



Études de l'OCDE sur la croissance verte

Énergie



OCDE



International
Energy Agency

Études de l'OCDE sur la croissance verte

Énergie

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

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

Merci de citer cet ouvrage comme suit :

OCDE (2012), *Énergie*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264168480-fr>

ISBN 978-92-64-11569-9 (imprimé)
ISBN 978-92-64-16848-0 (PDF)

Collection: Études de l'OCDE sur la croissance verte
ISSN 2222-9531 (imprimé)
ISSN 2222-954X (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.

Création graphique : advitam pour l'OCDE.

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

© OCDE 2012

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

Avant-propos

La croissance démographique et économique se traduit par une augmentation rapide de la demande énergétique mondiale, notamment dans les économies émergentes. Bien qu'elle soit associée à une plus grande prospérité, cette demande croissante pose de nouveaux défis. Des problèmes de sécurité énergétique risquent de survenir, l'accroissement du nombre de consommateurs nécessitant toujours plus de ressources énergétiques. La hausse de la consommation de combustibles fossiles entraîne une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, et plus particulièrement de dioxyde de carbone (CO₂), ce qui contribue au réchauffement global. Parallèlement, le nombre de personnes dépourvues d'accès à l'électricité demeure à un niveau inacceptable.

Toutefois, ces défis peuvent créer des opportunités. Un avenir énergétique durable nécessitera de nouveaux efforts de réflexion et de nouveaux systèmes — principalement une transformation de la manière dont nous produisons, acheminons et consommons l'énergie. Si nous voulons améliorer le niveau de vie, donner accès à des services énergétiques modernes, utiliser l'énergie plus efficacement, protéger l'environnement mondial et assurer la fiabilité de l'approvisionnement énergétique, la croissance verte a un rôle clé à jouer.

L'OCDE et l'AIE soutiennent activement la transition vers un modèle de croissance plus vert. Lors de la réunion du Conseil au niveau des ministres qui s'est tenue en mai 2011 à l'occasion de son cinquantenaire, l'OCDE a lancé la Stratégie pour une croissance verte afin d'aider les décideurs et les acteurs concernés à relever les principaux défis environnementaux auxquels est confronté le monde d'aujourd'hui, tout en améliorant les opportunités économiques. La Stratégie comprend à la fois des recommandations d'action pour rendre la croissance économique plus « verte » et un ensemble d'indicateurs pour suivre les progrès accomplis sur la voie de la croissance verte. Cette Stratégie vise avant tout à instaurer un changement et à atteindre un objectif partagé par tous : rendre le monde plus fort, plus propre et plus juste.

Le présent rapport met en évidence les défis auxquels doivent faire face les producteurs et les consommateurs d'énergie, et la manière dont ils peuvent les relever par le jeu des politiques de croissance verte. Dans la mesure où l'énergie sous-tend l'économie mondiale, les décisions prises aujourd'hui dans le secteur énergétique joueront un rôle crucial dans la mise en œuvre d'une croissance plus verte. C'est l'occasion ou jamais d'établir un cadre d'action en faveur de la transformation de ce secteur, notamment en encourageant l'innovation technologique et l'émergence de nouveaux marchés et de nouvelles industries, afin de réduire l'intensité carbone du secteur et d'améliorer l'efficacité énergétique.

La nécessité de réduire les émissions de CO₂ dans le secteur de l'énergie, impérieuse du point de vue environnemental, coïncide avec l'imminence d'un nouveau cycle d'investissement dans la production d'électricité dans la plupart des pays de l'OCDE. Les économies émergentes disposent de nombreuses installations de production d'électricité assez récentes, mais un nombre bien plus important encore sera construit au cours des prochaines années pour répondre à la croissance de la demande énergétique. Dans la mesure où la durée de vie utile des centrales électriques et autres infrastructures est généralement longue, nous devons éviter de « verrouiller » les émissions de CO₂ en veillant à mettre en œuvre les technologies les plus récentes. La marge dont nous disposons est étroite. Si nous ne réussissons pas à ralentir le rythme de croissance actuel des émissions, le plafond sera atteint en 2017, ce qui signifie que pour limiter la hausse globale des températures à 2 degrés Celsius, les émissions des nouvelles infrastructures devront être nulles.

Une transformation à grande échelle du secteur énergétique mondial est possible, mais nécessitera des investissements considérables. Les émissions mondiales pourraient être divisées par deux d'ici à 2050 en combinant les technologies existantes et les nouvelles technologies, au prix d'un investissement supplémentaire de 46 000 milliards USD, soit 17 % de plus que les investissements prévus au départ. Il est essentiel que les gouvernements établissent le cadre d'action nécessaire pour catalyser les investissements du secteur privé en faveur

de la transition vers un secteur de l'énergie bas carbone. En agissant dès aujourd'hui, les coûts à long terme peuvent être réduits. Chaque dollar non investi dans le secteur énergétique d'ici à 2020 nécessitera 4.3 USD d'investissement supplémentaire après 2020 pour compenser la hausse des émissions de gaz à effet de serre par la construction d'installations et d'infrastructures à zéro émission de carbone à l'horizon 2035.

Il existe un besoin urgent de créer un cadre d'action en faveur de la transformation du secteur de l'énergie. C'est un défi de taille, mais nous devons agir ensemble et donner l'impulsion à un changement fondamental.

Angel Gurría, Secrétaire général de l'OCDE, et Maria Van der Hoeven, Directrice exécutive de l'AIE

Remerciements

Cette étude préliminaire menée conjointement par l'OCDE et l'AIE a été établie dans le sillage de la Stratégie pour une croissance verte et s'inscrit dans la série d'études de l'OCDE sur la croissance verte.

Le présent rapport a été préparé par Nathalie Girouard, Elianna Konialis, Cecilia Tam et Peter Taylor et repose essentiellement sur les travaux menés par trois consultants : Barbara Buchner, Debra Justus et William Blyth. Des experts de l'AIE et de l'OCDE ont également apporté leur contribution : Ingrid Barnsley, Amos Bromhead, Jan Corfee-Morlot, Rob Dellink, Dan Dorner, Rebecca Gaghen, Nick Johnstone, Myriam Linster, Bertrand Magné, et Robert Tromop. Le présent rapport s'appuie sur un certain nombre de publications de l'AIE et de l'OCDE, dont les *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050*, le *World Energy Outlook 2011* et les *Energy Technology Perspectives 2010*.

Le présent rapport est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE et de la Directrice exécutive de l'AIE. Les travaux ont été conduits sous la direction du Chef économiste et Secrétaire général adjoint Pier Carlo Padoan et ont bénéficié des conseils de Bo Diczfalusy, Directeur des politiques et technologies énergétiques durables, et de Simon Upton, Directeur de la Direction de l'environnement. Le projet a été géré par Nathalie Girouard et soutenu par l'équipe en charge de la croissance verte.

Les pays membres et partenaires ainsi que les entreprises et la société civile ont fait des commentaires très utiles sur les versions précédentes du présent rapport.

Pour plus d'informations sur la Stratégie de l'OCDE pour une croissance verte, voir www.oecd.org/croissanceverte.

Table des matières

| | |
|--|------------|
| Avant-propos | 3 |
| Remerciements | 5 |
| Acronymes | 11 |
| Résumé | 13 |
| Chapitre 1. Transformer le secteur de l'énergie pour soutenir la croissance | 19 |
| La croissance verte nécessite un moteur vert..... | 20 |
| Faire face aux déséquilibres et risques systémiques..... | 23 |
| Les perspectives énergétiques mondiales..... | 26 |
| Conséquences de la poursuite des tendances actuelles..... | 31 |
| Chapitre 2. Favoriser la transition vers une croissance verte | 35 |
| Croissance verte et énergie : les enjeux..... | 36 |
| Arbitrages potentiels et coûts d'ajustement..... | 39 |
| Croissance verte et énergies : technologies clés..... | 41 |
| Un cadre d'action pour l'écologisation de l'énergie | 44 |
| Les politiques de croissance verte dans certains secteurs énergétiques | 59 |
| Chapitre 3. Mise en œuvre de l'énergie verte : refondre l'économie politique | 73 |
| Économie politique — mettre en œuvre le changement dans différents contextes nationaux | 74 |
| Ajustement structurel | 78 |
| Actifs échoués | 84 |
| Effets sur l'emploi..... | 87 |
| Effets redistributifs..... | 92 |
| Chapitre 4. Suivre les progrès accomplis sur la voie de la croissance verte | 103 |
| Le cadre conceptuel de l'OCDE pour les indicateurs de la croissance verte | 104 |
| Indicateurs de la croissance verte liés à l'énergie | 104 |

Encadrés

| | |
|---|-----|
| Encadré 1.1. Accroissements de la puissance installée : saisir les opportunités et éviter le verrouillage..... | 23 |
| Encadré 1.2. Modélisation environnementale et économique de l’AIE et de l’OCDE | 26 |
| Encadré 2.1. Comment fabriquer des blocs de construction de meilleure qualité et plus verts | 44 |
| Encadré 2.2. Les enseignements du système communautaire d’échange de quotas d’émission | 49 |
| Encadré 2.3. Exemples d’investissements récents dans les programmes nationaux en faveur de l’efficacité énergétique | 50 |
| Encadré 2.4. La Plateforme technologique des énergies bas carbone..... | 55 |
| Encadré 2.5. Action des pouvoirs publics en faveur des réseaux électriques intelligents..... | 61 |
| Encadré 2.6. Les biocarburants et le débat « nourriture ou énergie ? »..... | 64 |
| Encadré 2.7. La stratégie de la France pour lancer les véhicules électriques..... | 66 |
| Encadré 3.1. Mettre fin à la dépendance : des choix difficiles pour les pays exportateurs de pétrole | 79 |
| Encadré 3.2. Les réformes du secteur de l’électricité en Inde | 81 |
| Encadré 3.3. Développement du marché de l’éthanol au Brésil..... | 87 |
| Encadré 3.4. La création d’incitations à l’investissement au Nigéria | 95 |
| Encadré 4.1. Cadre conceptuel de l’OCDE pour le suivi des progrès accomplis sur la voie de la croissance verte..... | 105 |

Graphiques

| | |
|--|-----|
| Graphique 1.1. La consommation d’énergie a des effets directs et indirects sur l’environnement et la santé humaine..... | 21 |
| Graphique 1.2. Émissions mondiales et coût de l’atténuation..... | 25 |
| Graphique 1.3. Demande mondiale d’énergie primaire par scénario | 27 |
| Graphique 1.4. Part des différentes sources d’énergie dans la demande mondiale d’énergie primaire par scénario..... | 29 |
| Graphique 1.5. Hausse prévue de la demande mondiale d’énergie primaire | 30 |
| Graphique 2.1. Technologies clés pour un système énergétique sobre en carbone en 2050..... | 41 |
| Graphique 2.2. Les subventions à la consommation de combustibles fossiles dans 25 pays..... | 46 |
| Graphique 2.3. Politiques de soutien aux technologies énergétiques bas carbone..... | 57 |
| Graphique 2.4. Dépenses publiques de RD-D dans les pays membres de l’AIE | 59 |
| Graphique 2.5. Effets de différents facteurs sur l’innovation dans le domaine des véhicules électriques et hybrides..... | 67 |
| Graphique 3.1. Délais de renouvellement du stock de capital pour certains équipements énergétiques | 86 |
| Graphique 3.2. éventail et moyenne des facteurs d’emploi directs pour différentes technologies énergétiques | 88 |
| Graphique 3.3. Effet sur l’emploi d’une hausse de 1 % des taxes énergétiques | 90 |
| Graphique 3.4. Emploi et intensité d’émission de CO ₂ dans les différents secteurs | 91 |
| Graphique 4.1. Tendances en ce qui concerne l’intensité des émissions de CO ₂ des cinq principaux émetteurs | 108 |
| Graphique 4.2. Tendances en matière d’innovation dans le domaine de l’atténuation du changement climatique | 109 |

Tableaux

| | |
|---|-----|
| Tableau 2.1. Les 25 recommandations de l’AIE en matière d’efficacité énergétique..... | 52 |
| Tableau 2.2. Principaux obstacles à l’efficacité énergétique..... | 52 |
| Tableau 3.1. Les principaux couples de pays co-inventeurs dans le domaine des technologies environnementales et générales..... | 83 |
| Tableau 4.1. Indicateurs relatifs à l’énergie dans l’ensemble d’indicateurs de la croissance verte proposé par l’OCDE..... | 106 |
| Tableau 4.2. Indicateurs clés pour comprendre l’évolution de l’énergie et de l’efficacité énergétique dans l’industrie | 113 |

Acronymes

| | |
|-----------------|---|
| AIE | Agence internationale de l'énergie |
| APEC | Coopération économique Asie-Pacifique |
| BRICS | Brésil, Russie, Inde, Chine, Afrique du Sud |
| CCNUCC | Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques |
| CITI | Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique |
| CO ₂ | Dioxyde de carbone |
| CSC | Captage et stockage du carbone |
| CSI | Cement Sustainability Initiative (du WBCSD) |
| EAU | Émirats arabes unis |
| EJ | Exajoule |
| EREC | Conseil européen des énergies renouvelables |
| ETP | Energy Technology Perspectives |
| ETSAP | Energy Technology Systems Analysis Program |
| G20 | Groupe des Vingt |
| GIEC | Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat |
| GPL | Gaz de pétrole liquéfié |
| Gt | Gigatonnes |
| GW | Gigawatts |
| GWEC | Global Wind Energy Council |
| IDE | Indice du développement énergétique |
| IFI | Institutions financières internationales |
| ktep | Kilotonne d'équivalent pétrole |
| kWh | Kilowattheure |
| LED | Diode électroluminescente |
| LGN | Liquides de gaz naturel |
| mb/j | Millions de barils par jour |
| mtep | Mégatonnes d'équivalent pétrole |
| MW | Mégawatts |
| NIST | National Institute of Standards and Technology |
| OCDE | Organisation de coopération et de développement économiques |
| OMC | Organisation mondiale du commerce |
| OMS | Organisation mondiale de la santé |
| ONUUDI | Organisation des Nations Unies pour le développement industriel |
| OPEP | Organisation des pays exportateurs de pétrole |
| PHCN | Power Holding Company of Nigeria |
| PIB | Produit intérieur brut |
| PME | Petites et moyennes entreprises |
| PNUD | Programme des Nations Unies pour le développement |
| PNUE | Programme des Nations Unies pour l'environnement |
| ppm | Parties par million |

| | |
|---------------------------|--|
| ppm d'éq. CO ₂ | Parties par million d'équivalent CO ₂ |
| PV | Photovoltaïque |
| R-D | Recherche et développement |
| RD-D | Recherche, développement et démonstration |
| RDD-D | Recherche, développement, démonstration et déploiement |
| SCEQE | Système communautaire d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre |
| SIDA | Syndrome d'immunodéficience acquise |
| SO ₂ | Dioxyde de soufre |
| tCO ₂ | Tonnes de CO ₂ |
| TIC | Technologies de l'information et de la communication |
| TWh | Térawattheure |
| UE | Union européenne |
| VHR | Véhicule hybride rechargeable |
| VIH | Virus de l'immunodéficience humaine |
| WBCSD | World Business Council for Sustainable Development |
| WEO | World Energy Outlook |

Résumé

Introduction

L'énergie est une composante essentielle de l'activité économique. Les services énergétiques modernes permettent d'éclairer nos foyers et nos écoles, concourent aux activités de production et de consommation, assurent confort et mobilité, permettent le pompage de l'eau et contribuent à la santé et au bien-être. L'exploitation des sources d'énergie en remplacement de la force de travail humaine et animale a jeté les bases de la révolution industrielle, une période de développement économique et social sans précédent.

Au cours du XX^e siècle, la population mondiale, la production économique et la consommation de combustibles fossiles ont fortement augmenté. Les bénéfices de la croissance ont été spectaculaires pour beaucoup. Toutefois, ces bénéfices ont porté préjudice à tout un ensemble de systèmes environnementaux soumis à des pratiques non durables. En se poursuivant, la dégradation des ressources naturelles risque de mettre à mal la capacité à satisfaire les besoins d'une population de plus en plus nombreuse, ainsi que de compromettre l'activité économique. La croissance verte pourrait bien être la solution. Une politique de croissance verte consiste à favoriser la croissance économique et le développement tout en veillant à ce que les actifs naturels continuent de fournir les services écosystémiques sur lesquels repose notre bien-être. À cette fin, elle doit catalyser l'investissement et l'innovation qui élargiront une croissance durable et créeront de nouvelles opportunités économiques.

Le secteur de l'énergie pose un défi particulier dans le contexte de la croissance verte en raison de sa taille, de sa complexité, de sa dépendance au sentier ainsi qu'aux actifs à longue durée de vie. Le système énergétique actuel est fortement tributaire des combustibles fossiles, qui ont été à l'origine de 84 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre en 2009. La demande énergétique mondiale augmente rapidement sous l'effet de la croissance démographique et économique, notamment dans les grands pays émergents, qui représenteront 90 % de la croissance de la demande énergétique en 2035. Dans le même temps, près de 20 % de la population mondiale n'a pas accès à l'électricité. Nous devons transformer radicalement notre façon de produire, d'acheminer et de consommer l'énergie.

Une transformation à grande échelle du secteur énergétique mondial est possible, mais nécessitera des investissements considérables. Les émissions mondiales pourraient être divisées par deux d'ici à 2050 en combinant les technologies existantes et les nouvelles technologies, au prix d'un investissement supplémentaire de 46 000 milliards USD. Il est essentiel que les gouvernements établissent le cadre d'action nécessaire pour catalyser les investissements du secteur privé en faveur de la transition vers un secteur de l'énergie bas carbone. Il est important d'agir maintenant afin de réduire les coûts à long terme, dans la mesure où chaque dollar non investi dans le secteur énergétique d'ici à 2020 nécessitera 4.3 USD d'investissement supplémentaire après 2020 pour compenser la hausse des émissions de gaz à effet de serre par la construction d'installations et d'infrastructures à zéro émission de carbone à l'horizon 2035.

Avantages et opportunités

Le verdissement de la trajectoire des économies apportera des avantages considérables. De hauts niveaux de productivité des ressources et une utilisation efficiente de l'énergie peuvent améliorer le dynamisme et la compétitivité des économies, qui sont alors davantage en mesure de mener une transition de l'ampleur requise. Les pays peuvent acquérir un avantage en étant les premiers à agir et en tirant parti des bienfaits de la concurrence par le biais du développement des marchés internationaux de biens et de services écologiques. La croissance verte peut alléger la charge pesant sur les ressources que sont les sols, l'air et l'eau, tout en créant de meilleures opportunités de gains de productivité, de qualité de vie et d'équité sociale.

La nécessité de réduire les émissions de CO₂ dans le secteur de l'énergie, impérieuse du point de vue environnemental, coïncide avec l'imminence d'un nouveau cycle d'investissement dans la production d'électricité dans la plupart des pays de l'OCDE. Les économies émergentes disposent de nombreuses installations de production d'électricité assez récentes, mais un nombre bien plus important encore sera construit au cours des prochaines années pour répondre à la croissance de la demande énergétique. C'est l'occasion ou jamais d'établir un cadre d'action en faveur de la transformation de ce secteur, notamment en encourageant l'innovation technologique et l'émergence de nouveaux marchés et de nouvelles industries, afin de réduire l'intensité carbone du secteur et d'améliorer l'efficacité énergétique.

