comparaison de l'évolution des budgets publics en faveur de la R-D et des budgets agrégés de l'ensemble des domaines d'action apporte un éclairage supplémentaire sur la dynamique des financements publics (graphique 4). Il existe en effet une corrélation positive entre l'évolution générale des budgets publics et l'évolution particulière des budgets alloués à la R-D : on peut donc raisonnablement penser que les budgets globaux sont un déterminant des budgets de R-D, puisque les gouvernements examinent d'abord leur situation financière d'ensemble avant d'allouer les fonds aux différentes lignes budgétaires. Par conséquent, le ralentissement des dépenses de R-D pourrait s'expliquer en partie par les restrictions budgétaires globales consécutives aux plans de relance de 2009 et aux mesures de limitation ou de réduction de la dette publique. De même, tous les pays dans lesquels les CBPRD ont augmenté ont également connu une progression des financements publics totaux (angle supérieur droit). On observe par ailleurs que dans plusieurs pays, les budgets publics de R-D ont cru plus rapidement que les budgets publics globaux, d'où une augmentation de la part des dépenses de R-D dans les dépenses publiques (angle supérieur droit, au-dessus de la ligne diagonale). En revanche, six des pays du G7 ayant connu une évolution inverse, la part des dépenses publiques de R-D dans les dépenses publiques totales a diminué à l'échelle de la zone OCDE. Comme évoqué dans le chapitre 8 sur les approches et instruments nouveaux en matière de financement de la recherche publique, on peut en déduire que la recherche et l'innovation ont également reculé dans l'ordre des priorités d'action de nombreux pays. Sur un plan plus anecdotique, cette tendance fait écho à certaines réactions de représentants des pouvoirs publics – notamment au sein des ministères des finances et des centres de gouvernement – qui regrettent que les plans de relance ambitieux mis en œuvre dans le sillage de la crise financière n'aient pas donné lieu à des résultats véritablement tangibles en termes d'innovation.

Graphique 1.4. Croissance annuelle moyenne des dépenses publiques totales et des CBPRD, 2009-16



Source: Calculs d'après OCDE (2018e), « Comptes des administrations publiques, SCN 2008 (ou SCN 1993) : Principaux agrégats », *Statistiques de l'OCDE sur les comptes nationaux* (base de données), https://doi.org/10.1787/data-00020-fr (consulté le 8 octobre 2018) ; et OCDE (2018f), « Crédits budgétaires publics de R-D - Total (CBPRD) aux prix et PPA courants », in *Principaux indicateurs de la science et de la technologie*, vol. 2018/2, https://doi.org/10.1787/msti-v2018-1-table57-fr.