Globalement, quatre aspects essentiels justifient du point de vue économique le déploiement de stratégies de croissance verte dans le secteur de l'énergie :

- *Les coûts économiques des dommages environnementaux et de la mauvaise gestion des ressources naturelles* : l'incapacité de faire face aux problèmes d'environnement et de gérer efficacement les ressources naturelles met en péril non seulement la croissance économique à long terme, notamment du fait de la raréfaction des combustibles fossiles classiques et du coût grandissant des dommages qu'ils causent à l'environnement, mais également le bien-être, en raison de l'impact préjudiciable de la pollution sur la santé humaine, par exemple.
- *L'innovation au service des objectifs environnementaux et économiques* : l'innovation est indispensable pour atteindre les objectifs de la croissance verte, dans la mesure où elle peut contribuer à découpler les dommages environnementaux de la croissance économique. Elle joue également un rôle essentiel dans la réalisation des objectifs économiques, comme l'accroissement de la productivité et la création d'emplois. L'innovation revêt une importance particulière dans le secteur de l'énergie, dans la mesure où nous recherchons des formes d'énergie générant moins de coûts environnementaux, et des moyens d'en améliorer l'efficacité d'utilisation dans un contexte de hausse des prix.
- *Les synergies entre les objectifs environnementaux et d'accroissement de la productivité* : l'amélioration de la productivité des ressources et de l'efficacité énergétique, par le biais de l'innovation ou du déploiement de technologies ou de processus énergétiques, favorise le découplage de la croissance économique, des dommages environnementaux et de la dégradation des ressources.
- *La possibilité de voir émerger de nouveaux marchés et de nouvelles industries* : la transition vers une croissance verte dans le secteur énergétique nécessitera des technologies, des sources d'énergie, des processus et des services inédits susceptibles de favoriser l'apparition de nouveaux marchés et de nouvelles industries. Les entreprises qui feront preuve de proactivité face à ces évolutions seront bien placées pour y contribuer et en récolter les fruits.

Les politiques de croissance verte dans le secteur de l'énergie

Le recadrage du secteur de l'énergie dans l'optique de la croissance verte exige de bien comprendre les priorités nationales. Bien que la promotion de la croissance verte nécessite une coopération internationale, elle se joue largement au niveau local. Par conséquent, les politiques mises en œuvre différeront selon les pays, en fonction des conditions environnementales et économiques locales, du cadre institutionnel et du stade de développement.

Ces politiques devront tenir compte des interactions entre les secteurs économiques, les transports, les modes d'utilisation des sols, le bien-être social et l'intégrité environnementale. Un ensemble de mesures complémentaires les unes des autres doivent être prises afin de pallier les défaillances et surmonter les obstacles du marché, et mettre en place les conditions favorables à des investissements privés à grande échelle. Il s'agit notamment de :

- *Rationaliser et abandonner progressivement les subventions inefficaces en faveur des combustibles fossiles*, qui encouragent la surconsommation, tout en répondant au mieux aux besoins des ménages à faible revenu par le biais de politiques sociales bien ciblées.
- *Fixer un signal-prix permettant d'estimer la valeur des externalités* et de fournir des repères solides pour les mutations structurelles à plus long terme.
- *Mettre en place des cadres économiques et réglementaires solides*, qui permettent d'éliminer les obstacles aux investissements verts et de s'affranchir plus facilement des systèmes et des modes de consommation d'énergie fossile qui existent actuellement.
- *Améliorer radicalement l'efficacité énergétique*, ce qui aura pour effet de réduire le besoin d'investissement dans les infrastructures énergétiques et le coût des combustibles, d'accroître la compétitivité, de diminuer l'exposition à la volatilité des prix des combustibles fossiles, de rendre l'énergie plus accessible pour les ménages à bas revenus et d'abaisser les émissions locales et mondiales de polluants au profit du bien-être des consommateurs.
- *Stimuler l'innovation* en instaurant l'environnement et les cadres réglementaires nécessaires pour réaliser des percées et surmonter l'inertie inhérente aux systèmes énergétiques actuels, qu'elle soit institutionnelle ou économique. Il peut être nécessaire dans certains cas d'investir dans la recherche et d'apporter temporairement un soutien à la mise au point et la commercialisation de technologies vertes. Le secteur attache de l'importance à la protection de la propriété intellectuelle, comme en témoigne le nombre croissant de dépôts de brevets dans le secteur des technologies propres. En outre, les pouvoirs publics doivent mettre en œuvre des politiques efficaces en faveur de l'innovation dans les énergies vertes, qui ciblent l'écart de compétitivité des coûts tout en reflétant avec justesse la maturité et la compétitivité de chaque technologie et marché.

Toutes les options technologiques devront être exploitées pour mettre en marche la révolution verte et réduire drastiquement les émissions de CO₂. L'efficacité énergétique, les différents types d'énergies renouvelables, le captage et le stockage du carbone, l'énergie nucléaire, les réseaux intelligents et les nouvelles technologies de transport sont autant d'éléments qui peuvent contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre tout en renforçant la sécurité énergétique et en jouant un rôle bénéfique sur le plan environnemental et social. La limitation des types de technologies susceptibles d'être mis en œuvre dans le cadre de la transition du secteur de l'énergie augmentera considérablement les coûts.

Garantir l'efficacité des stratégies de croissance verte

Des engagements politiques en faveur de la croissance verte sont indispensables pour assurer une certitude réglementaire, définir une orientation claire pour les investissements d'infrastructure et faire

face au changement structurel. L'adoption de stratégies globales en faveur de l'efficacité énergétique, comme les 25 recommandations en matière d'efficacité énergétique de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), offre un appui solide à la croissance verte.

Les politiques énergétiques conçues sur mesure pour des économies situées à différents stades de développement peuvent constituer le moteur d'une transition réussie vers la croissance verte dans le secteur de l'énergie et dans l'économie dans son ensemble. Les difficultés posées par la conception et la mise en œuvre d'une telle panoplie de mesures dans un cadre adapté sont considérables. De nombreux systèmes énergétiques sont indissociablement liés à des modes de production et de consommation à forte émission de CO₂ dont il peut être difficile de s'affranchir pour des raisons allant au-delà de simples aspects économiques. Pour qu'une réforme soit possible, il faudra prêter attention à un certain nombre de problèmes courants d'économie politique concernant les :

Ajustements structurels : le changement structurel implique non seulement l'émergence de nouvelles technologies, mais également une adaptation de l'ensemble du système d'infrastructures, des chaînes d'approvisionnement, des institutions, des marchés et des réglementations. Les politiques doivent viser à faire tomber les obstacles au changement qui subsistent dans l'ensemble du système énergétique et accélérer le processus de « destruction créatrice ». Elles peuvent consister notamment en :

- une *réforme* soigneusement conçue *du marché de l'électricité* afin d'inciter les fournisseurs à investir dans des capacités efficaces et « vertes », ainsi que des technologies respectueuses de l'environnement pour satisfaire la demande.
- des *chaînes d'approvisionnement dédiées* pour des applications énergétiques efficaces et non polluantes, afin de regrouper géographiquement les entreprises spécialisées, d'attirer d'éventuels partenaires commerciaux, d'améliorer les conditions locales d'innovation et de développement des technologies et des infrastructures, ainsi que d'encourager la coopération internationale.
- des *mécanismes d'action ciblés*, afin d'attirer les financements privés dans les secteurs des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

Actifs échoués : les actifs représentant des coûts irrécupérables qui risquent de se transformer en coûts échoués peuvent freiner la transition vers des systèmes énergétiques plus propres. Le travail sur l'économie politique des actifs échoués nécessitera :

- une évaluation rigoureuse des besoins sociétaux futurs, la recherche *de solutions à moindre intensité de capital et le déploiement de solutions alternatives à faible consommation d'énergie* comme l'efficacité énergétique dans les utilisations finales, les systèmes décentralisés pour les services.
- le développement de *normes en faveur d'installations flexibles*, telles les centrales à combustibles fossiles prêtes pour le captage du carbone, qui pourront être équipées de ce système à un stade ultérieur.
- un *cadre réglementaire* établissant une vision à long terme avec des jalons clairs concernant sa révision, afin de fournir des repères solides, réduire l'incertitude et assurer une crédibilité.
- un *prix ou indicateur carbone significatif*, laissant clairement présager une augmentation au fil du temps, afin de créer des incitations suffisamment fortes en faveur de solutions énergétiques durables.

Effets redistributifs : la restructuration du secteur énergétique devrait avoir un impact (relativement restreint) sur l'emploi direct et des effets d'équilibre plus larges sur l'économie, mais également entre les pays. Les politiques doivent contribuer à garantir que l'ajustement pourra être réalisé de manière

compatible avec des politiques sociales appropriées, même s'il y aura des gagnants et des perdants. Elles peuvent consister entre autres à :

- concevoir soigneusement des panoplies de *mesures en matière de politique du marché du travail et de développement des compétences* qui contribuent à dynamiser ce marché et à faire en sorte qu'il n'exclue personne. Ces panoplies peuvent comporter notamment des mesures de formation qui permettent aux travailleurs d'acquérir les compétences dont ils ont besoin pour passer d'un secteur ou d'une entreprise en déclin à un secteur ou une entreprise en expansion.
- *accorder plus de poids aux consommateurs sur les marchés*, notamment par le biais de programmes visant à faire bénéficier les couches les plus défavorisées de la société d'un *approvisionnement énergétique efficient, sûr et fiable*.
- conjuguer la *suppression des subventions énergétiques préjudiciables à l'environnement* à des *politiques mieux ciblées en faveur de la réduction de la pauvreté*, afin de compenser l'impact financier sur les communautés les plus pauvres et permettre aux consommateurs de faire des choix plus rationnels dans leur utilisation de l'énergie, ainsi qu'un meilleur usage des dépenses publiques.

Suivre les progrès accomplis sur la voie de la croissance verte dans le secteur de l'énergie

Les progrès réalisés par les pays dans la mise en œuvre de politiques en faveur de la croissance verte dans le secteur énergétique peuvent être évalués à l'aide d'ensembles bien conçus et opérationnels d'indicateurs, que l'AIE et l'OCDE développent actuellement en collaboration avec un large groupe de parties prenantes.

L'OCDE a élaboré un cadre conceptuel afin de suivre les progrès accomplis sur la voie de la croissance verte, et notamment un ensemble d'indicateurs. Même si cet ensemble d'indicateurs est toujours en cours de perfectionnement, les indicateurs clés pertinents pour le secteur de l'énergie sont ceux qui mesurent la productivité ou l'intensité carbone de la production et la consommation d'énergie (à différents niveaux, notamment national et sectoriel), l'intensité et l'efficacité énergétiques, la recherche et développement, et les dépôts de brevets effectués dans le domaine des énergies « propres », ainsi que les taxes et subventions énergétiques.

Ils doivent être complétés par (i) des indicateurs de l'utilisation finale de l'énergie, qui aident les décideurs à comprendre comment les utilisateurs réagiront à l'évolution des prix de l'énergie, des revenus, des technologies, de l'efficacité énergétique, des modes de production, et du mode de vie, (ii) d'autres indicateurs énergétiques et environnementaux, et des indicateurs mesurant le degré d'accès à l'énergie.

Tandis que les statistiques et bilans énergétiques sont généralement bien établis aux niveaux national et international, l'efficacité énergétique et l'innovation sont difficiles à mesurer, et les informations cohérentes par branche d'activité sont rares. Il convient d'intensifier les efforts afin d'améliorer la qualité des données, les méthodes et les définitions, et établir un lien entre ces données et les informations économiques.

Chapitre 1. Transformer le secteur de l'énergie pour soutenir la croissance

L'énergie est une composante essentielle de l'activité économique ; toutefois, nous devons transformer radicalement notre façon de produire, d'acheminer et de consommer l'énergie. Le système énergétique actuel est fortement tributaire des combustibles fossiles, ce qui a un impact délétère sur la qualité de l'air, et contribue de manière significative aux émissions de carbone.

La demande énergétique mondiale augmente rapidement sous l'effet de la croissance démographique et économique, notamment dans les économies émergentes, qui représenteront 90 % de la croissance de la demande énergétique en 2035.

C'est l'occasion ou jamais d'entreprendre une transformation radicale du secteur de l'approvisionnement énergétique afin d'atteindre les objectifs économiques et environnementaux, dans la mesure où il est nécessaire de remplacer les centrales vieillissantes et de renforcer les capacités, surtout dans les économies émergentes, afin de satisfaire la demande croissante d'électricité.

Au cours du XX^e siècle, la population mondiale a été multipliée par 4, la production économique par 22 et la consommation de combustibles fossiles par 14 (PNUE, 2011). La résilience à long terme d'un large éventail de systèmes environnementaux est aujourd'hui mise à rude épreuve par la satisfaction des besoins d'une population planétaire en expansion rapide et l'amplification de l'activité économique. C'est ainsi qu'en 2050, il faudra pourvoir aux besoins énergétiques et alimentaires de quelque 9 milliards de personnes. Faute de politiques nouvelles, et dans une économie mondiale quatre fois plus importante qu'aujourd'hui, il faut s'attendre à une augmentation de 80 % de la consommation d'énergie à l'horizon 2050 (OCDE, 2012, à paraître).

Le monde est confronté à un double défi : améliorer les opportunités économiques d'une population mondiale en expansion, et agir face aux pressions environnementales qui, si rien n'est fait pour les combattre, risquent de mettre à mal notre aptitude à saisir ces opportunités. La croissance verte cherche à concilier ces deux impératifs. Elle consiste à favoriser la croissance économique et le développement tout en veillant à ce que les actifs naturels continuent de fournir les ressources et les services environnementaux sur lesquels repose notre bien-être. Pour ce faire, elle doit catalyser l'investissement et l'innovation qui étayeront une croissance durable et créeront de nouvelles opportunités économiques (OCDE, 2011).

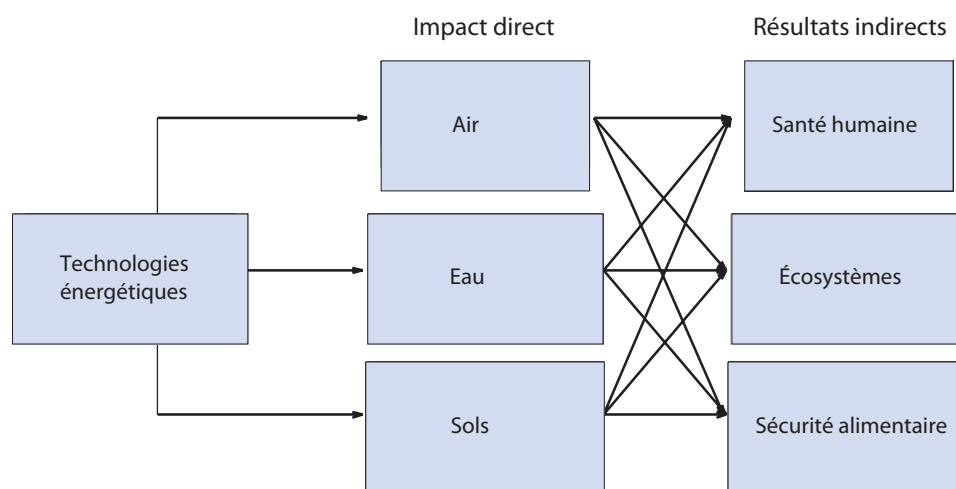
Le verdissement de notre trajectoire de croissance nécessite des actions qui rendent dûment compte de la valeur des actifs naturels et favorisent des modes de production et de consommation plus durables. Nous devons découpler nos efforts de croissance économique de la dégradation persistante du capital naturel, afin que les progrès d'aujourd'hui ne conduisent pas à un appauvrissement demain, et pour les générations futures. Cela nécessite d'utiliser avec plus de parcimonie et d'efficacité les ressources naturelles et les technologies qui en sont issues. Les stratégies de croissance verte visent à tirer parti des relations de complémentarité entre politique économique et politique environnementale, et prennent pleinement en compte la valeur du capital naturel en tant que facteur de production et de croissance.

La croissance verte nécessite un moteur vert

L'amélioration des performances environnementales de la transformation et de la consommation énergétique est la pierre angulaire de toute tentative d'instauration d'une croissance verte. La sécurité de l'approvisionnement énergétique est garante de l'activité économique, tant pour une usine allemande que pour une exploitation agricole kényane. L'énergie est tout aussi indispensable à la culture des terres qu'au fonctionnement du réseau de téléphonie mobile qui permet aux agriculteurs d'entrer en contact avec les marchés. Elle est essentielle à la production de denrées alimentaires et à l'approvisionnement en eau ; elle évite aux populations de consacrer de nombreuses heures à ramasser du bois de chauffage, ce qui leur laisse davantage de temps pour s'instruire et entreprendre ; elle apporte la mobilité qui rend les échanges possibles. L'énergie est le moteur des mouvements de biens manufacturés, de personnes, de services et d'idées. Sans énergie, pas de mondialisation. Elle est le pilier du XXI^e siècle naissant, qui voit son horizon économique, politique, social et éducatif complètement transformé par les technologies de l'information et de la communication. Près de 10 % des enfants de moins de cinq ans meurent chaque année de maladies hydriques ; l'énergie joue un rôle essentiel dans la lutte contre ces maladies, par le biais du pompage, de la filtration et du traitement de l'eau par rayonnement ultraviolet. Les services énergétiques modernes jouent également un rôle clé dans l'amélioration de la santé — depuis l'approvisionnement en électricité des maternités et des équipements médicaux à la conservation des vaccins en toute sécurité. Le raccordement des écoles rurales au réseau d'électricité a des effets positifs notables, donnant accès aux technologies d'apprentissage modernes comme les ordinateurs et les médias éducatifs électroniques.

Toutefois, la mobilisation de toute cette énergie a un coût élevé (graphique 1.1). Quelque 1.4 million de personnes meurent prématurément chaque année, principalement dans les pays en développement, pour avoir respiré les émanations dues à la mauvaise combustion de biocombustibles dans les foyers (OMS, 2008). La dépendance des transports routier, aérien et maritime aux hydrocarbures liquides coûte cher aux pays importateurs, génère des tensions dans les relations géopolitiques et contribue grandement à la pollution atmosphérique. Le charbon, lorsqu'il est brûlé, est le plus polluant de tous les combustibles fossiles. Les sous-produits de la combustion du charbon sont dangereux pour la santé humaine et pour l'environnement. Une mauvaise combustion du charbon peut considérablement dégrader la qualité de l'air ambiant. Pourtant, le charbon est généralement abordable et les ressources amplement réparties dans de nombreuses régions.

Graphique 1.1. La consommation d'énergie a des effets directs et indirects sur l'environnement et la santé humaine



Source : AIE (2010), *Energy Technology Perspectives 2010 : Scenarios and Strategies to 2050*.

La crise économique de 2008 a entraîné une récession profonde et une hausse sans précédent du prix des combustibles fossiles. Et les événements géopolitiques actuels tirent encore les prix vers le haut. Ils engendrent des risques à court terme pour l'activité économique, mais également à moyen et long terme pour le capital naturel mondial. Miser sur les énergies propres pour alimenter la croissance verte permettra d'améliorer la sécurité énergétique mondiale, de favoriser une gestion responsable de l'environnement et d'instaurer une croissance économique durable (AIE, 2009).

L'incertitude relative au coût économique des ressources énergétiques traditionnelles, et la nécessité de lutter contre la pollution locale et les effets du changement climatique incitent fortement à diversifier les systèmes énergétiques et à améliorer radicalement l'efficacité de la production, du stockage, de la distribution et de la consommation d'énergie. Pour que la croissance économique se poursuive sans entraîner une hausse proportionnelle de la consommation de combustibles fossiles, il est impératif de trouver de nouvelles façons de générer de la valeur ajoutée. Bien que la plupart des pays de l'OCDE aient diminué leur consommation de combustibles fossiles par unité de production physique (intensité énergétique) au cours des trente dernières années, des améliorations sont encore possibles, notamment dans les pays non membres de l'OCDE. Ainsi, l'efficacité énergétique est probablement l'une des principales clés de la durabilité écologique (Ayres et Warr, 2003).

Globalement, quatre aspects essentiels justifient du point de vue économique de placer le secteur énergétique sur une trajectoire de croissance verte :

- **Les coûts économiques des dommages environnementaux et de la mauvaise gestion des ressources naturelles** : l'incapacité à faire face aux problèmes environnementaux et à gérer efficacement les ressources naturelles met en péril non seulement la croissance économique à long terme, notamment du fait de la hausse des prix provoquée par la raréfaction des combustibles fossiles classiques et du coût grandissant des dommages qu'ils causent à l'environnement, mais également le bien-être, en raison des conséquences négatives du changement climatique et de l'impact préjudiciable de la pollution sur la santé humaine.
- **L'innovation au service des objectifs environnementaux et économiques** : l'innovation est indispensable pour atteindre les objectifs de la croissance verte, dans la mesure où elle peut contribuer à découpler les dommages environnementaux de la croissance économique. Elle joue également un rôle essentiel dans la réalisation des objectifs économiques, comme l'accroissement de la productivité et la création d'emplois. Elle donne la possibilité de relever les défis environnementaux à un coût raisonnable. L'innovation revêt une importance particulière dans le secteur de l'énergie, dans la mesure où nous recherchons des formes d'énergie générant moins de coûts environnementaux, et des moyens d'en améliorer l'efficacité d'utilisation dans un contexte de hausse des prix.
- **Les synergies entre les objectifs environnementaux et d'accroissement de la productivité** : l'amélioration de la productivité des ressources et de l'efficacité énergétique, par le biais de l'innovation ou du déploiement de technologies ou de processus énergétiques, favorise le découplage de la croissance économique, des dommages environnementaux et de la dégradation des ressources.
- **La possibilité de voir émerger de nouveaux marchés et secteurs** : la transition vers une croissance verte dans le secteur énergétique nécessitera des technologies, sources d'énergie, processus et services inédits susceptibles de favoriser l'apparition de nouveaux marchés et secteurs. De même, les consommateurs et investisseurs sont de plus en plus demandeurs de produits, services et processus de production respectueux de l'environnement dans le secteur énergétique. Les entreprises qui feront preuve de proactivité face à ces évolutions seront bien placées pour y contribuer et en récolter les fruits.

Reconnaissant que l'actuelle insuffisance des investissements dans les énergies propres pourrait avoir de graves répercussions sur la sécurité énergétique, la croissance économique à long terme et la lutte contre le réchauffement climatique, de nombreux pays ont lancé des plans de relance portant notamment sur l'énergie verte (pour un montant total de 1 800 milliards USD dans les pays membres de l'AIE, 10 % de ces dépenses en moyenne étant consacrées aux technologies énergétiques propres et à l'efficacité énergétique). Aux États-Unis, par exemple, deux plans ont attribué quelque 32 milliards USD aux énergies renouvelables, entre autres mesures liées à l'énergie¹. La Corée et la Chine ont également prévu de vastes investissements dans l'énergie verte dans le cadre de leurs plans de relance. Ce soutien représente une avance importante sur les investissements massifs nécessaires pour transformer les systèmes énergétiques et éviter de pérenniser les technologies et systèmes obsolètes (encadré 1.1).

Encadré 1.1. Accroissements de la puissance installée : saisir les opportunités et éviter le verrouillage

Le secteur de l'énergie est sur le point de bénéficier d'investissements considérables afin de remplacer les centrales vieillissantes et de répondre à la demande croissante d'électricité. En 2009, la puissance totale installée à travers le monde atteignait environ 4 957 gigawatts (GW). On estime qu'un accroissement de la puissance installée de quelque 5 900 GW sera nécessaire d'ici à 2035, alors que près de 2 000 GW de capacités existantes devront être démantelées et remplacées sur la même période. Les technologies fondées sur les énergies renouvelables devraient représenter la moitié des nouvelles capacités, le gaz et le charbon un cinquième chacun et le nucléaire 6 %. Au total, les nouvelles centrales au fioul représenteront moins de 2 % des capacités additionnelles, et un tiers d'entre elles seront construites au Moyen-Orient. La Chine construit davantage de centrales au charbon, au gaz, nucléaires, hydrauliques, à biomasse, éoliennes et solaires que n'importe quel autre pays.

Selon les estimations, le montant cumulé des investissements à l'échelle mondiale dans le secteur de l'électricité devrait atteindre 16 900 milliards USD (en USD de 2010) entre 2011 et 2035, soit 675 milliards USD par an en moyenne. Les nouvelles capacités de production représentent 58 % du montant total des investissements, et le transport et la distribution les 42 %. Les énergies renouvelables représentent 60 % des investissements dans les nouvelles centrales électriques, l'éolien, le photovoltaïque (PV) et l'hydraulique en tête, bien qu'elles ne représentent que la moitié des ajouts de capacité ; leur plus grande part dans les investissements est due à leur coût plus élevé par rapport aux centrales à combustibles fossiles.

Quelque 60 % des centrales actuellement en service ou en construction devraient encore être exploitées en 2035, ce qui signifie que 59 % des émissions du secteur de l'électricité sont déjà « verrouillées » pour cette année-là, à moins que de futures réformes politiques n'obligent à démanteler de manière anticipée les centrales existantes ou à les équiper d'un système de captage et de stockage du carbone (CSC).

Source : AIE (2011), World Energy Outlook 2011.

Le secteur de l'énergie est confronté à une incertitude sans précédent. L'évolution des marchés énergétiques au cours des quelques années à venir dépendra de la vigueur et de l'orientation du redressement économique. C'est l'action gouvernementale, et son influence sur la technologie, les prix des services énergétiques, et le comportement des consommateurs finaux, qui façonneront l'avenir de l'énergie à plus longue échéance.

Faire face aux déséquilibres et risques systémiques

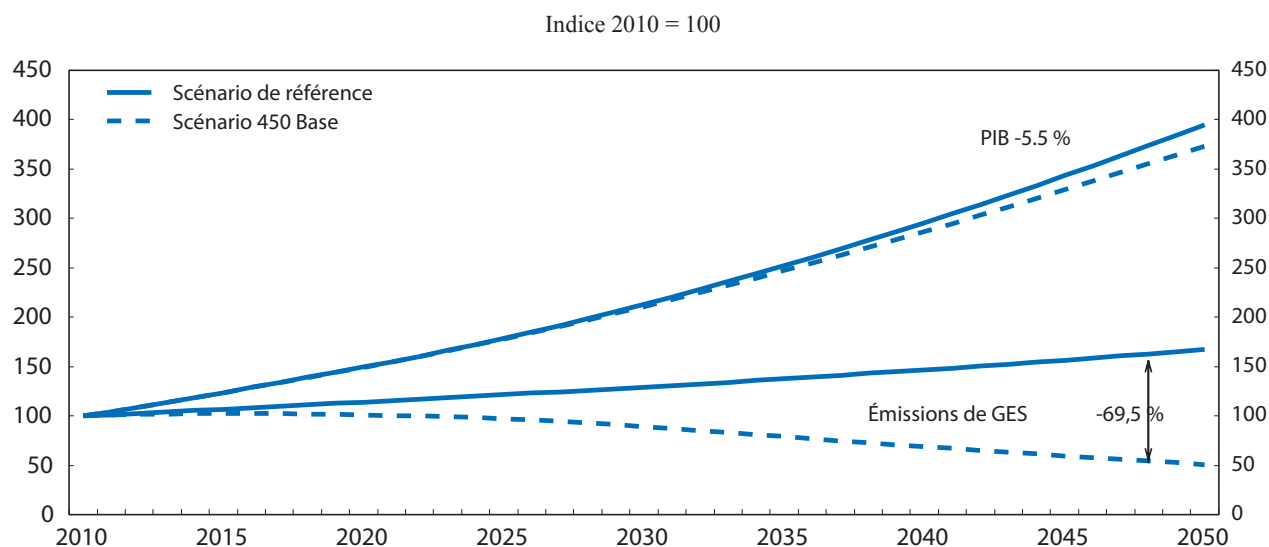
La hausse continue de la demande énergétique, les prix record et les tensions auxquelles sont soumis les systèmes locaux et internationaux de ressources naturelles mettent de plus en plus à mal la sécurité énergétique. L'économie internationale et le bien-être de millions de personnes sont menacés. Si l'on ne dévie pas de la trajectoire de croissance conventionnelle, qui sous-estime la valeur du capital naturel, les limites planétaires risquent d'être atteintes à un moment ou à un autre, ce qui pourrait restreindre les perspectives de croissance. Les principales pressions environnementales sont les suivantes : épuisement des réserves d'eau douce, destruction des écosystèmes, pollution atmosphérique par les aérosols, érosion de la biodiversité, changement climatique, pollution chimique (OCDE, 2011). Souvent, ces limites constituent un tissu complexe de problèmes imbriqués.

Prenons, par exemple, les liens entre l'énergie et l'eau. Toutes deux sont des composantes essentielles de la croissance économique et du bien-être humain. Toutes deux sont soumises à des

pressions. De nombreuses formes de production d'énergie nécessitent un approvisionnement en eau fiable et de grande envergure, une ressource dont manquent déjà de nombreuses régions du monde. L'eau est utilisée à différents stades du cycle de production d'électricité, y compris au cours des phases d'extraction et de traitement des combustibles fossiles (extraction et raffinage, liquéfaction et gazéification du pétrole, du gaz, du charbon et de l'uranium, et production de biomasse/biocarburants par l'agriculture) et de production (centrales au charbon, au gaz, au fioul, nucléaires et à biomasse). Le secteur de l'électricité est l'un des premiers consommateurs d'eau du monde. Aux États-Unis, ce secteur est le deuxième plus gros consommateur d'eau après le secteur agricole, et chaque kilowattheure d'électricité produit à partir du charbon, qui fournit près de la moitié de l'électricité du pays, nécessite environ 95 litres d'eau. En ce qui concerne l'approvisionnement en eau, l'énergie nécessaire au traitement et à la distribution représente pas moins de 80 % du montant de la facture, si bien qu'un approvisionnement insuffisant en énergie à prix abordable aura un impact négatif sur le prix et la disponibilité de l'eau dans les régions où cette ressource est rare.

L'appréciation des risques systémiques est délicate. Faute de limites planétaires clairement définies, les responsables de l'action publique sont appelés à estimer le rythme d'une éventuelle transition vers une trajectoire de croissance verte. Les arbitrages intergénérationnels et géographiques à opérer sont compliqués, et le fait que l'action des décideurs politiques et les réalités du marché à court terme soient jugées par les citoyens sur une période courte ne fait qu'ajouter aux difficultés (OCDE, 2011). Toutefois, si l'on attend qu'un point de basculement soit atteint pour agir, les conséquences seront graves sur le plan humain et économique. Les actifs environnementaux fonctionnent à l'intérieur de systèmes interdépendants. Les évaluations menées par Rockstrom *et al.* (2009) indiquent que les limites des processus affectant le système terrestre pourraient déjà avoir été franchies en termes de rythme d'érosion de la biodiversité, de cycle de l'azote et de concentration atmosphérique de dioxyde de carbone (CO₂) (voir également OCDE, 2011).

Le changement climatique constitue un sérieux risque systémique d'envergure planétaire. Il menace les éléments fondamentaux indispensables à la vie de tout un chacun : l'accès à l'eau, la production d'aliments, la santé, l'utilisation des sols et le capital physique. La croissance économique à long terme souffrira inévitablement du peu d'attention porté au changement climatique à court terme. Si l'on ne fait rien au cours des quelques décennies à venir, l'activité économique et sociale pourrait s'en trouver considérablement perturbée. Et il sera difficile, voire impossible, d'inverser la tendance en ce qui concerne la plupart des changements. La lutte contre le changement climatique est une stratégie favorisant la croissance à plus long terme, et peut être menée d'une manière qui n'imposera pas de limites aux aspirations des pays à la croissance et à la prospérité, qu'ils soient riches ou pauvres. Plus vite des mesures efficaces seront prises, moins elles seront coûteuses (AIE, 2010 ; OCDE, 2012, à paraître ; Stern, 2006). Une analyse récente de l'OCDE montre que si les pays commencent à limiter dès aujourd'hui leurs émissions de gaz à effet de serre pour atteindre l'objectif à long terme de stabiliser la concentration à 450 ppm, le prix à payer sera un ralentissement de la croissance économique de 0.2 point de pourcentage par an en moyenne, soit un coût équivalent à environ 5.5 % du PIB mondial en 2050. Le PIB mondial aura alors quadruplé (graphique 1.2) (OCDE, 2012, à paraître). Par ailleurs, cette prévision de PIB ne tient pas compte des bénéfices de l'action menée.

Graphique 1.2. Émissions mondiales et coût de l'atténuation

Source : Scénario de référence des Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050 de l'OCDE ; résultats obtenus à l'aide du modèle ENV-Linkages

Fin 2010, les gouvernements se sont fixé pour objectif de limiter la hausse de la température moyenne de la planète à 2 degrés Celsius (°C) maximum par rapport aux niveaux de l'ère préindustrielle. Par ailleurs, les accords de Cancún ont commencé à entériner les engagements pris en matière de réduction des émissions lors de la Conférence de Copenhague de 2009, dans le cadre du processus officiel de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Il a également été convenu de créer un Comité de transition chargé de la conception d'un Fonds vert pour le climat, qui pourrait devenir un instrument multilatéral primordial de financement des investissements liés à la lutte contre le changement climatique dans les pays en développement, et pourrait contribuer à atteindre l'objectif de mobiliser 100 milliards USD par an d'ici à 2020 à partir de diverses sources, y compris des financements publics et privés, en faveur des pays en développement.

Toutefois, les politiques nationales ne sont pas conçues et mises en œuvre dans le cadre de ces sommets internationaux. Les pays doivent également prendre des mesures décisives à l'échelle nationale afin de faire face aux risques environnementaux de nature systémique sur un plan à la fois local et international. Ceux qui privilégient des stratégies efficaces et parviennent à les mettre en œuvre dans le secteur de l'énergie pourraient bien bénéficier des avantages dévolus aux précurseurs et tirer parti de l'expansion des marchés des technologies, du savoir-faire et des services « verts », renforçant ainsi la pérennité de leur développement économique. La mise en œuvre anticipée de mesures à l'échelle internationale peut contribuer à diminuer le coût global et à faciliter la transition vers une économie plus verte. Toutefois, il convient de reconnaître que le fait d'être un précurseur comporte un certain nombre de désavantages, comme des risques technologiques plus élevés et un coût plus élevé de déploiement des nouvelles technologies, qui doivent encore bénéficier d'économies d'échelle à mesure qu'elles progressent le long de la courbe d'apprentissage.

Les perspectives énergétiques mondiales

La politique énergétique des pays de l'OCDE a considérablement progressé au cours des 35 dernières années. Toutefois, il reste encore beaucoup à faire. Sans nouvelles mesures, nous risquons de causer des dommages irréversibles à l'environnement et aux ressources naturelles disponibles, indispensables à la croissance économique et au bien-être. Le prix de l'inaction politique risque d'être élevé.

Encadré 1.2. Modélisation environnementale et économique de l'AIE et de l'OCDE

La transition mondiale vers un avenir énergétique plus sûr, durable et abordable, dans le sillage d'une action ferme en faveur de l'atténuation du changement climatique, est décrite dans trois publications majeures de l'OCDE et de l'AIE : le *World Energy Outlook (WEO)* et les *Energy Technology Perspectives (ETP)* de l'AIE, et les *Perspectives de l'environnement* de l'OCDE. Le WEO utilise le modèle énergétique mondial de l'équilibre partiel pour fournir régulièrement des informations actualisées concernant les dernières prévisions de l'offre et de la demande énergétiques à l'horizon 2035 en fonction de différents scénarios, ventilées par pays, combustible et secteur, tandis que l'analyse ETP se concentre sur les évolutions technologiques à plus long terme, c'est-à-dire à l'horizon 2050. Ces deux modèles de l'AIE adoptent une approche fondée essentiellement sur les systèmes énergétiques afin d'identifier les portefeuilles technologiques qui permettront de satisfaire la demande énergétique à moindre coût, et établissent des prévisions quant aux futures émissions de CO₂ associées à ces technologies.

L'OCDE utilise le modèle ENV-Linkages aux fins de l'analyse économique des mesures d'atténuation reposant sur la transformation du système énergétique, ainsi que des mesures d'atténuation des émissions de CO₂ liées à d'autres sources (à savoir les émissions d'origine industrielle et les émissions imputables à l'utilisation des sols, aux changements d'utilisation des sols et à la foresterie) et des émissions de gaz à effet de serre autres que le CO₂. ENV-Linkages est un modèle récursif d'équilibre général dynamique, qui utilise un large éventail de données couvrant tous les secteurs de l'économie ainsi que la dimension commerciale internationale de l'ensemble des biens et services, et qui établit un lien entre ces activités économiques et les émissions de gaz à effet de serre dans différents secteurs de l'économie.

Ces trois modèles visent à établir des ensembles cohérents d'hypothèses afin de définir des modes de consommation d'énergie dans leurs scénarios de référence respectifs. Les modélisateurs de l'AIE et de l'OCDE étudient actuellement les possibilités d'aller plus loin dans l'harmonisation des prévisions de croissance économique.

Les approches de l'AIE et de l'OCDE sont complémentaires à de nombreux égards. Les modèles de l'AIE, avec leur représentation détaillée du système énergétique de nombreux pays, mettent en lumière des questions telles que les besoins d'investissement dans les énergies sobres en carbone et le degré de verrouillage des infrastructures énergétiques à forte intensité de carbone en l'absence d'une politique d'atténuation ambitieuse. À l'inverse, le modèle de l'OCDE se concentre sur les interactions entre le secteur énergétique et le reste de l'économie, et il est parfaitement adapté pour fournir des mesures complémentaires des effets macroéconomiques correspondant à des politiques d'atténuation similaires, comme les écarts du PIB et les variations des revenus réels des ménages par pays.

Malgré les différences structurelles entre ces trois modèles, qui entraînent de légères différences de mise en œuvre des mesures d'atténuation, tous sont porteurs du même message fondamental en ce qui concerne la politique d'atténuation du changement climatique : les pays doivent agir maintenant, car retarder les mesures d'une décennie entraînerait une hausse significative des coûts, et une refonte totale du système énergétique est nécessaire pour avoir au moins 50 % de chances de stabiliser la hausse moyenne mondiale de température à 2°C.

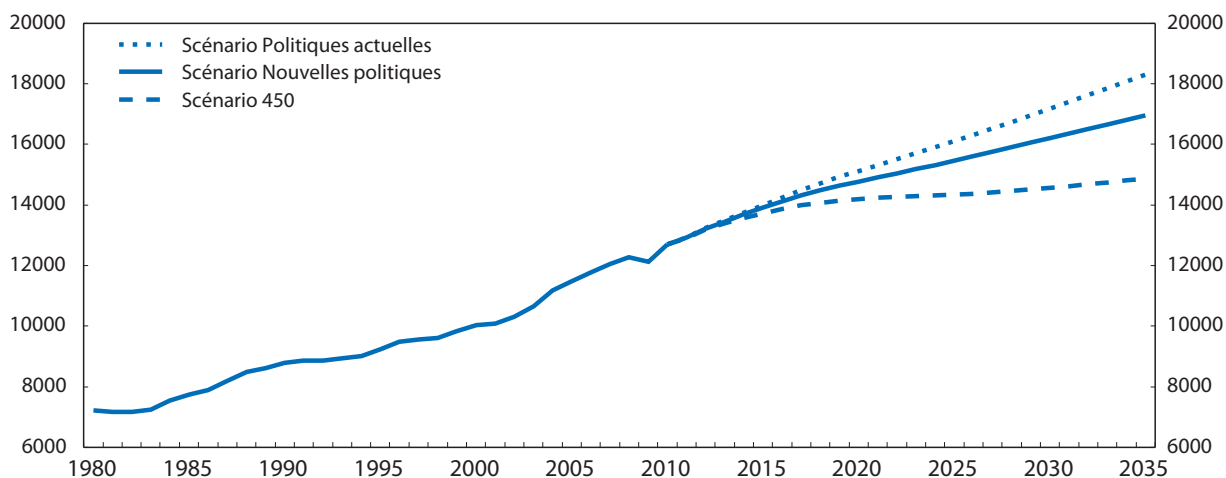
Les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050* montrent que les solutions aux principaux problèmes environnementaux actuels — comme le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, la pénurie d'eau et l'impact de la pollution sur la santé — sont réalistes et abordables (OCDE, 2012, à paraître). Le *World Energy Outlook (WEO-2011)* de l'AIE donne des informations

précieuses sur la manière dont le système énergétique pourrait évoluer au cours des 25 prochaines années (AIE, 2010). Sur la base de ces prévisions, la publication de l'AIE intitulée *Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050* (AIE, 2010) étudie les aspects essentiels de la révolution technologique nécessaire pour transformer fondamentalement les systèmes énergétiques mondiaux à l'horizon 2050. Ces aspects sont abordés au chapitre 2. Ces trois séries de travaux utilisent des modélisations différentes, mais complémentaires à de nombreux égards (encadré 1.2). Il est important de souligner qu'elles sont toutes porteuses du même message en ce qui concerne la politique d'atténuation du changement climatique : retarder les mesures d'une décennie entraînerait une hausse significative des coûts. Et une refonte totale du système énergétique est nécessaire pour avoir au moins 50 % de chances de stabiliser la hausse moyenne mondiale de température à 2°C.