StatLink https://doi.org/10.1787/888933876157

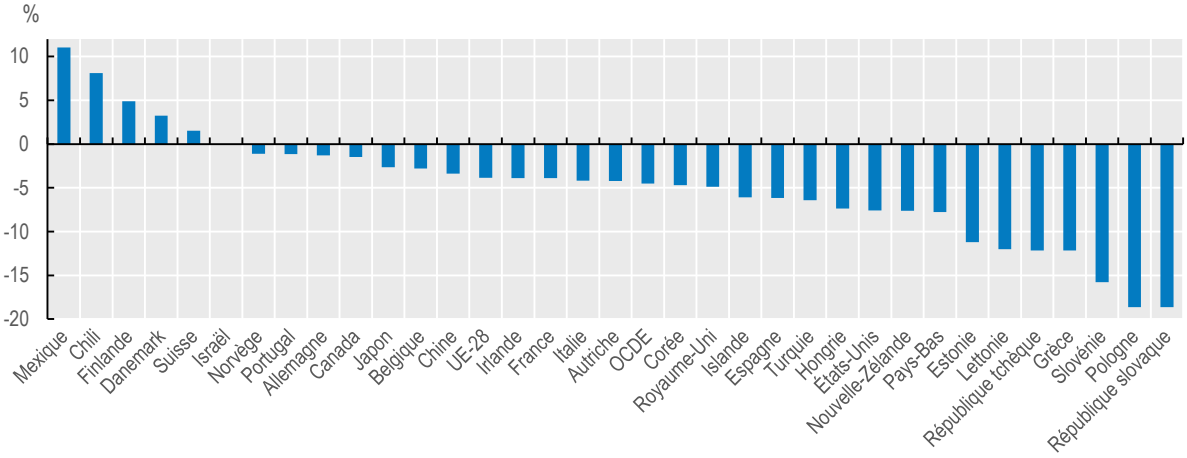
La part du financement public dans les dépenses totales de R-D a baissé de 4 points de pourcentage (de 31 % à 27 %) dans la zone OCDE entre 2009 et 2016 (graphique 5) ; seuls cinq pays ont enregistré une hausse. Par conséquent, on note une diminution globale du poids du financement public dans les dépenses totales de R-D, du fait de la divergence entre la dynamique des dépenses publiques et celle des dépenses des entreprises (reparties à la hausse après la crise financière). Comme évoqué plus haut (graphique 2), l'ajout des crédits d'impôt en faveur de la R-D aux données sur les budgets publics de R-D change la donne, puisqu'ils ont fortement progressé au cours de la période considérée. Toutefois, les crédits d'impôt ne renforcent pas la capacité des pouvoirs publics d'influer sur l'orientation de la R-D, car ils sont, par nature, neutres à cet égard. La baisse de la part du financement public dans les dépenses de R-D pourrait donc se traduire par une perte d'influence des pouvoirs publics sur l'orientation générale de la science et de l'innovation.

Du fait de la priorité donnée, au titre de l'action publique, aux incitations fiscales en faveur de la R-D, les pouvoirs publics sont moins à même de diriger la R-D privée vers des objectifs à visée sociale, alors même que le besoin de donner une orientation plus stratégique à la recherche et à l'innovation se fait plus impérieux.

La R-D des entreprises a progressé dans plusieurs pays et peut par conséquent compenser, dans une certaine mesure, la limitation des dépenses publiques. Néanmoins, la plupart des entreprises se concentrent sur la recherche appliquée et le développement expérimental. Le financement de la recherche fondamentale – sans laquelle nombre d'avancées récentes liées à la révolution numérique n'auraient pas été possibles – pourrait être compromise dans les années à venir.

Graphique 1.5. Évolution de la part des dépenses publiques dans le financement direct des dépenses intérieures brutes de R-D, 2009-16 (ou dernière année pour laquelle on dispose de données)

En points de pourcentage



Source: OCDE (2018g), « Principaux indicateurs de la science et de la technologie », *Statistiques de l'OCDE de la science et technologie et de la R-D* (base de données), https://doi.org/10.1787/data-00182-fr (consulté le 2 octobre 2018).

StatLink https://doi.org/10.1787/888933876176

Compte tenu des mesures d'austérité mises en place dans de nombreux pays, les représentants politiques et hauts responsables du secteur public tendent à réclamer des éléments tangibles sur les retombées liées au financement de la recherche ; ils veulent savoir ce qui fonctionne et ce qui échoue. Il est donc désormais demandé d'apporter des preuves quantitatives de l'impact des dépenses allouées à la science et à l'innovation, jusque-là exonérées de ce type d'exigence. Dans ce contexte, les décideurs doivent veiller à davantage soutenir les systèmes de suivi, les cadres d'évaluation et les infrastructures de données (voir chapitre 12). Comme évoqué dans le chapitre 9 sur la gouvernance des politiques en matière de recherche publique, 19 des 34 pays de l'OCDE interrogés disposent d'organes spécialisés indépendants chargés de l'évaluation et du suivi des performances des établissements d'enseignement supérieur (EES) et des établissements publics de recherche, sur lesquels ils peuvent s'appuyer pour élaborer leur politique en matière de programmes de financement.