Le *WEO-2011* présente 3 scénarios : *Politiques actuelles*, *Nouvelles politiques* et *Scénario 450*. Les hypothèses de croissance économique et démographique sont les mêmes dans chaque scénario ; ce qui change, ce sont les hypothèses relatives aux futures politiques publiques. L'impact de ces différentes politiques sur la demande d'énergie est présenté dans le graphique 1.3.

Graphique 1.3. Demande mondiale d'énergie primaire par scénario

Mégatonnes d'équivalent pétrole (mtep)



Source : AIE (2011), *World Energy Outlook 2011*.

Le scénario *Politiques actuelles* est un scénario de référence prenant en compte uniquement les politiques déjà formellement adoptées et mises en œuvre. Selon ce scénario, les grandes tendances énergétiques sont les suivantes :

- La demande mondiale d'énergie primaire devrait augmenter de 1.46 % par an en moyenne entre 2009 et 2035.
- Les combustibles fossiles sont encore prédominants, et représentent 80 % du bouquet énergétique primaire en 2035.
- L'intensité énergétique augmente de 1.4 % par an en moyenne.
- Les émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie augmentent de 1.6 % par an pour atteindre un niveau à long terme correspondant à une hausse probable de la température moyenne supérieure à 6°C à l'échelle mondiale.

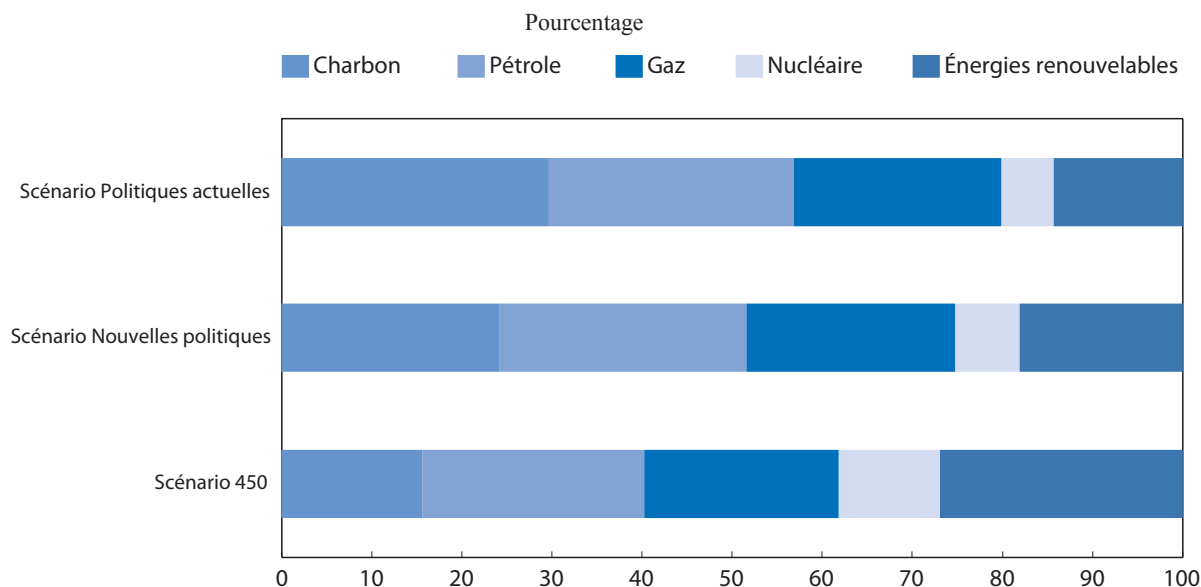
Le scénario *Nouvelles politiques*, qui est au cœur du *WEO-2011*, tient compte des engagements et plans d'action généraux annoncés par les pays du monde entier pour lutter contre l'insécurité énergétique, le changement climatique et la pollution locale, et autres problèmes urgents en rapport avec l'énergie, même lorsque les mesures spécifiques nécessaires à la mise en œuvre de ces engagements n'ont pas encore été annoncées. Il suppose l'introduction de nouvelles mesures, mais de manière relativement prudente. Il montre que ces politiques auraient, si elles étaient mises en œuvre, un impact non négligeable sur la demande d'énergie et sur les émissions de CO₂ associées. Selon ce scénario, les grandes tendances énergétiques sont les suivantes :

- La demande mondiale d'énergie primaire devrait augmenter de 1.3 % par an en moyenne entre 2009 et 2035.
- Les combustibles fossiles sont encore prédominants, et représentent 75 % du bouquet énergétique primaire en 2035 (graphique 1.4).
- L'intensité énergétique augmente de 1.7 % par an en moyenne.
- Les émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie augmentent de 0.9 % par an pour atteindre un niveau à long terme correspondant à une hausse probable de la température moyenne supérieure à 3.5°C à l'échelle mondiale.

Les combustibles fossiles représentent toujours plus de la moitié de la hausse de la demande totale d'énergie primaire dans le scénario *Nouvelles politiques*. La hausse du prix des combustibles fossiles, associée à des mesures visant à encourager les économies d'énergie et le passage à des sources d'énergie bas carbone, contribue à limiter la croissance de la demande pour l'ensemble des combustibles fossiles. Le pétrole continue de dominer le bouquet énergétique primaire, bien que sa part, qui atteignait 33 % en 2009, tombe à 27 % en 2035 en raison notamment du niveau élevé des prix et des mesures prises par les pouvoirs publics pour réduire la consommation de carburants. Dans le scénario *Nouvelles politiques*, la totalité de l'augmentation nette de la demande mondiale de pétrole est imputable au secteur des transports des pays non membres de l'OCDE, cette croissance étant particulièrement forte en Inde, en Chine et au Moyen-Orient.

La demande de charbon devrait augmenter de 25 % entre 2009 et 2035 mais le rythme de cette croissance varie largement au fil du temps. La demande mondiale de charbon enregistre une forte croissance jusqu'en 2020, ralentit rapidement puis reste à peu près stable au cours des années suivantes, et entame une baisse timide à l'approche de 2035. La part du charbon dans le bouquet énergétique mondial culmine rapidement à 28 % avant de baisser progressivement jusqu'à 24 % en 2035. La totalité de cette croissance est imputable aux pays non membres de l'OCDE, et la Chine, première consommatrice mondiale de charbon, jouera un rôle clé dans l'évolution des marchés mondiaux du charbon.

Dans le scénario *Nouvelles politiques* du *WEO-2011*, la croissance absolue de la demande de gaz naturel continue de dépasser celle de tous les autres combustibles, et elle est pratiquement équivalente à celle du pétrole et du charbon combinés sur la période 2009-2035. La flexibilité du gaz naturel utilisé comme combustible, associée à ses propriétés supérieures en termes de sécurité environnementale et énergétique, en fait un combustible attractif pour un grand nombre de pays et de secteurs. La part de l'énergie nucléaire passe de 6 % en 2009 à 7 % en 2035. La consommation d'énergies renouvelables modernes — notamment l'hydraulique, l'éolien, le solaire, la géothermie, la biomasse moderne et les énergies marines — triple quasiment au cours de la période considérée, sa part dans la demande totale d'énergie primaire passant de 7 à 14 %.

Graphique 1.4. Part des différentes sources d'énergie dans la demande mondiale d'énergie primaire par scénario

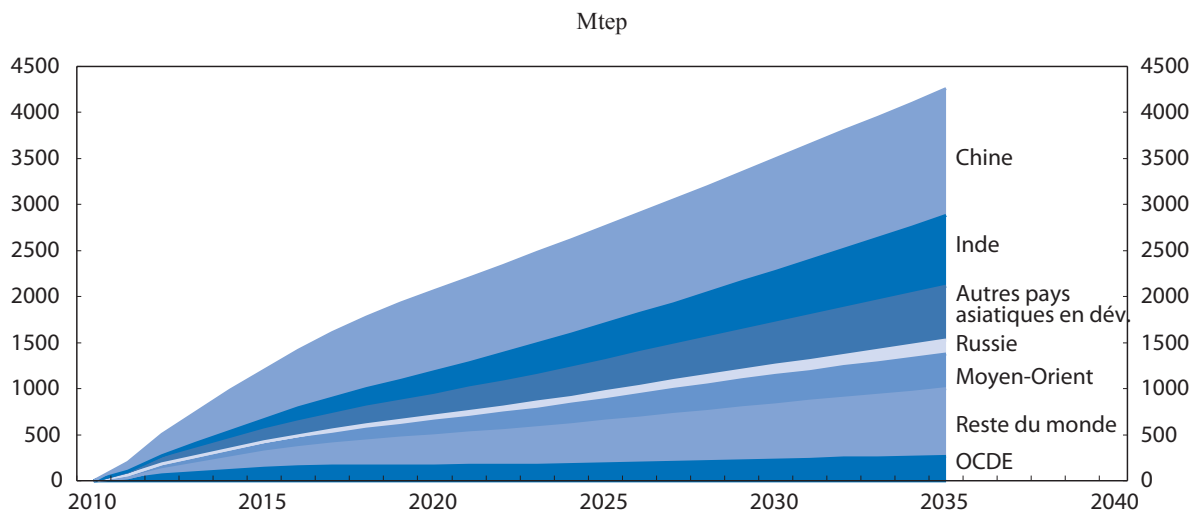
Source : AIE (2011), *World Energy Outlook 2011*.

Les économies émergentes, la Chine et l'Inde en tête, tireront la demande mondiale vers le haut. Les pays non membres de l'OCDE sont à l'origine de près de 90 % de l'accroissement prévu de la demande d'énergie primaire dans le scénario *Nouvelles politiques*, reflétant l'accélération de la croissance économique, de la production industrielle, de la population et de l'urbanisation (graphique 1.5). La Chine, où la demande a fait un bond depuis la dernière décennie, contribue à hauteur de plus de 30 % à l'augmentation prévue de la consommation mondiale d'énergie entre 2009 et 2035. À l'horizon 2035, la Chine représente 23 % de la demande mondiale, contre 11 % en 2009. L'Inde est le deuxième plus gros contributeur à la demande mondiale d'ici à 2035, représentant 16 % de cette hausse, et sa consommation d'énergie va plus que doubler pendant la période considérée. En dehors de l'Asie, c'est le Moyen-Orient qui affiche l'augmentation la plus rapide, avec un taux supérieur à 2 % par an. La demande d'énergie primaire dans les pays de l'OCDE augmente d'environ 8 % entre 2009 et 2035. Tandis que les États-Unis sont encore le deuxième pays consommateur d'énergie en 2035, leur demande totale d'énergie n'est que légèrement supérieure à son niveau de 2009.

L'importance de la Chine sur les marchés énergétiques ne saurait être exagérée. Alors que sa consommation était inférieure de plus de 50 % à celle des États-Unis en 2000, elle est aujourd'hui légèrement supérieure et devrait dépasser la consommation des États-Unis de près de 70 % en 2035 selon le scénario *Nouvelles politiques* du *WEO-2011*. Malgré cela, la consommation énergétique par habitant de la Chine demeure inférieure de plus de 50 % à celle des États-Unis en 2035. En conséquence, les prévisions énergétiques mondiales présentées dans l'édition 2010 du *World Energy Outlook* restent très sensibles aux hypothèses de départ concernant les principales variables qui déterminent la demande d'énergie en Chine, notamment celles relatives aux perspectives de croissance économique, aux changements structurels de l'économie, aux évolutions des politiques énergétiques et environnementales, ou au rythme de l'urbanisation. La nécessité croissante pour le pays d'importer des combustibles fossiles pour répondre à la hausse de sa demande intérieure aura un impact de plus en plus fort sur les marchés internationaux. Dans le scénario *Nouvelles politiques*, la Chine dépasse les États-Unis en termes d'importations de pétrole peu après 2020 et elle devient le premier consommateur de pétrole dans le monde autour de 2030, sa consommation ayant quasiment doublé par rapport à 2009. Le marché intérieur chinois, de par son envergure colossale, pourrait stimuler l'essor des nouvelles technologies énergétiques

bas carbone et jouer ainsi un rôle important en faisant baisser leur coût grâce à l'accélération de l'apprentissage technologique et aux économies d'échelle.

Graphique 1.5. Hausse prévue de la demande mondiale d'énergie primaire



Source : AIE (2011), *World Energy Outlook 2011*.

Dans le scénario *Nouvelles politiques* du *WEO-2011*, le prix moyen du pétrole brut augmente, atteignant quasiment 120 USD par baril (en USD de 2010) en 2035. La concentration croissante de la consommation de pétrole dans le secteur des transports et le fait que la demande se réoriente vers les marchés subventionnés limitent ainsi l'effet dissuasif que des prix plus élevés pourraient exercer sur la demande en favorisant l'adoption de carburants alternatifs. En outre, en raison de contraintes pesant sur l'investissement, la production n'augmente que faiblement lorsque les prix sont plus élevés. Dans le scénario *Nouvelles politiques*, le prix moyen du pétrole brut atteint 120 USD par baril (en USD de 2009) en 2035, alors qu'il dépassait à peine 60 USD en 2009. La demande de pétrole continue de croître régulièrement, pour atteindre quelque 99 millions de barils par jour (mb/j) en 2035² — soit plus de 12 mb/j de plus qu'en 2010. La totalité de l'augmentation nette est imputable aux pays non membres de l'OCDE ; la demande dans la zone OCDE diminue en fait de plus de 6 mb/j. La production de pétrole brut se stabilise autour de 69 mb/j avant de diminuer légèrement pour repasser à environ 68 mb/j en 2035. Une part croissante de la production mondiale provient des liquides de gaz naturel, des sources non conventionnelles et du pétrole de réservoirs compacts.

Le *Scénario 450* du *WEO-2011* définit une trajectoire énergétique compatible avec une probabilité de 50 % d'atteindre l'objectif de limiter la hausse moyenne de la température à 2°C par rapport aux niveaux de l'ère préindustrielle. Selon les experts climatiques, il sera nécessaire de limiter la concentration atmosphérique à long terme de gaz à effet de serre à environ 450 parties par million d'équivalent dioxyde de carbone (ppm d'éq. CO₂) pour atteindre cet objectif. Pour la période précédant 2020, le *Scénario 450* table sur une mise en œuvre vigoureuse des Accords de Cancún, contrairement au scénario *Nouvelles politiques* (qui table sur une mise en œuvre prudente). Après 2020, les pays de l'OCDE et d'autres grandes économies sont censées définir des objectifs nationaux de réduction des émissions pour 2035 et garantir collectivement une trajectoire d'émissions correspondant à une stabilisation de la concentration de gaz à effet de serre à 450 ppm. Dans le *Scénario 450*, les grandes tendances énergétiques sont les suivantes :

- La demande mondiale d'énergie primaire devrait augmenter de 0.8 % par an en moyenne entre 2009 et 2035.
- Les combustibles fossiles sont encore prédominants, et représentent 62 % du bouquet énergétique primaire en 2035.
- L'intensité énergétique augmente de 2.2 % par an en moyenne.
- Les émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie diminuent de 1.1 % par an pour atteindre un niveau à long terme correspondant à une hausse moyenne de la température de 2°C à l'échelle mondiale.

Cela suppose une transformation beaucoup plus rapide du système énergétique mondial et donc un ralentissement également plus rapide de la croissance des émissions globales de CO₂. Par exemple, la demande de pétrole atteint des sommets autour de 2016 avant de passer à environ 78 mb/j en 2035, soit près de 7 % de moins qu'en 2009. La demande de charbon culmine également vers 2016, puis diminue de 2.7 % par an en moyenne. La demande de gaz naturel croît régulièrement de 1.2 % par an jusqu'en 2030, avant de se stabiliser. Dans le *Scénario 450*, la part globale des combustibles peu carbonés dans le bouquet énergétique est multipliée par deux, passant de 19 % en 2009 à 38 % en 2035. La demande augmente fortement pour l'ensemble de ces combustibles.

Une réduction des émissions suffisante pour atteindre l'objectif de 2°C exige une transformation radicale et une décarbonisation rapide du système énergétique mondial. Le *Scénario 450* nécessite un investissement supplémentaire de 15 200 milliards USD par rapport au scénario *Nouvelles politiques*, mais assure une meilleure sécurité énergétique, une baisse de la pollution et des bénéfices significatifs sur le plan de la santé. Dans le *Scénario 450*, la diminution des besoins d'importation et des prix internationaux du pétrole réduit de manière importante la dépendance aux importations. Entre 2009 et 2035, l'ensemble des pays importateurs de pétrole dépense 9 100 milliards USD de moins que dans le scénario *Nouvelles politiques*.

Une nouvelle analyse par pays montre que 80 % du CO₂ émis entre 2009 et 2035 dans le *Scénario 450* est déjà « verrouillé » par les installations existantes (par exemple, centrales, bâtiments, usines), ce qui laisse peu de marge de manœuvre. Si une action coordonnée au plan international n'est pas mise en œuvre d'ici à 2017, toutes les émissions de CO₂ autorisées dans le *Scénario 450* seront imputables aux infrastructures existant à ce moment-là, ce qui signifie que toutes les nouvelles infrastructures construites entre 2017 et 2035 devront être des infrastructures à zéro émission de carbone. Cela est théoriquement possible à un coût très élevé, mais probablement pas réalisable sur le plan politique dans la mesure où cela nécessiterait de procéder au démantèlement précoce ou à la rénovation des installations existantes, en les équipant notamment d'un système de captage et de stockage du carbone, ou de les mettre à l'arrêt. Toutefois, l'effet de verrouillage et le coût prohibitif d'une action tardive seront partiellement atténués si une réduction des émissions autres que le CO₂ est mise en œuvre à très court terme, comme illustré dans les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050*.

Conséquences de la poursuite des tendances actuelles

Quelques tendances mettent l'activité économique en danger, comme la volatilité des prix du pétrole. Actuellement, les investissements annuels dans le secteur de l'énergie seraient compris entre 650 et 750 milliards USD selon les estimations (AIE, 2010). Plus de la moitié de ces investissements concernent le secteur du pétrole et du gaz naturel, où, d'après une étude des 50 plus grandes compagnies pétrolières et gazières du monde, 525 milliards USD d'investissements ont été réalisés en 2008. Cette même année, dans le secteur de l'électricité, les investissements des 25 plus grandes sociétés se sont montés à

143 milliards USD, et, dans celui du charbon, à 13 milliards USD. Toujours en 2008, les investissements dans les technologies bas carbone ont presque atteint la barre des 162 milliards USD (AIE, 2010)³.

L'évolution actuelle de la situation énergétique augmente la vulnérabilité et les risques de chocs et d'épuisement ou de destruction des ressources naturelles. En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre, le monde est sur la mauvaise pente, et cette dégradation va en s'accroissant. Entre 1990 et 2000, les émissions mondiales de CO₂ ont augmenté de 1.1 % par an en moyenne. Puis ce taux de croissance s'est établi à 3 % au cours des sept années qui ont suivi. Deux facteurs sont principalement en cause : une hausse de la demande d'énergie dans les économies dont le charbon est la principale source d'énergie ; et un accroissement de la production des centrales au charbon suite à l'augmentation des prix du pétrole et du gaz naturel. Le taux de croissance des émissions dues à la consommation de charbon est passé de 0.6 % par an entre 1990 et 2000 à 4.8 % par an entre 2000 et 2007. La dépendance persistante aux combustibles fossiles, au charbon notamment, continue de tirer vers le haut les émissions de CO₂ et le prix des combustibles fossiles.

Le quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) souligne la nécessité d'atténuer le changement climatique d'origine anthropique et de s'adapter aux changements irréversibles (GIEC, 2007). Il considère qu'il faut, à l'horizon 2050, diminuer les émissions mondiales de CO₂ de 50 à 85 % par rapport aux niveaux de 2000 pour limiter la hausse moyenne à long terme de la température mondiale (avec un degré de confiance élevé) à 6°C ou moins. Les estimations des dommages causés par le changement climatique et des coûts engendrés par les mesures d'atténuation et d'adaptation sont très disparates. Le changement climatique aura lieu même en cas d'écologisation rapide du système énergétique, mais les conséquences seront plus importantes encore si aucune mesure n'est prise.

Le message est clair. Le maintien du statu quo en matière de politique énergétique finira par mettre en danger la croissance économique, la sécurité et le bien-être de la planète et de ses habitants. Nous devons radicalement changer la façon dont nous produisons, acheminons et consommons l'énergie.

Notes

- ¹ Il s'agit de l'Emergency Economic Stabilization Act (2008) et de l'American Recovery and Reinvestment Act (2009), qui prévoient l'extension des crédits d'impôt à la production pour l'éolien et des crédits d'impôt à l'investissement pour le solaire.
- ² À l'exclusion de la demande de biocarburants, qui devrait passer de 1.1 mb/j (en équivalent essence et gazole) en 2009 à 2.3 mb/j en 2020 puis 4.4 en 2035.
- ³ Sont exclus les investissements dans le secteur des transports, les réseaux d'électricité, le nucléaire, et le captage et stockage du carbone.

Références

- AIE (Agence internationale de l'énergie) (2009), « Ensuring Green Growth in a Time of Economic Crisis: The Role of Energy Technology », présenté au Sommet du G8, Syracuse, Italie, 22-24 avril 2009. Disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/Papers/2009/ensuring_green_growth.pdf.
- AIE (2010), *Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios & Strategies to 2050*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/energy_tech-2010-en.
- AIE (2011), *World Energy Outlook 2011 (WEO-2010)*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/weo-2011-en.
- Ayres, R. et B. Warr (2003), « Accounting for Growth: The Role of Physical Work », Centre for the Management of Environmental Resources, INSEAD, Fontainebleau.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2007), *Quatrième rapport d'évaluation du GIEC*, GIEC, Genève.
- OCDE (2011), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/2222954x
- OCDE (2012), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050*, Éditions de l'OCDE, doi: 10.1787/env_outlook-2012-fr.
- OMS (Organisation mondiale de la santé) (2008), *L'état de santé du monde : nouvelle étude sur la charge mondiale de morbidité*, OMS, Genève.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) (2011), *Decoupling and Sustainable Resource Management: Scoping the Challenges*, PNUE, Paris.
- Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, A. Persson, F. S. Chapin, III, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. de Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen et J. A. Foley (2009), « A Safe Operating Space for Humanity », *Nature*, vol. 461, 24 septembre 2009, Macmillan Publishers Limited, Londres, pp. 472-475.
- Stern, N. (2006), *Stern Review: The Economics of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.

Chapitre 2. Favoriser la transition vers une croissance verte

La croissance verte sera particulièrement difficile à mettre en œuvre dans le secteur de l'énergie en raison de la taille de ce dernier, de sa complexité et de sa dépendance au sentier ainsi qu'aux actifs à longue durée de vie. Les politiques de croissance verte dans le secteur énergétique peuvent permettre d'obtenir des résultats importants, comme un renforcement de la gestion des ressources, de l'innovation et des gains de productivité, la création de nouveaux marchés et secteurs et une réduction des dommages environnementaux.

Il est possible, en recourant aux technologies existantes et émergentes, de diviser par deux les émissions mondiales à l'horizon 2050, au prix d'un investissement supplémentaire de 46 000 milliards USD. Toutes les options technologiques doivent être exploitées, et les principaux consommateurs d'énergie, à savoir les secteurs des transports, de l'industrie et du bâtiment, devront également procéder à des transformations radicales.

La révolution énergétique nécessaire se caractérise par les aspects suivants : amélioration de l'efficacité énergétique, mise en œuvre à grande échelle du captage et du stockage du carbone, déploiement accru des énergies renouvelables, énergie nucléaire, poursuite de la substitution interénergétique, et soutien aux technologies nouvelles et habilitantes.

D'une manière générale, les mesures clés nécessaires à la définition du cadre de transformation du secteur énergétique sont les suivantes (elles varieront en fonction du secteur) :

- *Fixer des signaux-prix pour les externalités.*
- *Éliminer les subventions aux combustibles fossiles.*
- *Mettre en place des cadres pour améliorer le fonctionnement des marchés.*
- *Améliorer radicalement l'efficacité énergétique.*
- *Stimuler l'innovation et les mesures en faveur des technologies vertes.*

Favoriser la transition vers une économie fondée sur l'énergie verte ne revient pas à viser un résultat prédéterminé. Il s'agit plutôt de répondre aux besoins énergétiques engendrés par la croissance démographique et les aspirations de développement grandissantes, tout en s'efforçant de lever les pressions que le système énergétique actuel fait peser sur l'environnement. Du fait de la prépondérance des combustibles fossiles dans le bouquet énergétique actuel, la décarbonisation joue un rôle essentiel dans cette transition. Toutefois, le changement climatique et les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas les seuls enjeux d'une économie fondée sur l'énergie verte. L'ampleur du défi est certainement suffisante pour évoquer la nécessité d'une « destruction créatrice », selon l'idée avancée par Schumpeter. En finir avec cette « dépendance au sentier » des technologies existantes nécessitera de nouvelles idées et techniques dont il semble peu probable qu'elles puissent émerger de quelque programme progressif convenu à l'avance.

L'évolution pourrait être rapide. Le coût de certaines technologies fondées sur les énergies renouvelables a diminué, et cette baisse devrait se poursuivre. Toutefois, leur déploiement est encore compromis par l'inadaptation des infrastructures et de la réglementation. L'électricité produite par les éoliennes ne pourra pas être injectée dans les réseaux si ces derniers sont médiocres, et les véhicules électriques ne pourront pas exploiter l'énergie éolienne s'il n'existe pas suffisamment d'emplacements pour les brancher. La technologie, les infrastructures, les marchés et l'instauration de conditions favorables sont tous des aspects essentiels de la transformation. Une modification drastique des infrastructures et équipements énergétiques à l'échelle nationale est une entreprise complexe. La réorientation de l'économie dans une perspective écologique nécessite de prêter une attention particulière à l'efficacité énergétique et aux infrastructures de réseaux, comme les réseaux d'électricité et de transport, qui facilitent plutôt qu'elles ne freinent la transformation économique, et d'éviter de verrouiller les actifs physiques non optimaux et à longue durée de vie.

Ce chapitre présente quelques-uns des avantages et des arbitrages potentiels liés à une transition vers un système énergétique plus vert. Il aborde ensuite les technologies et les principales mesures susceptibles d'accélérer la transition vers une trajectoire de croissance verte.

Croissance verte et énergie : les enjeux

L'écologisation de l'énergie comptera parmi les tout premiers déterminants d'une croissance plus verte. La satisfaction de la demande énergétique croissante nécessitera un investissement total de 270 000 milliards USD dans le secteur au cours des quatre prochaines décennies (AIE, 2010a), offrant ainsi une immense opportunité d'asseoir le développement économique et social sur une base plus durable. Les innovations qui permettent de fournir de manière propre et durable des services énergétiques indispensables à l'activité économique et au bien-être ouvrent de nouvelles perspectives de croissance, en favorisant la création de nouveaux emplois et d'entreprises et en compensant les pertes des secteurs en déclin.

Les pays en développement ont la possibilité de progresser rapidement en optant pour des technologies, des modèles économiques et des cadres réglementaires plus verts et plus efficaces. Les économies émergentes ne s'enrichiront pas en suivant la même trajectoire que ceux qui se sont industrialisés plus tôt. Les coûts environnementaux seraient trop importants, que ce soit au niveau local ou mondial.

Les décideurs et les entreprises prennent des engagements. Les objectifs nationaux en matière d'énergies renouvelables se multiplient. Plus de 70 pays à travers le monde, dont tous les membres de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), ont défini des objectifs et des mesures afin de soutenir le développement des technologies axées sur les énergies renouvelables. Ce faisant, ils visent des objectifs très variés, comme l'amélioration de la sécurité énergétique et l'accès à des services énergétiques

modernes ; la baisse de la dépendance à l'égard des importations énergétiques ; la protection de l'environnement ; la création d'emplois ; et le renforcement de l'avantage concurrentiel de l'industrie nationale (Philibert, 2011).

Investissements dans les énergies propres et nouveaux marchés

Étant donné l'ampleur de la récession mondiale qui s'est produite dans le sillage de la crise financière de 2008, il n'est pas surprenant que l'investissement total dans le secteur des énergies propres ait diminué en 2009. Toutefois, les chiffres de Bloomberg New Energy Finance (2011) montrent que le recul des nouveaux investissements a été moins important que prévu, notamment en raison de l'envolée de l'investissement dans les énergies propres. Les investissements ont été particulièrement importants en Chine. Les chiffres pour l'ensemble de l'année, fondés sur les transactions réelles dans toutes les classes d'actifs, montrent que les nouveaux investissements ont totalisé 243 milliards USD en 2010 (BNEF, 2011).

Ces résultats permettent de tirer deux conclusions : d'une part, les énergies propres demeurent un secteur doté d'un potentiel de croissance solide à long terme, même en temps de crise économique, et d'autre part, l'Asie n'est plus seulement un gros consommateur d'énergie, mais également l'une des régions qui investit le plus dans les énergies propres. Il est établi que, jusqu'à récemment encore, la Chine visait à augmenter sa capacité de production nationale de technologies des énergies renouvelables. Depuis 2009, elle mise plutôt sur l'augmentation de sa puissance installée afin de satisfaire la demande d'électricité et d'absorber la production des constructeurs chinois. La course à la mise en œuvre des technologies énergétiques propres opposant les nations du monde commence à prendre forme.

En 2010, la Chine est devenue le premier investisseur du G20 dans les énergies propres, avec un total de 47.3 milliards USD d'investissements (énergies renouvelables seulement). Les objectifs contraignants en matière d'énergie éolienne et solaire et la disponibilité abondante du crédit sont les principaux moteurs de la croissance des énergies propres en Chine. Avec une puissance installée de 53 gigawatts (GW) en énergies renouvelables en 2009, la Chine occupait la deuxième place mondiale, juste derrière les États-Unis (GWEC, 2010). C'est également elle qui s'est fixé les objectifs parmi les plus ambitieux du monde en matière d'énergies renouvelables, renforcés par des tarifs d'achat fixes pour l'éolien, la biomasse et le solaire, pour lesquels est prévu un accroissement de la puissance installée de 150, 30 et 20 GW respectivement d'ici à 2020. La Chine a établi un appareil de production solide, notamment dans le solaire, et fait en sorte de répondre à la demande intérieure croissante d'énergie en augmentant rapidement ses capacités de production d'énergie propre. Elle envisage de devenir le chef de file du marché des technologies bas carbone, et se prépare à jouer un rôle clé dans la baisse des coûts, dans l'intérêt de tous les pays.

Les États-Unis ne se classent plus qu'au deuxième rang des pays du G20 en 2009 en ce qui concerne les investissements dans les énergies propres. Leurs investissements atteignaient 20.7 milliards USD fin 2010. Le resserrement des conditions de crédit, l'incertitude au sujet des incitations fiscales en début d'année et l'absence de cadre d'action national solide ont limité les investissements. De même, les investissements dans l'éthanol, qui ont été le moteur de la progression au cours des deux années précédentes, ont décliné en 2008 et 2009. Toutefois, les biocarburants avancés, l'efficacité énergétique et les réseaux électriques intelligents ont bénéficié d'investissements supplémentaires. La promulgation en 2009 d'une loi instaurant des crédits d'impôt à la production (éolien) et à l'investissement (solaire) à long terme a contribué à sauver une année qui se serait probablement avérée décevante. Une hausse des investissements des États-Unis dans les énergies propres était attendue de toute façon en 2010, au moment où la plus grande partie du fonds de relance des énergies propres (66 milliards USD) devait être dépensée. Les États-Unis continuent de dominer le financement par capital-risque et l'innovation technologique, mais ont pris du retard en ce qui concerne la production.

Réduire la pauvreté énergétique

Il est largement admis que des services énergétiques fiables et modernes sont indispensables à la réalisation des objectifs du Millénaire pour le développement des Nations Unies. Le *WEO-2011* de l'AIE reconnaît à quel point ces services énergétiques modernes sont essentiels au bien-être humain et au développement économique d'un pays. Pourtant, de nombreux ménages à bas revenus n'y ont toujours pas accès dans les pays en développement. L'exposition à la pollution de l'air intérieur causée par les méthodes de cuisson traditionnelles est à l'origine de graves problèmes de santé et augmente considérablement le risque de décès prématuré. Les chiffres parlent d'eux-mêmes : quelque 1.3 milliard de personnes — plus de 20 % de la population mondiale — n'ont pas accès à l'électricité et 2.7 milliards — quelque 40 % de la population mondiale — sont tributaires de formes traditionnelles d'exploitation de la biomasse pour cuisiner (AIE, 2011a). Pis encore, les prévisions de l'AIE laissent penser que ce problème va perdurer : dans le scénario *Nouvelles politiques*, 1 milliard de personnes n'ont toujours pas accès à l'électricité en 2030, dont plus de 60 % en Afrique subsaharienne. Dans ce même scénario, malgré les progrès effectués, le nombre de personnes tributaires de formes traditionnelles d'exploitation de la biomasse pour cuisiner atteindra 2.7 milliards en 2030, en raison de la croissance démographique.

Un investissement total de 1 000 milliards USD est nécessaire pour assurer un accès universel aux services énergétiques modernes à l'horizon 2030, soit 48 milliards USD par an, un montant cinq fois supérieur au niveau d'investissement enregistré en 2009 (AIE, 2011a). Néanmoins, l'investissement total nécessaire représente une petite partie des investissements mondiaux dans les infrastructures énergétiques, soit environ 3 %. Pour parvenir à cette estimation, il a d'abord été nécessaire d'évaluer les solutions techniques à mettre en œuvre pour assurer l'accès à l'électricité, comme le recours conjoint à des systèmes raccordés aux réseaux, des miniréseaux et des systèmes isolés hors réseau. Pour identifier les solutions les plus adaptées à chaque région, l'analyse du *WEO-2011* tient compte des coûts régionaux et de la densité de consommateurs, ce qui permet d'obtenir une variable déterminante, à savoir le coût régional par mégawattheure (MWh). Lorsque l'électricité est fournie via un réseau établi, le coût par MWh est moins élevé que celui de l'électricité fournie par les miniréseaux ou les solutions hors réseau, mais le coût de l'extension du réseau en question à des zones faiblement peuplées, isolées ou montagneuses peut être très élevé, et les systèmes de transport longue distance peuvent subir des pertes techniques importantes. L'analyse estime également que la généralisation de l'accès à l'électricité à l'horizon 2030 est susceptible d'entraîner une augmentation de 2.5 % de la production mondiale d'électricité. La demande de combustibles fossiles augmenterait alors de 0.8 % et les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) de 0.7 %, des chiffres insignifiants au regard des préoccupations en matière de sécurité énergétique ou de changement climatique.

Réduire la pollution atmosphérique – améliorer la productivité et la santé

Le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et les particules ont un impact négatif sur la santé humaine et l'environnement. Les effets de ces gaz ne se limitent pas au pays ou à la région dans lesquels ils sont émis, mais sont ressentis bien au-delà des frontières nationales.

En Chine, les coûts externes de la pollution — comme les coûts sanitaires, la baisse de productivité de la main-d'œuvre ou celle des sols — se montaient à 3.8 % du PIB en 2005 (Banque mondiale, 2007). Aux États-Unis, le coût sanitaire de la consommation de combustibles fossiles s'élève à quelque 120 milliards USD par an, et découle principalement des milliers de décès prématurés provoqués par la pollution atmosphérique (US National Research Council, 2009). Ce chiffre reflète principalement les dommages sanitaires dus à la pollution atmosphérique engendrée par la production d'électricité et le transport routier, et n'inclut pas les dommages liés au changement climatique, les préjudices aux écosystèmes, les effets de certains polluants atmosphériques comme le mercure et les risques pour la sécurité nationale.

Environ la moitié de l'électricité produite aux États-Unis provient du charbon. En 2005, les dommages externes causés par le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et les particules émis lors de la combustion du charbon se sont montés à environ 62 milliards USD ; ces dommages non climatiques coûtent en moyenne 3.2 centimes USD par kilowattheure (KWh) d'électricité. Un nombre relativement restreint de centrales, 10 %, sont responsables de 43 % des dommages (US National Research Council, 2009).

Il semble qu'une approche intégrée portant à la fois sur les polluants atmosphériques et les émissions de gaz à effet de serre, par le biais d'améliorations de l'efficacité énergétique par exemple, soit considérablement moins coûteuse qu'une prise en charge distincte de ces deux problèmes (GIEC, 2007). Bien que les objectifs en matière de pollution atmosphérique et de changement climatique ne soient pas toujours complémentaires, la mise en œuvre de politiques énergétiques propres abaissant le coût net de la réduction des émissions de gaz à effet de serre a des effets bénéfiques sur la pollution atmosphérique locale. Une analyse de l'OCDE montre que les avantages connexes des politiques d'atténuation du changement climatique en termes de réduction de la pollution atmosphérique locale pourraient couvrir une part non négligeable du coût de l'action, bien que les mesures de lutte contre la pollution atmosphérique reviennent généralement moins cher qu'une action indirecte via l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (Bollen *et al.*, 2009).

Arbitrages potentiels et coûts d'ajustement

Bien que les avantages et opportunités liés à la transition vers un bouquet énergétique plus propre soient considérables, la transition vers un système énergétique vert aura forcément un coût en amont. Il conviendra toutefois de prêter une attention particulière aux difficultés d'ajustement et de répartition associées à cette transition. En effet, la croissance verte dans le contexte de la production d'énergie pose des difficultés particulières en raison de la taille, de l'inertie et de la durée de vie longue de la plupart des actifs des systèmes énergétiques. La structure de l'économie énergétique de nombreux pays repose entièrement sur des systèmes d'approvisionnement centralisés fondés sur les combustibles fossiles, qu'il faudra du temps pour voir évoluer.

La présente section examine l'éventail des estimations de coûts associées à la transition énergétique nécessaire pour lutter contre le changement climatique, mais ne tente pas d'établir une comparaison coûts-bénéfices formelle. Comme nous l'avons vu dans la section précédente, les avantages de l'écologisation du système énergétique vont bien au-delà de simples considérations de changement climatique. Néanmoins, d'un point de vue politique, du moins en ce qui concerne le changement climatique, l'engagement pris à Cancún de maintenir la hausse mondiale de la température sous la barre des 2°C a déjà donné lieu à l'arbitrage coûts-bénéfices suivant : les gouvernements mondiaux ont décidé que l'inaction en matière de changement climatique coûterait plus cher que la transition.

Le secteur des transports est l'un de ceux dont les coûts d'ajustement en termes de dépenses d'investissement supplémentaires seront les plus élevés. Sur la totalité des investissements supplémentaires nécessaires entre 2009 et 2035 selon le *Scénario 450* de l'AIE par rapport au scénario *Nouvelles politiques*, 6 300 milliards USD, soit plus de 40 %, reviendront au secteur des transports. La majeure partie de cette somme sera consacrée à l'achat de véhicules plus efficaces ou propres. Le secteur du bâtiment est un autre grand bénéficiaire des investissements supplémentaires prévus par le *Scénario 450*, pour un montant de 4 100 milliards USD. La majeure partie de cette somme sera consacrée à la rénovation des bâtiments dans les pays de l'OCDE et aux installations photovoltaïques. En ce qui concerne la production d'électricité, on évite quelque 930 milliards USD d'investissements dans les lignes de transport et de distribution. Le niveau inférieur de la demande d'électricité dans le *Scénario 450* du *WEO-2011* — imputable à l'investissement de 2 700 milliards USD destiné à améliorer l'efficacité de l'utilisation finale de l'énergie dans les secteurs du bâtiment et de l'industrie — entraîne une diminution

de quelque 1 100 milliards USD des investissements dans l'infrastructure de réseau. Le recours accru aux énergies renouvelables, qui nécessitent davantage d'investissements dans le transport et la distribution que les autres sources d'énergie, alourdit le *Scénario 450* de près de 165 milliards USD, ce qui compense partiellement les économies imputables à la baisse de la demande.