Comme le montre le chapitre 8 sur les approches et les instruments nouveaux en matière de financement de la recherche publique, les exigences croissantes qui pèsent sur la recherche publique en termes d'impact économique et sociétal, en plus de l'excellence scientifique, influent en outre sur les modes conventionnels d'allocation des dépenses publiques aux établissements publics de recherche. Les instruments de financement sont de

plus en plus complexes pour répondre à la multiplication des objectifs économiques et sociaux que doivent atteindre la science et l'innovation. Bien que l'éventail de possibilités offertes aux décideurs ne se limite plus aux traditionnelles dotations globales allouées aux établissements et au financement par projet avec mise en concurrence, la complexité et la diversité des solutions ne va pas sans poser de nouveaux défis (en termes de coordination et d'évaluation d'impact, par exemple).

Comment la gouvernance de la STI s'adapte-t-elle à un contexte en rapide mutation ?

Alors que le paysage de la recherche et de l'innovation évolue à un rythme accéléré et se diversifie, les pouvoirs publics doivent faire preuve de plus de souplesse et de réactivité, davantage s'ouvrir à la participation des parties prenantes et mieux s'informer. Ils expérimentent d'ores et déjà de nouvelles approches de la conception et de l'application des politiques. Ils gagneraient en outre à exploiter les technologies numériques pour l'élaboration, la mise en œuvre et le suivi des politiques STI. La nouvelle génération d'outils numériques permet de produire des données plus granulaires et actualisées pour éclairer la formulation et la conception de l'action publique. En reliant différents ensembles de données, ces outils peuvent transformer la base factuelle à l'appui les politiques STI et aider à démontrer les liens entre les dépenses allouées à la science et l'innovation, et les résultats tangibles obtenus.

De nouveaux modes de gouvernance de la STI voient le jour

Les évolutions technologiques et sociales transforment la façon dont les pouvoirs publics travaillent et interagissent avec les destinataires de leurs politiques et leurs partenaires. Ainsi, les nouvelles technologies comme l'IA et l'édition génomique peuvent induire des changements – voire des bouleversements – inattendus dans la société et l'économie. Bien que plus difficiles, la prévention, la correction ou la limitation des effets néfastes des technologies prennent également de l'importance à mesure que les technologies elles-mêmes deviennent plus complexes et omniprésentes. Face au rythme effréné des progrès technologiques, les décideurs peinent à garder un œil sur les technologies émergentes. Les instruments réglementaires traditionnels en « bout de chaîne » (en matière d'évaluation des risques, par exemple) ne suffisent plus dans des conditions empreintes d'incertitudes : ils ne permettent pas d'anticiper ou de traiter les répercussions à long terme des technologies émergentes, et peuvent être synonymes de rigidité, s'avérer inadaptés, voire étouffer l'innovation.

Les incertitudes et les risques inhérents aux évolutions technologiques rapides ne sauraient être supportés et gérés par le seul secteur privé : les pouvoirs publics doivent jouer un rôle actif. Le chapitre 11 sur les nouvelles approches de la conception et de l'expérimentation des politiques montre que les pouvoirs publics doivent évoluer afin de mieux anticiper ces processus d'évolution, de s'y adapter et d'en limiter les risques, dans le cadre de leur arsenal de mesures STI et de leurs pratiques d'élaboration des politiques. Toutefois, trouver un juste équilibre entre la nécessité, d'une part, de maintenir la confiance dans le système public et d'en préserver la stabilité, et, d'autre part, de s'adapter rapidement à un nouvel environnement et à de nouvelles exigences, relève de la gageure. S'adapter n'en reste pas moins un impératif ; à défaut, les pouvoirs publics risqueraient de perdre leur pertinence et de devenir dysfonctionnels et déconnectés. Malgré des avantages potentiels indéniables, nombre d'approches émergentes – comme la conception créative, l'intelligence collective,

les approches comportementales, l'expérimentation, les plateformes gouvernementales et la gouvernance anticipative – restent rares dans le domaine des politiques STI.

Les pouvoirs publics doivent concilier pertinence et stabilité : ils doivent évoluer pour mieux anticiper les changements technologiques et sociaux rapides, s'y adapter et en limiter les risques, tout en préservant la confiance dans le système public et en assurant sa stabilité.