Toutefois, ces investissements supplémentaires ne représentent qu'une partie du tableau. En effet, ils ne reflètent pas la rentabilité du capital, ni les impacts économiques à plus grande échelle. À l'instar de nombreux modèles dits d'évaluation intégrée, la modélisation économie-environnement de l'OCDE (OCDE, 2012a, à paraître) permet de comprendre de quelle manière les contraintes en matière d'émissions de CO₂ pourraient influencer la croissance économique au cours du siècle. Selon les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050*, une trajectoire économiquement efficace à 450 parties par million (ppm) aboutirait à une réduction du PIB de 5.5 % en 2050 (ENV-Linkages), mais ces coûts augmentent rapidement lorsque des choix technologiques ou un calendrier des mesures d'atténuation moins efficaces sur le plan économique sont mis en œuvre. Edenhofer *et al.* (2009, 2010) et l'Energy Modelling Forum (Clarke *et al.*, 2009) ont récemment examiné ces modèles. Leurs études montrent que le coût économique total de la limitation des émissions de CO₂ dépend fortement du rythme de progression de la réduction des émissions, du niveau global de réduction des émissions, et donc de la contrainte globale en matière de concentrations de CO₂. Ignorant les externalités du changement climatique, les modèles estiment qu'une limitation des émissions à 650 ppm d'éq. CO₂ entraînerait une perte économique de l'ordre de 0.5 % du PIB mondial, qu'une limitation à 550 ppm d'éq. CO₂ coûterait entre 1 et 2 % du PIB mondial, et une limitation à 450 ppm d'éq. CO₂ entre 2.5 et 7 %.

Les valeurs ci-dessus sont des moyennes réalisées à partir de différents modèles, et les estimations de coût varient largement entre les modèles, en fonction de leur structure et des hypothèses qu'ils formulent. Tavoni et Tol (2010) soulignent que la moyenne des modèles est biaisée pour le scénario à 450 ppm, dans la mesure où elle exclut les résultats des modèles qui n'ont pas été en mesure de reproduire le scénario à 450 ppm (principalement parce qu'ils considéraient ce scénario techniquement irréalisable). Inférant les coûts moyens implicites à partir d'un groupe de modèles plus large, Tavoni et Tol estiment que le coût d'un scénario à 450 ppm pourrait avoisiner 8 à 13 % du PIB mondial. Toutefois, les hypothèses technologiques revêtent une importance critique. Tavoni et Tol montrent que le fait d'inclure la possibilité de capter le CO₂ des centrales à biomasse (ou toute autre technologie de recharge permettant d'éliminer le CO₂ de l'atmosphère) réduit la moyenne des modèles à 2-2.5 % du PIB mondial pour le scénario à 450 ppm.

Les estimations basses des coûts correspondent dans une large mesure à la fourchette identifiée dans le rapport Stern, qui, sur la base d'une analyse de la documentation disponible, a situé les coûts d'ajustement engendrés par le respect de la limite de 550 ppm d'éq. CO₂ entre 1 et 3.5 % du PIB, la moyenne se situant autour de 1 % (Stern, 2006).

Ces coûts d'ajustement ne doivent pas être évalués isolément, mais par rapport aux gains de bien-être et aux dommages qui ont pu être évités par la lutte contre le changement climatique et les autres externalités environnementales, ainsi qu'aux éventuels avantages qu'une diversification visant à réduire l'actuelle dépendance aux combustibles fossiles présenterait en termes de sécurité énergétique. Outre qu'elles donnent une estimation du coût global de la transition, ces études de modélisation permettent de tirer trois enseignements :

- *Toutes ces études font ressortir la nécessité de prendre rapidement des mesures coordonnées.* Les retards tendent à augmenter les coûts, car ils intensifient le rythme de la transition nécessaire au cours des années suivantes.
- *La limitation des types de technologies susceptibles d'être mis en œuvre dans le cadre de la transition du secteur énergétique augmente considérablement les coûts.* Par exemple, le modèle Energy Technology Perspectives (ETP) de l'AIE montre que les coûts supplémentaires de la

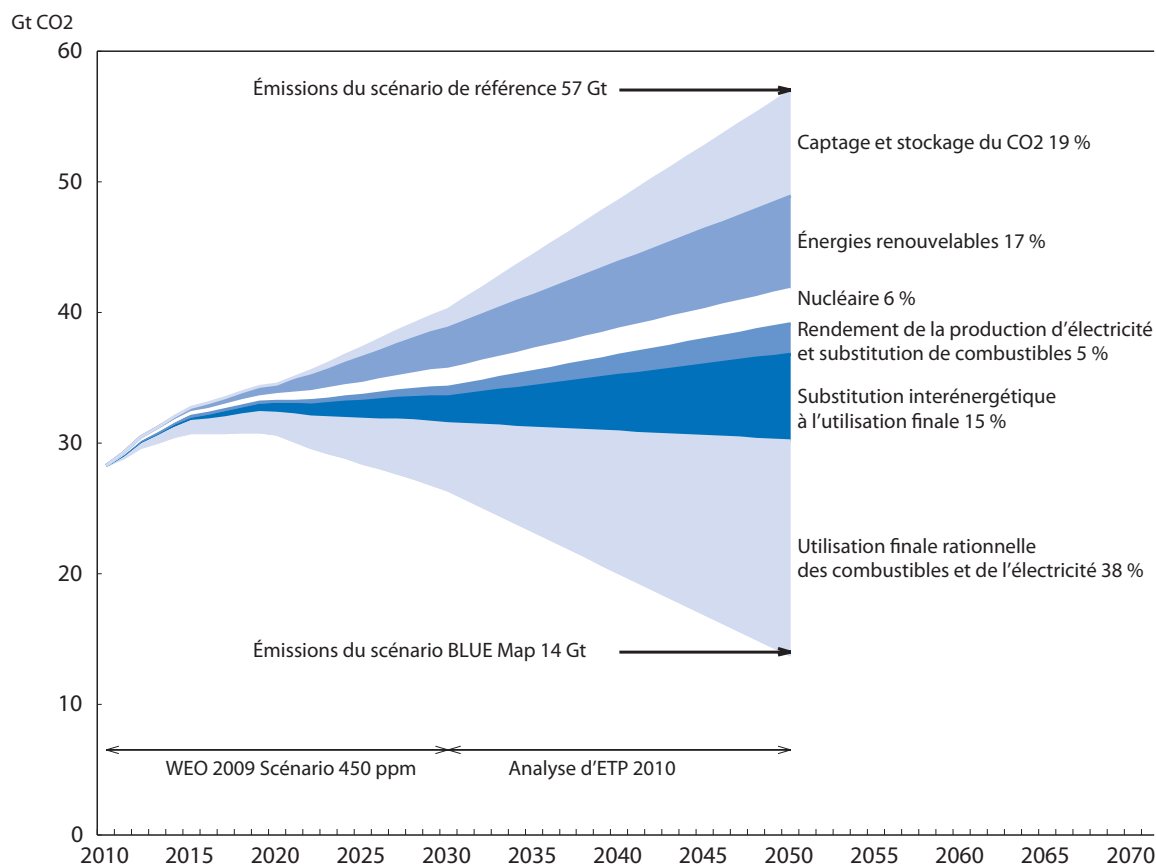
production d'électricité dans le scénario « Blue Map » pourraient dépasser de 6 à 38 % les coûts prévus par le scénario de référence, selon la part du nucléaire et du captage et stockage du CO₂ dans le bouquet énergétique (AIE, 2010a).

- *Il est important d'impliquer un groupe de pays aussi large que possible dans la transition.* Les modèles d'évaluation intégrée de l'Energy Modelling Forum font ressortir des coûts d'ajustement supérieurs de 30 à 100 % environ dans un scénario dans lequel certains pays tardent à prendre les mesures nécessaires pour atteindre l'objectif de 550 ppm (Clarke *et al.*, 2009).

Croissance verte et énergies : technologies clés

La transition vers un avenir énergétique durable nécessitera de révolutionner les technologies énergétiques. En combinant les technologies existantes et les nouvelles technologies, il est possible de diviser par deux les émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie à l'horizon 2050 par rapport aux niveaux actuels (graphique 2.1). Cet objectif sera difficile à atteindre, et nécessitera des investissements importants, mais les bénéfices seront conséquents. On estime que le fait de réduire de moitié les émissions en 2050 par rapport à leur niveau de 2005 nécessitera d'investir 46 000 milliards USD supplémentaires dans les énergies propres, soit 17 % de plus que les investissements prévus par le scénario de référence. Entre 2007 et 2009, les investissements annuels dans les technologies bas carbone ont atteint 165 milliards USD en moyenne (AIE, 2010a), et ont frôlé les 250 milliards USD en 2010.

Graphique 2.1. Technologies clés pour un système énergétique sobre en carbone en 2050



Source : AIE (2010), *Energy Technology Perspectives 2010*.

Il est important de noter que *toutes* les options technologiques sont requises. Par exemple, le *WEO-2011* et les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050* montrent qu'une sortie progressive du nucléaire nécessiterait un investissement supplémentaire de 1 500 milliards USD à l'horizon 2035, ce qui entraînerait une réduction du revenu réel des ménages de plus de 5 % à l'échelle mondiale. De même, ces études révèlent que l'indisponibilité de la technologie du captage et du stockage du carbone (CSC) devra être compensée par des solutions plus coûteuses, ce qui augmentera les coûts d'au moins un tiers. Les changements ne peuvent pas être restreints à la production d'électricité ; des transformations fondamentales doivent également avoir lieu dans les secteurs de l'industrie, des transports et du bâtiment. Les éventuelles contributions clés à cette révolution technologique sont décrites dans le scénario *Blue Map* de l'AIE¹ :

- *Amélioration de l'efficacité énergétique* — la plus grande part de la réduction des émissions totales (38 %) est imputable à une amélioration de l'efficacité énergétique. Il faudrait que la progression annuelle de l'intensité énergétique finale mondiale passe de 1.7 à 2.6 %. Cela nécessite un *doublé* du rythme d'amélioration de l'efficacité énergétique par rapport à un scénario de politiques inchangées. Ce rythme accéléré d'amélioration de l'efficacité énergétique dans les utilisations finales nécessitera la mise en œuvre immédiate de politiques et de mesures nationales plus solides en faveur de l'efficacité énergétique (AIE, 2009a) afin de surmonter les obstacles du marché. Ces derniers prennent de nombreuses formes : accès restreint au capital, isolement par rapport aux signaux-prix, asymétrie de l'information, et incitations divergentes. Dans le secteur industriel, des politiques et mesures nationales et des accords sectoriels internationaux sont nécessaires pour encourager l'adoption des meilleures technologies disponibles, et fournir ainsi des processus et des produits plus efficaces (AIE, 2009b). Globalement, l'amélioration de l'efficacité énergétique générera des avantages financiers nets, et l'expérience montre qu'elle peut avoir des retombées très intéressantes sur la création d'emplois et la santé par exemple.
- *Mise en œuvre à grande échelle du captage et du stockage du carbone* — la mise en œuvre rapide et à grande échelle du CSC, tant dans le secteur de la production d'électricité que dans l'industrie, est le deuxième contributeur (19 %) à la réduction des émissions au moindre coût. Étant donné la longue durée de vie des chaudières et des équipements de production d'électricité, certaines installations existantes devront être dotées de systèmes de captage et de stockage du carbone afin d'atteindre les taux de pénétration nécessaires.

Pour que cette contribution soit effective, on estime qu'une centaine de projets devront être mis en œuvre d'ici à 2020 afin de soutenir le déploiement du CSC à l'échelle mondiale, dont près de la moitié dans les pays en développement (AIE, 2009c). Une volonté politique sans faille est essentielle tant au niveau national qu'international pour atteindre l'objectif du déploiement à grande échelle du CSC à l'horizon 2020. Il devient urgent que toutes les parties prenantes mettent en œuvre les projets qui constituent les premières étapes critiques du déploiement du CSC. Un engagement plus poussé de la part des pays en développement, par le biais par exemple d'un renforcement des capacités et d'une cartographie du potentiel de stockage, sera également une étape importante dans la poursuite du déploiement du CSC.

- *Déploiement accru des énergies renouvelables* — la poursuite du déploiement à grande échelle des technologies fondées sur les énergies renouvelables est le troisième contributeur (17 %). En 2050, près de la moitié de la production totale d'électricité devra être issue de sources d'énergie renouvelables, contre 19 % aujourd'hui. L'éolien, le photovoltaïque (PV), l'énergie solaire à concentration, la biomasse et l'hydraulique, notamment, auront tous un rôle important à jouer. Par exemple, le scénario envisage un accroissement moyen de la puissance installée de 48 GW par an pour l'éolien terrestre au cours des 40 prochaines années. Au cours de la même période, 325 millions de mètres carrés de panneaux PV devraient être installés

chaque année en moyenne. L'augmentation de la puissance installée en énergies renouvelables nécessitera également un accroissement des capacités de secours fondées sur les énergies fossiles, afin de garantir la fiabilité du système et de pallier le caractère variable de certaines énergies renouvelables.

- *Poursuite de la substitution interénergétique* — une grande partie de la réduction des émissions sera imputable à une augmentation de la part du nucléaire. Cela nécessitera la construction de quelque 30 centrales nucléaires de 1 000 mégawatts (MW) par an entre 2010 et 2050. Les pays construisent actuellement 65 réacteurs nucléaires qui apporteront 60 gigawatts supplémentaires d'ici à 2015. Toutefois, l'accident nucléaire qui s'est produit récemment à la suite du tremblement de terre et du tsunami qui ont frappé le Japon risque de mettre un frein aux projets d'expansion, du moins à court terme. Le système international de contrôle de la technologie et des matières nucléaires doit être maintenu et renforcé si nécessaire. La protection physique des sites et des matières doit également être assurée. En outre, l'industrie devra intensifier ses efforts de substitution interénergétique, en délaissant le charbon au profit de combustibles bas carbone, et plus particulièrement de la biomasse et du gaz naturel. Dans le secteur des transports, les biocarburants durables, notamment les biocarburants avancés, associés à l'électrification croissante du parc automobile, vont revêtir de plus en plus d'importance au cours des prochaines décennies.

Un certain nombre de technologies transversales habilitantes seront nécessaires pour étayer ces transformations. Par exemple, pour tirer le meilleur parti possible de l'efficacité énergétique, de la production d'électricité renouvelable et des véhicules électriques, des investissements substantiels dans les réseaux électriques intelligents et le stockage de l'énergie seront nécessaires. Les réseaux intelligents intègrent des systèmes d'équilibrage de l'offre et la demande, d'automatisation de la surveillance et du contrôle, d'écrtage des pointes et de communication en temps réel avec les consommateurs. De nombreuses technologies énergétiques émergentes produisent de l'électricité à une puissance variable (éolien, solaire PV) et nécessitent un système énergétique plus souple (AIE 2011b). Par exemple, les batteries et les autres technologies de stockage de l'énergie joueront un rôle essentiel. Il est nécessaire de resserrer les liens entre les sciences fondamentales et la recherche appliquée dans le domaine de l'énergie afin d'accélérer l'innovation.

Pour contribuer à faire avancer la conception et l'adoption de technologies clés à l'échelle internationale, l'AIE élabore actuellement une série de feuilles de route technologiques. Ces feuilles de route identifient les actions que les gouvernements, l'industrie, les partenaires financiers et la société civile doivent entreprendre en priorité pour que chaque technologie réalise pleinement son potentiel (AIE, 2010b). Elles révèlent un certain nombre de problèmes transversaux qui doivent être résolus pour accélérer la mise en œuvre d'un certain nombre de technologies à faible teneur en carbone. Il s'agit notamment de :

- Planifier de manière stratégique les infrastructures à forte intensité de capital, comme les réseaux intelligents et les réseaux de conduites servant au transport du CO₂, sur une base régionale.
- Impliquer les communautés locales à un stade précoce de la planification des projets de démonstration et d'infrastructure à grande échelle visant à favoriser un développement plus sobre en carbone, afin de garantir la prise en compte de leurs besoins dès le stade de la conception.
- Améliorer l'information et la communication relatives à l'ampleur des changements nécessaires pour améliorer les résultats énergétiques en termes d'émissions de CO₂, ainsi qu'aux coûts et avantages associés à ces changements pour les 40 années à venir.
- Renforcer la coordination et le partage de connaissances au sein de la communauté internationale afin d'accélérer la transition entre la démonstration et la commercialisation des technologies.

- Permettre aux économies émergentes et en développement d'exploiter plus facilement les énergies propres par le biais d'un renforcement des capacités et d'approches spécifiques à chaque technologie, adaptés à leurs besoins et à leurs possibilités.

À ce jour, les feuilles de route concernent les technologies bas carbone suivantes : biocarburants, captage et stockage du carbone, captage et stockage du carbone dans les applications industrielles, ciment, énergie solaire à concentration, véhicules électriques et véhicules hybrides rechargeables, efficacité énergétique des bâtiments, équipements de chauffage et de climatisation, géothermie, nucléaire, réseaux intelligents, photovoltaïque et éolien (encadré 2.1).

Encadré 2.1. Comment fabriquer des blocs de construction de meilleure qualité et plus verts

Le ciment est le liant entrant dans la composition du béton, un matériau de construction essentiel à travers le monde. Le béton est le deuxième produit le plus consommé au monde, juste après l'eau. Toutefois, la fabrication du ciment génère du CO₂, si bien que cette industrie est responsable de 5 % des émissions mondiales de CO₂ d'origine anthropique. Dans les pays en développement notamment, la production de ciment devrait s'accroître à mesure que la modernisation et la croissance prennent de l'ampleur. La substitution de produits à une échelle suffisante pour avoir un impact réel n'est pas une solution envisageable, tout au moins pour la décennie à venir.

Au cours des dernières années, l'industrie du ciment est parvenue à découpler partiellement la croissance et les émissions absolues de CO₂ : à travers le monde, la production de ciment a augmenté de 54 % entre 2000 et 2006, tandis que les émissions absolues de CO₂ associées à cette production ont augmenté de 42 %. Toutefois, cette évolution ne peut se poursuivre à partir du moment où la croissance de la demande de béton et de ciment dépasse le potentiel technique de réduction des émissions de CO₂ par tonne de produit.

Consciente de l'urgence de mettre au point une technologie afin de réduire l'intensité en carbone de la production de ciment, la Cement Sustainability Initiative (CSI) du World Business Council for Sustainable Development s'est associée à l'AIE pour concevoir une feuille de route technologique sur le ciment. Depuis 2002, les entreprises membres de la CSI ont fait des progrès significatifs en termes de mesure, de déclaration et d'atténuation de leurs émissions de CO₂, et font bénéficier le reste du secteur de ces progrès. La feuille de route est l'étape complémentaire qui suit logiquement. Elle met en évidence une voie de transition possible pour permettre au secteur du ciment de réduire ses émissions directes de CO₂ de 18 % par rapport aux niveaux actuels d'ici à 2050.

Source : WBCSD et AIE (2009), « Cement Technology Roadmap 2009: Carbon Emissions Reductions up to 2050 »

Un cadre d'action pour l'écologisation de l'énergie

Étant donné les différences entre les situations nationales et les stades de développement, il n'existe pas de recommandation générique pour promouvoir des systèmes énergétiques plus verts. La transition variera entre les régions et les pays en fonction de leur capital naturel et humain et de leur situation économique. Toutefois, dans tous les cas, elle devrait généralement viser à encourager la croissance tout en valorisant, en préservant et en restaurant le capital naturel ; améliorer l'efficacité énergétique et l'efficacité d'utilisation des ressources tout au long de la chaîne, depuis la production jusqu'aux utilisations finales et à l'élimination des déchets ; assurer une transition vers des technologies et processus bas carbone et des sources d'énergie renouvelables ; et améliorer la sécurité et la fiabilité énergétiques.

Trouver le cadre d'action approprié pour la croissance n'a jamais été facile, et la prise en compte de la croissance verte complique encore cette tâche. L'expérience des pays de l'OCDE, confirmée par celle de nombreuses économies émergentes, semble indiquer que, s'il n'existe pas de recette unique pour réussir, certains ingrédients sont assurément indispensables.