De nouvelles formes de gouvernance des technologies doivent en outre être trouvées afin de permettre aux décideurs de répondre aux évolutions technologiques en temps réel. Par gouvernance des technologies, on entend l'exercice de l'autorité politique, économique et administrative sur le développement, la diffusion et l'exploitation des technologies. Le chapitre 10 montre que la gouvernance doit se faire « en amont » et devenir une partie intégrante du processus d'innovation, de manière à orienter les technologies émergentes vers des résultats collectifs optimaux. Or cela nécessite des modes de gouvernance plus anticipatifs et participatifs.

Les approches anticipatives peuvent aider à explorer les conséquences de l'innovation, en débattre et définir des orientations et ce, à un stade précoce. Elles peuvent intégrer des valeurs et des préoccupations publiques, limitant ainsi les risques de rejet des technologies par la population. Les pouvoirs publics doivent se doter de nouvelles capacités alliant prospective, engagement et réflexivité, afin de favoriser l'acceptation des nouvelles technologies, et, dans le même temps, d'évaluer les effets économiques et sociétaux recherchés et inopinés, d'en débattre et de s'y préparer. Les nouveaux instruments d'action tels que les codes de conduite normatifs, bancs d'essai, « bacs à sable » réglementaires et évaluations de technologies en temps réel peuvent être utiles. Le chapitre 3 sur l'innovation par le numérique et le chapitre 2 sur l'IA et les technologies de la prochaine révolution de la production mettent également en lumière les avantages de l'utilisation d'espaces d'apprentissage protégés (à l'instar des bancs d'essai et bacs à sables réglementaires), pour la conduite d'examens réglementaires des technologies émergentes. Les approches participatives peuvent quant à elles fournir à un large éventail de parties prenantes – y compris les citoyens – de réelles possibilités d'évaluer et de modeler les trajectoires des technologies.

Le recours à ces pratiques peut permettre de veiller au respect des objectifs, des valeurs et des préoccupations de la société tout au long du développement des technologies émergentes, et de faire en sorte que les décideurs (et la société) ne soient pas pris au dépourvu. Ce faisant, il est possible de façonner les dispositifs et trajectoires technologiques, sans contraindre indûment les innovateurs.

Vers une nouvelle génération de données et d'indicateurs

Dressant une synthèse des débats et des points de vue échangés lors de la conférence Blue Sky de 2016 de l'OCDE, le chapitre 14 sur la mesure de la STI expose plusieurs grandes tendances influant sur la production et l'utilisation des données et statistiques STI. Tel est le cas de la connectivité croissante des systèmes STI au-delà des frontières nationales ; l'accélération de la transformation numérique et ses incidences sur la disponibilité des données ; et les exigences de démonstration des impacts des dépenses publiques sur la STI

dans un contexte d'austérité budgétaire. Ces facteurs d'évolution créent de nouveaux besoins en termes de données STI. Ils remettent également en question les formes traditionnelles de définition et de classification statistiques, qui peinent à capturer des identités, des attitudes et des trajectoires économiques plus mouvantes.

Compte tenu de la mondialisation croissante des activités scientifiques et d'innovation, les difficultés que rencontrent les systèmes statistiques nationaux pour appréhender la création et la circulation des connaissances et des flux financiers connexes à l'échelle internationale constituent une source de préoccupation majeure. En période de mutations profondes et rapides, il devient crucial de disposer de données actualisées, à des intervalles plus fréquents. Les délais sont tout aussi essentiels lorsqu'il s'agit de mesurer des processus dont la durée de vie peut être courte, tels la dynamique de l'entrepreneuriat et des entreprises.

Les responsables des politiques STI sont au défi de suivre de près le lien entre, d'une part, la science et l'innovation, et, d'autre part, l'éventail complet des enjeux planétaires de durabilité – de l'éradication de la pauvreté et de la famine à l'égalité, en passant par la lutte contre le changement climatique. Ces liens sont difficiles non seulement à détecter, mais aussi à mettre au jour par le seul recours à des indicateurs. De par le caractère multidimensionnel des ODD, il sera nécessaire, pour observer et mesurer la contribution générale de la science et de l'innovation à leur réalisation, d'agréger des informations issues de diverses sources. Le chapitre 4 sur les politiques STI à l'appui de la réalisation des ODD aborde également cette question. Il laisse à penser que des données budgétaires détaillées pourraient fournir des informations sur les engagements de « contribution » de la STI aux ODD, bien qu'il pourrait s'avérer difficile d'obtenir et d'interpréter de telles données à l'échelle internationale. On y recommande par ailleurs que les cadres actuellement mis au point pour mesurer l'avancement général de la réalisation des ODD prévoient la création de nouveaux indicateurs STI.

Le suivi de la contribution de la science et de l'innovation aux grands enjeux multidimensionnels mondiaux reste un défi et nécessitera de nouveaux développements sur le front des statistiques et des indicateurs. Ces efforts devront s'inscrire dans le cadre des travaux entrepris pour définir des indicateurs visant à mesurer l'avancement général de la réalisation des ODD.

Incidences de la transformation numérique sur la base factuelle à l'appui des politiques et de la gouvernance STI

La montée en puissance du numérique a d'ores et déjà des incidences majeures sur la base factuelle qui sous-tend les politiques et la gouvernance STI. Le recours croissant aux outils numériques dans les processus de recherche et d'innovation laisse davantage de « traces numériques » susceptibles d'être utilisées pour l'établissement d'indicateurs et d'analyses. Tandis que les coûts inhérents au développement de nouvelles sources pour répondre à des questions spécifiques peuvent s'avérer prohibitifs, le fait de relier différentes sources de données peut apporter des éclairages que l'on ne pourrait obtenir si les composantes étaient utilisées indépendamment.

Le chapitre 12 recense les potentialités de la transformation numérique des politiques en matière de science et d'innovation, à savoir : (i) la rationalisation des procédures administratives fastidieuses, avec à la clé des gains d'efficience notables au sein des

ministères et des organismes ; (ii) la production d'analyses de données plus granulaires et actualisées à l'appui des politiques STI, et l'amélioration de l'affectation des financements en faveur de la recherche et de l'innovation ; (iii) l'accélération des délais de production des données de suivi des performances, synonyme de davantage de souplesse pour ajuster les politiques sur le court terme ; (iv) la détection de l'apparition de schémas d'évolution et de stabilité de la recherche, de l'innovation et de l'industrie, à l'appui de l'établissement de prévisions à court terme sur des questions intéressant les pouvoirs publics ; et (v) la promotion de l'inclusivité dans le cadre de l'exercice de définition des priorités des politiques STI, grâce à l'ouverture des données sur les politiques à un éventail plus large de parties prenantes.

Parallèlement, les attentes des décideurs vis-à-vis des infrastructures qui sous-tendent la transformation numérique des politiques de science et d'innovation ne doivent pas relever d'un « rationalisme naïf » sous-estimant la complexité inhérente à l'élaboration des politiques. Ces infrastructures peuvent certes être utilisées pour éclairer les choix des pouvoirs publics, mais ne peuvent – ni ne doivent – être appréhendées comme une solution technique à des raisonnements somme toute politiques, fondés sur des valeurs concurrentes et des incertitudes. Si les systèmes sont « ouverts par défaut », ils peuvent néanmoins aider à l'intégration de valeurs sociales dans le processus d'élaboration des politiques en favorisant l'inclusivité lors de la définition des priorités de la science et de l'innovation, les rendant ce faisant moins technocratiques et plus démocratiques.

Les systèmes qui sous-tendent la transformation numérique des politiques de la science et de l'innovation ne sauraient apporter une solution purement technique à l'élaboration des programmes d'action, qui demeure éminemment complexe et fondée sur des raisonnements politiques. En revanche, ils peuvent aider à l'intégration de valeurs sociales dans la prise de décisions, en favorisant l'inclusivité lors de la fixation des priorités en matière de science et d'innovation.

Indépendamment du contexte de l'action publique, l'utilisation intégrée et systématique du numérique dans l'élaboration des politiques de la science et de l'innovation dépend non seulement des technologies numériques, mais aussi de l'existence de conditions sociales et administratives propices à leur adoption. Les organisations et les individus doivent en outre avoir l'assurance que les données afférentes à leur financement, leurs activités et leurs résultats seront gérées de manière appropriée et protégées en tant que de besoin.