Les stratégies de croissance verte doivent s'étaler sur plusieurs décennies et examiner de quelle manière les différentes technologies existantes et émergentes s'inscrivent dans la transition globale. Par leur essence même, elles doivent être placées au cœur de l'action économique des gouvernements. De surcroît, la mise en œuvre de la croissance verte dans le secteur énergétique nécessitera des politiques de soutien cohérentes dans de nombreux autres secteurs, comme l'agriculture, la construction, l'industrie, le transport, l'investissement, la fiscalité, l'environnement, la science et la technologie, et l'éducation. Par ailleurs, la coopération internationale jouera un rôle critique, notamment dans l'établissement de signaux-prix et de marchés du carbone solides et crédibles, la recherche, le développement et le déploiement de matériels et technologies, le transfert de technologie, et l'élargissement des marchés, tant pour les biens que pour les réseaux.

Des forces concurrentielles puissantes et des marchés robustes stimulent la croissance économique. Dans le domaine de l'environnement, toutefois, les marchés sont insuffisamment développés. Pour corriger cela, le capital naturel doit faire l'objet d'une tarification satisfaisante par le biais des instruments de marché. L'idée de donner un prix aux sources de pollution ou à la surexploitation d'une ressource rare par le biais de mécanismes tels que les taxes ou les systèmes de permis négociables afin d'estimer les externalités environnementales est la mesure la plus efficace. Toutefois, en présence de plusieurs défaillances du marché et de leurs interactions, la réponse la mieux adaptée consistera souvent en une combinaison d'instruments complémentaires, y compris des mesures réglementaires. Les infrastructures sont une composante essentielle de la croissance, aussi sera-t-il important de faire le bon choix de mesures dans le domaine des systèmes énergétiques et de transport. L'innovation dans ces domaines sera capitale (OCDE, 2011a).

En outre, des mesures sont requises pour surmonter les défaillances du marché associées à l'innovation verte. La tarification appropriée des externalités, la politique générale en matière d'innovation, le transfert de technologie et la conception d'infrastructures adaptées peuvent largement contribuer à apporter des solutions à ces défaillances du marché. Mais l'émergence de nouvelles technologies est un processus qui requiert généralement des investissements considérables à long terme, et qui est souvent amorcé dans les institutions publiques de recherche avant que les entreprises ne s'en emparent. Par conséquent, il peut être nécessaire d'apporter un soutien plus spécifique et le cas échéant temporaire aux technologies propres².

Le futur étant intrinsèquement incertain, une approche « portefeuille » sera probablement nécessaire. L'action publique doit donner la priorité aux options faciles à mettre en œuvre et financièrement avantageuses. Ces options peuvent permettre de gagner le temps nécessaire pour faire baisser les coûts des technologies émergentes par le biais d'un premier déploiement et concevoir des technologies inédites par le biais de la recherche, du développement, de la démonstration et du déploiement (RDD-D).

Des panoplies de mesures, qui devront nécessairement être appliquées sur des marchés libres et ouverts, seront indispensables pour obtenir des résultats. Les interventions clés pertinentes pour la plupart des pays et des secteurs sont examinées plus en détail ci-après.

Éliminer les subventions aux combustibles fossiles

L'abandon des subventions inefficaces en faveur des combustibles fossiles est l'un des outils les plus puissants de la transition vers une croissance verte dans le secteur énergétique. Ces subventions restent courantes dans de nombreux pays (figure 2.2). Elles abaissent le coût des émissions de carbone, ce qui va complètement à l'encontre des objectifs de n'importe quelle politique de réduction des émissions. En outre, elles sont à l'origine d'une répartition inefficace des ressources et créent des distorsions sur les marchés, alors qu'elles ne parviennent généralement pas à remplir les objectifs visés.

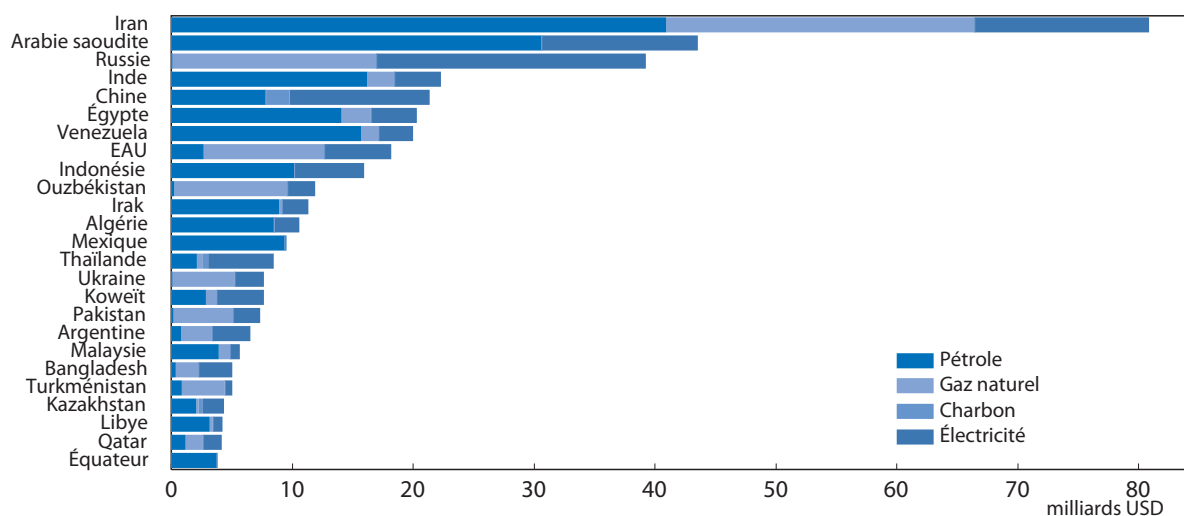
Les subventions à la consommation de combustibles fossiles, mesurées par l'écart entre les prix nationaux et un indice de référence international, ont atteint 409 milliards USD en 2010, les subventions

aux produits pétroliers représentant près de la moitié de cette somme (AIE, 2011a). Le niveau durablement élevé des prix du pétrole a rendu le coût de ces subventions intolérable pour de nombreux pays, et a incité certains gouvernements à agir. Le niveau annuel de ces subventions peut largement fluctuer en fonction de l'évolution des prix énergétiques internationaux, de la politique nationale de tarification, des taux de change et de la demande. Ces subventions, identifiées par l'AIE, se rencontrent principalement dans les pays en développement et les économies émergentes. Seuls 8 % des 409 milliards USD consacrés aux subventions aux combustibles fossiles en 2010 ont été distribués aux 20 % les plus pauvres de la population, ce qui montre qu'elles sont inefficaces pour aider les plus démunis ; d'autres formes directes d'aide sociale pourraient s'avérer beaucoup moins onéreuses.

L'OCDE a recensé plus de 250 mesures de soutien à la production ou à l'utilisation de combustibles fossiles dans 24 pays industrialisés, qui représentent au total près de 95 % de l'approvisionnement énergétique dans les pays de l'OCDE. Ces mesures ont totalisé une valeur comprise entre 45 et 75 milliards USD par an entre 2005 et 2010. En termes absolus, près de la moitié de ce montant a bénéficié aux produits pétroliers (à savoir le pétrole brut et ses dérivés), le reste étant équitablement réparti entre le charbon et le gaz naturel. Dans la mesure où plusieurs pays de l'OCDE produisent des quantités insignifiantes de combustibles fossiles, les mesures d'aide à la consommation représentent la plus grande part de l'aide globale. Le soutien à la production est toutefois loin d'être négligeable dans les pays de l'OCDE qui produisent des combustibles fossiles.

Graphique 2.2. Les subventions à la consommation de combustibles fossiles dans 25 pays

En milliards USD, 2010



Source : AIE (2011), *World Energy Outlook 2011*.

Pour une part importante, le soutien accordé dans les pays de l'OCDE prend la forme de dépenses fiscales, telles que des crédits et exonérations d'impôt ou des taux d'imposition réduits. Ces dispositions favorisent les combustibles fossiles par rapport aux règles « normales » d'imposition d'un pays spécifique. Toutefois, dans la mesure où les règles et taux normaux d'imposition varient énormément d'un pays à l'autre, ce type de soutien peut difficilement faire l'objet de comparaisons. Néanmoins, l'inventaire de l'OCDE constitue une étape significative vers plus de transparence et de responsabilité eu égard à ces politiques portant sur la production ou l'utilisation de combustibles fossiles. Bien qu'il n'évalue pas les qualités de chaque politique, cet inventaire constitue une première étape critique qui permettra de mieux analyser et comprendre lesquels de ces mécanismes sont inefficaces ou dispendieux, et d'identifier les réformes possibles.

L'abandon progressif des subventions aux combustibles fossiles est une solution triplement bénéfique, qui renforcerait la sécurité énergétique, réduirait les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre et procurerait des avantages économiques immédiats. Selon les estimations de l'AIE, si les subventions aux combustibles fossiles étaient complètement abandonnées à l'horizon 2020, la demande de pétrole serait inférieure de 4.4 millions de barils par jour (mb/j) en 2035 par rapport à un scénario de référence où les niveaux de subvention restent inchangés. En outre, la demande mondiale d'énergie primaire serait réduite d'environ 5 % et les émissions de CO₂ de 5.8 % (2.6 gigatonnes, Gt) (AIE, 2011a). Le ralentissement de la demande de combustibles fossiles contribuerait également à abaisser les émissions de particules et autres polluants atmosphériques.

On dispose effectivement d'une bonne marge de manœuvre pour réduire le lourd fardeau que ces subventions font peser sur le budget des États, tout en réorientant les aides vers ceux qui en ont le plus besoin. L'analyse de l'OCDE suggère que la plupart des pays ou régions gagneraient vraiment à supprimer ces subventions à la consommation de combustibles fossiles de manière unilatérale, car les ressources seraient alors réparties plus efficacement entre les secteurs. Le coût de l'atténuation prévu par le *Scénario 450* diminue si ces subventions aux combustibles fossiles sont supprimées en parallèle. Cette baisse de coût concernerait principalement les pays qui entreprendraient une réforme des subventions, mais se répercuterait également au niveau international (OCDE, 2012a, à paraître).

La question de la suppression des subventions aux combustibles fossiles devient incontournable sur la scène internationale. En septembre 2009, les dirigeants du G20 se sont engagés à abandonner progressivement et à rationaliser les subventions inefficaces aux combustibles fossiles, une mesure à laquelle les dirigeants de la Coopération économique Asie-Pacifique (APEC) ont largement fait écho en novembre 2009⁵. De nombreux pays mettent actuellement en œuvre des réformes, mais d'importants obstacles économiques, politiques et sociaux devront être surmontés pour qu'elles se traduisent par des améliorations durables. L'OCDE et l'AIE ont établi conjointement une base de données en ligne pour améliorer la disponibilité et la transparence des données relatives aux subventions à la consommation d'énergie et aux mesures de soutien de la production ou de l'utilisation de combustibles fossiles dans les pays de l'OCDE (OCDE et AIE, 2011). Il s'agit d'une étape essentielle pour donner l'impulsion à une réforme internationale des subventions aux combustibles fossiles.

Une feuille de route est également fournie pour guider les décideurs dans la mise en œuvre de la réforme des subventions aux combustibles fossiles (AIE, OCDE et Banque mondiale [2010]). Elle est fondée sur les enseignements tirés des études de cas menées dans les pays développés et en développement. Une attention particulière est accordée aux modalités d'identification des subventions à éliminer progressivement, de résolution des difficultés de mise en œuvre, comme les obstacles politiques et les contraintes d'accessibilité, et de facilitation du processus de réforme par le biais d'une assistance ciblée, de filets de sécurité et de mesures de restructuration industrielle. Cette feuille de route tient compte des difficultés posées tant par les subventions aux consommateurs qu'aux producteurs. Elle pourrait aider les décideurs à diagnostiquer les problèmes clés et à définir l'action politique nécessaire en ce qui concerne la réforme des subventions.

De nombreux pays, membres ou non du G20, entreprennent des réformes. Bien que ce soit un début très encourageant, la pleine mesure des économies potentielles ne sera atteinte qu'à la condition qu'un plus grand nombre de pays passent à la vitesse supérieure et réforment les subventions aux combustibles fossiles.

Fixer des signaux-prix pour les externalités

De nombreuses études de l'OCDE soulignent qu'une tarification appropriée des externalités est essentielle afin de mettre en place les mêmes règles du jeu pour tous, influencer le comportement des consommateurs et encourager l'innovation. Le choix des moyens d'intervention les plus adaptés pour

corriger les externalités environnementales variera en fonction de la nature et de l'ampleur de la principale défaillance du marché, ainsi que des différences entre les capacités institutionnelles des pays respectifs, mais il existe de nombreux exemples de réussite dans le secteur énergétique. Aux États-Unis, par exemple, le programme Acid Rain, qui prévoit un système d'échange de droits d'émission de dioxyde de soufre (SO₂), a permis aux entreprises d'électricité d'adopter la stratégie la plus rentable pour réduire les émissions de SO₂ de leurs unités de production, et, ce faisant, d'obtenir des résultats concluants sur le plan environnemental.

Les économistes ont longtemps recommandé de recourir à des instruments économiques pour réduire la pollution au moindre coût par le biais de mécanismes tels que les taxes, les systèmes de permis négociables ou les systèmes hybrides, afin de garantir que le coût marginal de la dépollution soit le même pour tous les pollueurs. Ainsi, l'objectif environnemental est atteint au moindre coût pour la société. Deux types d'instrument ont été instaurés pour les émissions de CO₂ issues des combustibles fossiles dans un certain nombre de pays et de régions — les taxes sur le CO₂ au début des années 90, puis le système d'échange de droits d'émission une dizaine d'années plus tard. La fixation d'un prix pour les émissions de gaz à effet de serre au moyen de taxes et de systèmes d'échange de quotas d'émission crée des incitations auxquelles les investisseurs réagissent déjà (encadré 2.2).

Un prix du carbone clair et prévisible sera vraisemblablement un important facteur de changement. Mais il est improbable qu'il oriente à lui seul les investissements à court terme vers les technologies plus coûteuses présentant des avantages environnementaux et économiques à long terme. Bien que des initiatives régionales et quelques initiatives nationales unilatérales fassent leur apparition en matière de tarification, et que le SCEQE ait fait ses preuves depuis son introduction, il semble peu plausible qu'un marché du carbone véritablement mondialisé émerge dans un futur proche. De nombreuses technologies efficaces sur le plan énergétique, ainsi que quelques technologies d'approvisionnement en énergie bas carbone, sont disponibles à un coût net supplémentaire nul ou faible. Mais un certain nombre d'autres technologies ne pourront pénétrer plus avant sur le marché tant que les prix n'auront pas atteint un niveau compris entre 25 et 75 USD par tonne de CO₂ (AIE, 2010a). C'est beaucoup plus que les prix du CO₂ observés aujourd'hui (European Climate Exchange, 2011). Ainsi, pour éviter le verrouillage de technologies inefficaces et à forte intensité de carbone au cours de la prochaine décennie, les gouvernements devront mettre en œuvre des politiques ciblées dans le cadre de leurs stratégies de croissance verte, afin de diminuer le coût des options sobres en carbone et d'instaurer un marché pour les technologies qui ne sont pas encore tout à fait au stade commercial.

Instaurer des conditions favorables pour soutenir le fonctionnement des marchés

Les stratégies de croissance verte doivent instaurer des conditions favorables pour permettre aux marchés d'obtenir les résultats désirés, et mettre en œuvre des mesures complémentaires dans les domaines où les signaux des marchés ne sont pas totalement opérants. Naturellement, la panoplie d'instruments ainsi que les modalités et le moment de leur mise en œuvre dépendent de la situation nationale. La plupart des études ont examiné la portée et l'efficacité d'une multitude de politiques et de mesures ainsi que différents modèles réglementaires appliqués dans le domaine du développement économique et de la protection de l'environnement dans une perspective de développement durable.

Encadré 2.2. Les enseignements du système communautaire d'échange de quotas d'émission

Lancé le 1^{er} janvier 2005, le système communautaire d'échange de quotas d'émission (SCEQE) est le plus important système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre du monde. Ce système est désormais en place dans 30 pays (les 27 membres de l'UE plus l'Islande, le Liechtenstein et la Norvège). Il concerne les émissions de CO₂ d'installations telles que les centrales électriques, les installations de combustion, les raffineries de pétrole et les usines sidérurgiques, ainsi que les usines fabriquant du ciment, du verre, de la chaux, des briques, de la céramique, de la pâte à papier, du papier et du carton. Si l'on tient compte des émissions d'oxyde d'azote dues à certains processus, les installations actuellement concernées génèrent près de la moitié des émissions de CO₂ et 40 % des émissions européennes de gaz à effet de serre.

Les expériences du SCEQE montrent que le signal-prix transmis par les systèmes d'échange est efficace pour stimuler la recherche de modes de production plus sobres en carbone (Ellerman et Buchner, 2008 ; Convery et de Perthuis, 2010). Même au cours des premières années qui ont suivi la mise en œuvre de ce système, lorsque les difficultés étaient encore nombreuses, le signal-prix poussait les acteurs économiques à réduire leurs émissions au meilleur coût, malgré une croissance économique solide et d'autres facteurs qui auraient pu entraîner une hausse des émissions. La baisse a été limitée au cours de la période probatoire, probablement entre 120 et 300 millions de tonnes de CO₂, mais ce résultat est conforme aux ambitions de la phase pilote, qui étaient modestes. En outre, il faut du temps pour que le prix du CO₂ fasse son effet et que les investissements portent leurs fruits.

Depuis l'introduction du SCEQE, le prix du carbone est une réalité dans l'Union européenne, et il est pris en compte dans les choix opérationnels et les décisions d'investissement des secteurs de l'industrie et de l'électricité.

Il appartient aux gouvernements d'établir au niveau national des conditions favorables à l'expansion de l'investissement privé, à travers une stabilité macroéconomique, une bonne gouvernance publique, des régimes fiscaux équitables et efficaces, l'amélioration de l'infrastructure et des marchés financiers sains. Les gouvernements définissent également les cadres nécessaires pour protéger les droits de propriété et promouvoir un bon gouvernement d'entreprise, la concurrence et des politiques commerciales ouvertes. Les décideurs participant à l'élaboration des stratégies de croissance verte doivent se concentrer sur l'instauration de conditions propices. Ils doivent notamment :

- Mettre en place des cadres réglementaires solides à long terme afin d'éliminer les obstacles aux investissements verts ; réglementer les pratiques préjudiciables à l'environnement par le biais de normes ou de réglementations contraignantes ; et harmoniser les régimes réglementaires afin de stimuler l'activité économique verte. Cela impliquera l'intégration d'objectifs environnementaux clairs dans les politiques d'investissement par le biais d'une panoplie de mesures et d'instruments, depuis les politiques de tarification du carbone, de recherche et de développement (R-D) et les politiques financières et réglementaires, jusqu'à des mesures « souples », comme l'éducation et l'information (OCDE 2012b, à paraître).
- Orienter les dépenses publiques vers des postes prioritaires, comme les méthodes de passation des marchés, qui contribuent à créer des marchés pour les produits et services écologiques, et vers des infrastructures permettant de mener la transformation de grande ampleur que nécessitent les systèmes énergétiques et de transport. Autre poste prioritaire : le soutien transitoire aux technologies immatures, fondé sur les performances et limité dans le temps (par le biais de clauses d'extinction) (Kalamova, Kaminker et Johnstone, 2011).
- Investir dans l'éducation, la formation et le renforcement des capacités. Mettre en place des actions pour stimuler le soutien industriel et public aux systèmes énergétiques sobres en carbone, notamment en encourageant la capacité d'initiative de l'industrie, en développant une main-d'œuvre spécialisée dans les énergies faiblement carbonées, en approfondissant l'engagement public et en renforçant la collaboration internationale.

- Renforcer la gouvernance internationale dans les domaines qui régulent l'activité économique, par exemple, la législation en matière de commerce et d'investissement et les accords multilatéraux sur l'environnement.