Le chapitre 13 sur le ciblage du soutien aux entreprises sur celles présentant un fort potentiel de croissance expose une possible application des données massives et de l'apprentissage automatique à la résolution d'un problème concret ayant trait aux politiques STI (voir encadré 3). Il met en évidence certains avantages potentiels, mais aussi les limites de l'utilisation de telles techniques. Le chapitre 14 sur la mesure de la STI aborde d'autres préoccupations liées à l'utilisation des données massives et de l'apprentissage automatique, dont l'exploitation d'ensembles de données susceptibles de présenter des défauts et des biais ; les difficultés d'évaluer les techniques et les analyses fondées sur les données massives ; et la difficulté d'expliquer ces techniques aux décideurs et au public.

Encadré 1.3. Ciblage du soutien aux entreprises sur celles présentant un fort potentiel de croissance

Sachant que seule une infime minorité d'entreprises nouvelles contribuent à la croissance économique, des universitaires se sont interrogés sur l'efficacité de politiques non ciblées en faveur des entreprises, arguant que les ressources publiques devraient être concentrées sur celles qui présentent le potentiel de croissance le plus élevé. Une telle approche pose la question de la possibilité d'identifier *ex ante* ces entreprises. L'une des difficultés à détecter les entrants performants tient à l'absence de données détaillées sur les caractéristiques des entreprises et des entrepreneurs au moment de la création des entités. Dans la mesure où il s'agit généralement de très petites structures, peu d'informations sont accessibles via les sources administratives. Les décideurs peuvent alors se tourner vers les données massives et les techniques innovantes d'analytique prédictive (à l'instar de l'apprentissage automatique) pour cibler les entrants à forte croissance.

Ce type d'utilisation des outils numériques n'est pas dénué de risques. La réussite des startups demeure extrêmement imprévisible, les facteurs idiosyncratiques et non observables jouant toujours un rôle important sur les marchés en rapide évolution. Les périodes de mutations profondes ne se prêtent guère aux politiques axées sur le choix des « meilleures » alternatives. En temps de turbulences, la plupart des innovations naissent en réalité d'essais empiriques de combinaisons d'innovations technologiques et sociales. Ce qui rend toute tentative d'identification *ex ante* d'entreprises à fort potentiel plus délicate, voire préjudiciable au processus d'évolution, dans la mesure où elle limite l'expérimentation. On prend alors le risque de passer à côté d'un sous-ensemble d'entreprises dont le potentiel de croissance peut émerger et se développer au fil des interactions avec leur environnement, avec pourtant, à la clé, un apprentissage plus rapide et des investissements plus importants pour certaines. C'est pourquoi les interventions directes et ciblées des pouvoirs publics devront toujours être complétées par des réformes horizontales, afin de veiller à ce que l'environnement général des entreprises reste propice à l'entrepreneuriat et l'expérimentation. Dans la pratique, il convient de trouver un juste équilibre entre le ciblage et la promotion de l'expérimentation, mais les informations issues des données massives et des techniques d'apprentissage automatique pourraient bientôt modifier cet équilibre, en orientant les choix vers davantage de ciblage (voir chapitre 13).

La contribution des entreprises du secteur privé à la base factuelle qui sous-tend les politiques STI tend à progresser, notamment parce que ce sont elles qui détiennent les bases de données bibliographiques et fournissent les services complémentaires. La transformation numérique des politiques STI offre aux acteurs privés de nouvelles possibilités de participation. Malgré certains avantages, le fait que les systèmes et les composantes de cette transformation reposent sur le secteur privé ne va pas sans présenter des risques pour le secteur public. Par exemple, la dépendance à l'égard de produits et de services propriétaires peut conduire à un accès discriminatoire aux données, même si ces données portent sur des activités de recherche financées par le secteur public. Sans compter que l'adoption par le secteur public de normes commerciales pour les mesures pourrait favoriser l'émergence de plateformes privées affichant des effets de réseau difficiles à contester.

Conclusion

L'édition 2018 des Perspectives STI examine, sous différents angles et selon diverses approches, les changements à apporter aux politiques face aux bouleversements qui s'opèrent dans les technologies, l'économie, l'environnement et la société. Les 13 chapitres thématiques et la présente introduction générale couvrent un grand nombre de questions politiques essentielles. Ensemble, ils apportent des éclairages sur les défis à relever et laissent entrevoir un éventail de solutions potentielles. Le graphique 6 schématise les principales questions politiques et dresse une synthèse des thèmes abordés dans la publication.

Tous les chapitres citent des exemples concrets de programmes d'action nationaux, contribuant par là même au processus d'apprentissage fondé sur l'examen des politiques internationales. Compte tenu de la complexité et des incertitudes qui entourent les défis auxquels sont confrontés les pays développés et en développement, les décideurs doivent poursuivre leurs échanges de vues sur les solutions qu'ils mettent en œuvre, et les déterminants de leur réussite ou de leur échec.

Note

[1] Les principes FAIR (*Findability, Accessibility, Interoperability, Reuse*) sont destinés à favoriser la découverte, l'accessibilité, l'interopérabilité et la réutilisation des données.

Réferences

Bloom, N. et al. (2017), « Are Ideas Getting Harder to Find? », *NBER Working Paper*, n° 23782, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, http://www.nber.org/papers/w23782.

De Backer, K. et D. Flaig (2017), « The future of global value chains: Business as usual or 'a new normal'? », *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, n° 41, Éditions OCDE, Paris, https://doi.org/10.1787/d8da8760-en.

GIEC (2018), *Global Warming of 1.5 ºC, an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5ºC above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Genève, http://www.ipcc.ch/report/sr15/.

Guillemette, Y. et D. Turner (2018), « The Long View: Scenarios for the World Economy to 2060 », *OECD Economic Policy Papers*, n° 22, Éditions OCDE, Paris, https://doi.org/10.1787/b4f4e03e-en.

Jones, B. (2009), « The Burden of Knowledge and the 'Death of the Renaissance Man': Is Innovation Getting Harder? », *The Review of Economic Studies*, vol. 76/1, pp. 283-317, Oxford University Press, Oxford, https://doi.org/10.1111/j.1467-937X.2008.00531.x.

Mazzucato, M. (2018), *Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union – A problem-solving approach to fuel innovation-led growth*, Direction générale de la recherche et de l'innovation, Commission européenne, Bruxelles, https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/mazzucato_report_2018.pdf.

Miller, D. I. et J. Wai (2015), « The bachelor's to Ph.D. STEM pipeline no longer leaks more women than men: a 30-year analysis », *Frontiers in Psychology*, vol. 6/37, Frontiers Media, Lausanne, http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00037.

OCDE (2018a, à paraître), « The policy mix for science-industry knowledge transfer: Towards a mapping of policy instruments and their interactions », document du Groupe de travail sur la politique de l'innovation et de la technologie, OCDE, Paris.

OCDE (2018b), *OECD time-series estimates of government tax relief for business R&D, TAX4INNO Project 674888, Deliverable 2.3: Summary report on tax expenditures, Version 29 May 2018*, OCDE, Paris, http://www.oecd.org/sti/rd-tax-stats-tax-expenditures.pdf.

OCDE (2018c), *OECD review of national R&D tax incentives and estimates of R&D tax subsidy rates, TAX4INNO Project 674888, Deliverable 3.3: Summary report on tax subsidy rates – core countries, Version 18 April 2018*, OCDE, Paris, http://www.oecd.org/sti/rd-tax-stats-design-subsidy.pdf.

OCDE (2018d), « Statistiques de la Recherche et du Développement : Crédits budgétaires publics de R-D (Édition 2017) », *Statistiques de l'OCDE de la science et technologie et de la R-D* (base de données), https://doi.org/10.1787/data-00194-fr (consulté le 26 septembre 2018).

OCDE (2018e), « Comptes des administrations publiques, SCN 2008 (ou SCN 1993) : Principaux agrégats », *Statistiques de l'OCDE sur les comptes nationaux* (base de données), https://doi.org/10.1787/data-00020-fr (consulté le 8 octobre 2018).

OCDE (2018f), « Crédits budgétaires publics de R-D - Total (CBPRD) aux prix et PPA courants », in *Principaux indicateurs de la science et de la technologie*, vol. 2018/2, Éditions OCDE, Paris, https://doi.org/10.1787/msti-v2018-1-table57-fr.

OCDE (2018g), « Principaux indicateurs de la science et de la technologie », *Statistiques de l'OCDE de la science et technologie et de la R-D* (base de données), https://doi.org/10.1787/data-00182-fr (consulté le 2 octobre 2018).

OCDE (2017a), *Investing in Climate, Investing in Growth*, Éditions OCDE, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264273528-en.

OCDE (2017b), *La prochaine révolution de la production : Conséquences pour les pouvoirs publics et les entreprises*, Éditions OCDE, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264280793-fr.

OCDE (2017c), « La transformation numérique », in *Perspectives de l'économie numérique de l'OCDE 2017*, Éditions OCDE, Paris, https://doi.org/10.1787/9789264282483-4-fr.

OCDE (2017d), *Making Innovation Benefit All: Policies for Inclusive Growth*, OCDE, Paris, https://www.innovationpolicyplatform.org/system/files/Inclusive%20Growth%20publication%20FULL%20for%20web.pdf.

OCDE (2017e), *Science, technologie et industrie : Tableau de bord de l'OCDE 2017 - La transformation numérique*, Éditions OCDE, Paris, https://doi.org/10.1787/sti_scoreboard-2017-fr.

OCDE (2016), *Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE 2016*, Éditions OCDE, Paris, https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-fr.

Smith-Doerr, L., S. N. Alegria et T. Sacco (2017), « How Diversity Matters in the US Science and Engineering Workforce: A Critical Review Considering Integration in Teams, Fields, and Organizational Contexts », *Engaging Science, Technology and Society*, vol. 3 (2017), pp. 139-153, http://dx.doi.org/10.17351/ests2017.142.

Wilkinson, M. et al. (2016), « The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship », *Scientific Data 3*, Article n° 160018 (2016), Nature Publishing Group, Londres, http://dx.doi.org/10.1038/sdata.2016.18.

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements oeuvrent 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, la Lettonie, la Lituanie, 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
(92 2018 04 2 P) ISBN 978-92-64-30780-3 – 2018

Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE 2018

(VERSION ABRÉGÉE)

S'ADAPTER AUX BOULEVERSEMENTS TECHNOLOGIQUES ET SOCIÉTAUX

Science, technologie et innovation : Perspectives de l'OCDE est une publication bisannuelle visant à informer les décideurs et les analystes sur les changements récents et possibles des modèles de la science, la technologie et de l'innovation (STI), au niveau mondiale, et leurs implications potentielles pour les politiques nationales et internationales. L'édition de 2018 est composée de 14 chapitres concis qui mettent en lumière plusieurs sujets pertinents pour les agendas politiques actuels en matière de STI. Ceux-ci abordent notamment les opportunités et les défis, découlant d'un meilleur accès aux données, pour la science et l'innovation; la manière dont les objectifs de développement durable des Nations Unies façonnent les agendas politiques de la STI; les impacts de l'intelligence artificielle sur la science et la fabrication; l'influence de la numérisation sur la manière dont les activités de recherche et d'innovation, et les mesures politiques qui les soutiennent, sont mesurées et évaluées; et de nouvelles approches en matière de gouvernance technologique et de conception des politiques.

Cette publication s'inscrit dans le cadre du projet « Going Digital » de l'OCDE. Dans un monde résolument tourné vers le numérique et les données, ce projet vise à fournir aux décideurs les outils dont ils ont besoin pour aider leurs économies et leurs sociétés à prospérer.

Pour plus d'informations, consultez ***www.oecd.org/going-digital***

#GoingDigital

going digital
Making the transformation work for growth and well-being

Veuillez consulter cet ouvrage en ligne : ***https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2018-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*** pour plus d'informations.

éditionsOCDE
www.oecd.org/editions

ISBN 978-92-64-30780-3
92 2018 04 2 P

9 789264 307803