Bien que des investissements publics soient nécessaires pour catalyser la transition vers une économie verte, en définitive, la majorité des investissements viendront du privé. La transition offre de nouvelles opportunités significatives aux entreprises, dans la mesure où un large éventail de technologies vertes devront être développées et déployées au cours des prochaines décennies. Les capitaux sont restreints et la rentabilité doit être suffisante pour justifier les risques y afférents. Les investissements dans les nouveaux systèmes et technologies énergétiques devront afficher des rendements supérieurs aux investissements dans les systèmes et technologies traditionnels. Les investisseurs institutionnels, qui représentent la plus grande part des financements du secteur privé, sont réfractaires au risque et exigeront des rentrées financières prévisibles en contrepartie de leurs investissements. Les pouvoirs publics doivent se montrer attentifs à l'environnement d'investissement afin de s'assurer de l'existence de conditions-cadres qui permettront d'attirer les financements nécessaires. Le caractère prévisible des réglementations est important pour permettre aux investisseurs d'évaluer les risques que d'éventuelles réformes font courir aux investissements potentiels.

Encadré 2.3. Exemples d'investissements récents dans les programmes nationaux en faveur de l'efficacité énergétique

Canada : le gouvernement du Canada investit 400 millions CAD pour reconduire le programme écoÉNERGIE Rénovation – Maisons.

Chili : les incitations économiques instaurées récemment incluent la création d'une exonération fiscale pour l'installation de systèmes solaires thermiques, la mise en œuvre d'un programme de renouvellement du parc de transport routier (le montant de ce programme a atteint 3.8 millions USD en 2009), et la création en 2008 d'une incitation fiscale à l'achat de véhicules hybrides. Une Agence nationale de l'efficacité énergétique a été fondée en mai 2010.

France : les mesures de relance économique comprennent des primes à la casse pour les véhicules anciens ainsi qu'un programme de prêt à taux zéro en faveur de l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel. Elles incluent également une réglementation énergétique limitant la consommation des bâtiments neufs (50 kWh/m²/an) et prévoient une évaluation de l'efficacité énergétique des bâtiments publics, ainsi que leur rénovation.

Corée : le plan de relance prévoit 6 milliards USD pour promouvoir les logements verts, l'éclairage par des diodes électroluminescentes (LED) dans les bâtiments publics et la performance énergétique dans les écoles. 1.8 milliard USD ont été alloués au développement de véhicules économes en carburant.

Espagne : le Plan d'action national en faveur de l'efficacité énergétique vise désormais à réduire la consommation finale d'énergie par unité produite de 2 % par an entre 2011 et 2020, soit 133 000 kilotonnes d'équivalent pétrole (ktep) (965 millions de barils) d'énergie primaire sur cette même période. Sa mise en œuvre devrait mobiliser des investissements de l'ordre de 45.985 millions EUR.

Royaume-Uni : les investissements dans le Warm Front, qui fournit une aide financière aux ménages à revenus modestes pour leurs travaux d'isolation ou de chauffage, ont été accélérés.

Source : AIE (2009), *Implementing Energy Efficiency Policies: Are IEA Member Countries on Track?*

Améliorer radicalement l'efficacité énergétique

Les politiques d'amélioration de l'efficacité énergétique constituent un outil puissant et rentable qui contribue aux stratégies de croissance verte (encadré 2.3). Les améliorations de l'efficacité peuvent réduire le besoin d'investissement dans les infrastructures énergétiques et le coût des combustibles, améliorer la compétitivité, diminuer l'exposition à la volatilité des prix des combustibles fossiles, rendre l'énergie plus abordable pour les ménages à bas revenus, abaisser les émissions locales et mondiales de polluants et améliorer le bien-être des consommateurs. Les gains d'efficacité peuvent également renforcer la sécurité énergétique en diminuant la dépendance aux importations de combustibles fossiles. Et des résultats peuvent être obtenus rapidement. L'affectation des ressources à l'efficacité énergétique peut permettre d'atteindre plusieurs objectifs politiques en même temps.

La poursuite du découplage de la consommation énergétique et de la croissance économique exige une amélioration de l'efficacité à travers l'ensemble du système énergétique, de la production à la transformation, la distribution et aux applications finales. L'efficacité énergétique offre les meilleures perspectives d'amélioration des performances environnementales et peut également stimuler la croissance verte en termes d'emploi et d'efficacité économique. Les investissements dans le bâtiment, l'industrie et les transports visant à améliorer l'efficacité énergétique sont généralement amortis rapidement et sont associés à des coûts de réduction des émissions négatifs, dans la mesure où les économies de combustibles réalisées pendant la durée de vie de ces équipements sont souvent supérieures aux coûts d'investissement supplémentaires découlant de la mesure d'efficacité. La rentabilité des mesures d'efficacité énergétique est souvent maximale lorsqu'elles sont mises en œuvre au stade de la conception et de la construction des nouveaux bâtiments ou installations.

Tous les pays déclarent que l'amélioration significative de l'efficacité énergétique fait partie de leurs priorités. Pour encourager l'adoption de mesures en la matière, un ensemble complet de recommandations portant sur 25 domaines d'action dans sept secteurs prioritaires a été actualisé récemment. Ces sept secteurs sont les suivants : bâtiment, industrie, entreprises énergétiques, appareils, éclairage, transports et activités intersectorielles (tableau 2.1) (AIE, 2011c). Toutes ces recommandations, qui devaient répondre à un ensemble rigoureux de critères, ont été entérinées en 2011 par les ministres de l'Énergie de l'AIE. Si elles sont mises en œuvre rapidement à l'échelle mondiale, ces mesures pourraient contribuer à réduire les émissions mondiales de CO₂ de 7.6 Gt par an d'ici à 2030 – soit l'équivalent d'environ une fois et demie les émissions de CO₂ actuelles des États-Unis. En 2010, cela correspondait à des économies d'énergie supérieures à 82 exajoules/an à l'horizon 2030, soit 17 % de la consommation d'énergie mondiale annuelle actuelle.

Tableau 2.1. Les 25 recommandations de l'AIE en matière d'efficacité énergétique

| | |
|---------------------------------|--|
| Intersectorielles | 1. Collecte de données et indicateurs relatifs à l'efficacité énergétique 2. Stratégies et plans d'action 3. Marchés énergétiques concurrentiels, correctement réglementés 4. Investissements privés dans l'efficacité énergétique 5. Suivi, exécution et évaluation des politiques et mesures |
| Bâtiment | 6. Codes de la construction contraignants et obligations minimales en matière de performance énergétique 7. Inscription de bâtiments à zéro consommation d'énergie dans les objectifs 8. Amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments existants 9. Élaboration de labels et de certificats énergétiques 10. Performance énergétique des composants et systèmes de construction |
| Appareils et équipements | 11. Normes contraignantes de performance énergétique et labels pour les appareils et équipements 12. Normes d'essai et protocoles de mesure pour les appareils et équipements 13. Initiatives de transformation du marché pour les appareils et équipements |
| Éclairage | 14. Élimination progressive des produits et systèmes d'éclairage inefficaces 15. Systèmes d'éclairage à faible consommation d'énergie |
| Transport | 16. Normes contraignantes de consommation de carburant 17. Mesures d'amélioration de la consommation de carburant des véhicules 18. Composants hors moteur à faible consommation d'énergie 19. Amélioration de l'efficacité opérationnelle par le biais de l'éco-conduite et d'autres mesures 20. Amélioration de l'efficacité des systèmes de transport |
| Industrie | 21. Gestion de l'énergie dans l'industrie 22. Équipements et systèmes industriels hautement efficaces 23. Services d'efficacité énergétique pour les petites et moyennes entreprises 24. Mesures complémentaires pour soutenir l'efficacité énergétique dans l'industrie |
| Entreprises énergétiques | 25. Efficacité énergétique des entreprises énergétiques, ainsi qu'au stade de l'utilisation finale |

Source : AIE (2011), *25 Energy Efficiency Policy Recommendations*.

Les obstacles à l'efficacité énergétique étant omniprésents, diffus et complexes, les gouvernements doivent recourir à un ensemble cohérent de mesures. L'amélioration de l'efficacité énergétique se heurte souvent à des obstacles commerciaux, financiers, informationnels, institutionnels et techniques. Ces obstacles existent dans tous les pays, et les politiques d'efficacité énergétique visent à les surmonter. Les principaux obstacles sont résumés au tableau 2.2.

Une évaluation récente des progrès réalisés dans la mise en œuvre des 25 politiques et mesures recommandées en faveur de l'efficacité énergétique a montré que, bien que l'action menée dans ce domaine soit déjà substantielle, la marge d'amélioration demeure considérable (AIE, 2011d).

Dans tous les pays, ce sont les transports dont il convient de se préoccuper en priorité. Environ 60 % du pétrole mondial est consommé par ce secteur. Pour réaliser des économies significatives, il est recommandé de mettre en œuvre une panoplie complète de mesures, consistant notamment à introduire des normes d'efficacité énergétique contraignantes pour les voitures et les véhicules lourds, assorties de mesures complémentaires comme l'étiquetage et les incitations, et à améliorer l'efficacité globale des systèmes de transport par le biais du transfert modal et de la planification urbaine.

Tableau 2.2. Principaux obstacles à l'efficacité énergétique

| Obstacle | Exemple |
|---------------------------------|--|
| Commercial | <ul style="list-style-type: none"> • L'organisation du marché et les distorsions de prix empêchent les clients d'apprécier la véritable valeur de l'efficacité énergétique. • Des problèmes d'incitations divergentes surviennent lorsque les investisseurs ne peuvent pas tirer parti des avantages procurés par l'amélioration de l'efficacité. • Coûts de transaction (les coûts de développement des projets sont relativement élevés par rapport aux économies d'énergie réalisées). |
| Financier | <ul style="list-style-type: none"> • Les mises de fonds initiales et les retombées diffuses découragent les investisseurs. • Les investissements en faveur de l'efficacité sont perçus comme complexes et risqués, avec des coûts de transaction élevés. • Les institutions financières ont une connaissance insuffisante des avantages financiers. |
| Informationnel | <ul style="list-style-type: none"> • Le manque d'information et de compréhension des consommateurs les empêche de prendre des décisions de consommation et d'investissement rationnelles. • Les informations relatives à la technologie sont incomplètes faute d'un recul suffisant. |
| Réglementaire et institutionnel | <ul style="list-style-type: none"> • Tarifs de l'énergie décourageant les investissements en faveur de l'efficacité énergétique, comme les tarifs dégressifs par tranches. • Les mesures d'incitation encouragent les producteurs d'énergie à vendre de l'énergie plutôt qu'à investir dans des mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique économiquement avantageuses. • Parti pris institutionnel en faveur des investissements du côté de l'offre. |
| Technique | <ul style="list-style-type: none"> • Absence de technologies d'amélioration de l'efficacité énergétique abordables et adaptées aux conditions locales. • Capacités insuffisantes pour identifier, concevoir, mettre en œuvre et maintenir des investissements en faveur de l'efficacité énergétique. |

Des progrès sont également nécessaires dans le secteur du bâtiment. Dans la plupart des pays, les bâtiments englobent 40 % de l'énergie consommée. Il s'agit d'un des secteurs où la consommation d'énergie peut être réduite le plus efficacement, les économies étant estimées à 1 509 millions de tonnes d'équivalent pétrole d'ici à 2050, soit à peu près l'équivalent de l'offre d'énergie primaire de la Russie, du Japon et de l'Allemagne réunis. Les gouvernements doivent renforcer les exigences des codes et normes de construction en matière d'efficacité énergétique, promouvoir l'adoption de logements à faible consommation d'énergie et améliorer le contrôle des performances énergétiques des structures existantes.

De nombreux gouvernements demandent de l'aide pour pouvoir mettre en œuvre les 25 recommandations en matière d'efficacité énergétique selon des modalités adaptées à leur contexte national. Un manque d'expérience ou des connaissances insuffisantes sur la manière d'aborder des questions comme la planification d'une stratégie de mise en œuvre, la consultation des parties prenantes, l'affectation des ressources en temps opportun, l'organisation de formations, et la communication des résultats peuvent empêcher les pays d'appliquer ces recommandations de manière efficace. L'AIE publie une série intitulée « Policy Pathway » qui fournit des orientations sur les grandes étapes de la mise en œuvre des différentes politiques d'efficacité énergétique.

Dans cette série, la publication relative à la certification des performances énergétiques des bâtiments constitue un guide pratique pour les décideurs et les parties prenantes concernées, qui peuvent y trouver des informations sur les principaux aspects de la mise en œuvre d'un programme de certification de la performance énergétique des bâtiments (AIE, 2010c). Ce type de certification vise à évaluer l'efficacité énergétique des bâtiments, qu'ils soient résidentiels, commerciaux ou publics.

La certification des performances est un moyen d'action essentiel qui peut aider les gouvernements à réduire la consommation d'énergie des bâtiments. Ce guide, qui expose les expériences de différents pays à travers le monde, présente des exemples de bonnes pratiques et indique les dix étapes à suivre impérativement pour mettre en œuvre des programmes de certification des performances énergétiques des bâtiments.

Plus de 50 pays à travers le monde appliquent des programmes d'amélioration de l'efficacité énergétique des équipements d'utilisation finale, notamment des équipements et appareils électriques utilisés dans les secteurs résidentiel, commercial et industriel. Une autre de ces Policy Pathways fournit aux décideurs et aux acteurs concernés des recommandations claires pour respecter les meilleures pratiques en matière de programmes de normes et d'étiquetage relatifs aux appareils et équipements de consommation finale, à l'aide d'un dispositif de suivi, de vérification et d'exécution. L'amélioration de la conception et de la mise en œuvre de ces dispositifs de suivi, de vérification et d'exécution permet d'atténuer quelque peu le degré élevé de non-conformité qui a compromis l'efficacité de certains programmes par le passé (AIE, 2010d).

L'amélioration de l'efficacité énergétique nécessite une technologie et des mécanismes de marché appropriés. Mais des structures juridiques, institutionnelles et de coordination sont tout aussi indispensables pour encourager les efforts. S'appuyant sur l'expérience de centaines de spécialistes internationaux, un guide de la gouvernance donne des conseils utiles aux responsables de l'action publique et aux professionnels pour l'établissement de structures efficaces de soutien à la mise en œuvre d'une politique nationale et infranationale en matière d'efficacité énergétique (AIE, 2010e).

Stimuler l'innovation et les mesures en faveur des technologies vertes

L'innovation est un moteur essentiel de la transition vers une économie verte. Sans innovation efficace, il sera très difficile et très coûteux de régler les problèmes environnementaux mondiaux comme le changement climatique. La fixation d'un prix à payer pour la pollution par le biais de mesures comme les taxes environnementales et les permis négociables est une condition nécessaire pour encourager l'innovation « verte » (OCDE, 2010a). Toutefois, cela risque d'être insuffisant, et les politiques environnementales ciblées doivent être complétées par un cadre d'action plus large.

Selon l'un des principaux enseignements de la Stratégie de l'OCDE pour l'innovation, les pays qui misent sur l'innovation et l'entrepreneuriat pour trouver de nouvelles sources de croissance auront davantage de chances de tirer leur épingle du jeu et d'échapper à la récession (OCDE, 2011a). Les gouvernements peuvent apporter leur pierre à l'édifice en instaurant un environnement propice, et en préservant les moteurs de l'innovation. Le développement de nouvelles sources de croissance est tributaire de l'investissement dans l'innovation et la formation. Les décideurs doivent montrer la voie en exploitant eux-mêmes de nouvelles sources de croissance, et en instaurant le cadre réglementaire nécessaire pour réaliser des percées et surmonter l'inertie qui y fait obstacle, qu'elle soit institutionnelle ou économique.

Pour faire émerger de nouvelles idées et de nouveaux modèles institutionnels et économiques en faveur de la croissance verte, l'innovation devra probablement s'accompagner d'un processus de destruction créatrice. Il peut notamment être nécessaire de redéfinir les mécanismes de distribution de l'électricité afin d'améliorer l'efficacité énergétique en diminuant les pertes de transport, qui représentent près de 9 % de la production électrique mondiale ; d'intégrer des sources d'énergie bas carbone décentralisées et variables ; de faciliter un contrôle actif du réseau et d'écarter les pointes pour mieux utiliser les actifs à forte intensité de capital ; et d'impliquer les consommateurs dans la gestion de la demande par le biais de signaux-prix. Pour ce faire, il faudra recourir à des politiques de promotion de l'innovation en faveur de technologies comme les lignes à haute tension en courant continu, les

plateformes de technologies de l'information et de la communication (TIC), et les compteurs intelligents pour n'en citer que quelques-unes, mais également de nouveaux modèles réglementaires et de marché.

La normalisation des spécifications techniques des technologies convergentes est nécessaire pour encourager l'innovation verte (OCDE, 2011a). Alors que certains modèles économiques en faveur de l'innovation verte continuent de se faire jour, l'engagement des gouvernements dans le processus de normalisation peut catalyser l'implication des acteurs concernés. Définir un ensemble commun de spécifications bien conçues, concernant notamment l'interopérabilité des réseaux intelligents ou des connecteurs entre véhicules électriques et infrastructures de recharge, pourrait favoriser le développement d'un marché, stimuler l'investissement privé et éviter les incompatibilités techniques. Par exemple, le National Institute of Standards and Technology (NIST), agence du ministère du Commerce des États-Unis, coordonne un projet de normes d'interopérabilité qui a pour but d'élaborer les spécifications indispensables à la mise en place d'un réseau intelligent fiable et robuste. Le projet du NIST se compose de trois phases : identifier les lacunes des normes existantes et les priorités en ce qui concerne leur révision ou l'élaboration de nouvelles normes ; établir un partenariat public-privé formel pour favoriser les progrès à long terme ; et concevoir et instaurer un cadre pour les essais et la certification.

Encadré 2.4. La Plateforme technologique des énergies bas carbone

Créée en réponse à une demande du Sommet du G8 de L'Aquila, en Italie, et des ministres de l'AIE, la Plateforme technologique internationale des énergies bas carbone (International Low-Carbon Energy Technology Platform) vise à encourager, accélérer et systématiser l'action en faveur du développement, du déploiement et de la diffusion de ce type de technologies énergétiques. Pour ce faire, elle se concentre sur les activités pratiques menées aux niveaux international, national et régional, afin de :

- mettre en contact les différentes parties prenantes en vue de catalyser les partenariats et les activités susceptibles de renforcer l'élaboration et la mise en œuvre des stratégies et feuilles de route technologiques aux niveaux régional et national ;
- mettre en commun les expériences en matière de technologies et de politiques optimales, et renforcer les compétences et les moyens en contribuant à planifier la transition technologique de façon à favoriser une diffusion plus efficace et efficiente des technologies ;
- examiner les progrès du déploiement des technologies énergétiques bas carbone, afin d'identifier les principales lacunes dans les politiques et la coopération internationale y afférentes, et soutenir les efforts visant à combler ces lacunes dans le cadre d'espaces de dialogue internationaux et régionaux.

Cette plateforme technologique n'est pas une institution ou un organisme officiel, mais un forum informel qui engage des activités et partage des informations sur l'action publique entre les acteurs intéressés souhaitant contribuer à accélérer la diffusion des technologies énergétiques bas carbone. Elle vise à renforcer la collaboration entre les gouvernements, les entreprises, le secteur financier, les organes d'experts, les organisations internationales et la société civile. L'accent est mis sur les mesures pratiques et la création de réseaux par le biais d'un large éventail d'activités relevant de l'une des quatre grandes catégories suivantes :

- Collaborations à l'initiative des pays
- Déploiement technologique via l'élaboration de feuilles de route et de stratégies
- Articulation avec d'autres initiatives de collaboration internationale
- Avancement du déploiement technologique, examen de l'action publique, analyse de la RD-D

Les politiques gouvernementales doivent garantir des procédures de sélection concurrentielles, se concentrer sur les projets qui servent le mieux les objectifs de l'action publique, éviter de favoriser les opérateurs en place, assurer une évaluation rigoureuse de l'impact des mesures prises et limiter les coûts. Parmi les approches éprouvées figurent les engagements pluriannuels, l'indépendance des agences

prenant les décisions de financement, le recours aux évaluations par les pairs et à d'autres procédures concurrentielles fondées sur des critères clairs pour le choix des projets, et les paiements axés sur les résultats obtenus et non sur la récupération des coûts (OCDE, 2011a). Les politiques de soutien public doivent également être conformes aux engagements internationaux existants, notamment dans le cadre de l'Organisation mondiale du commerce (OMC).

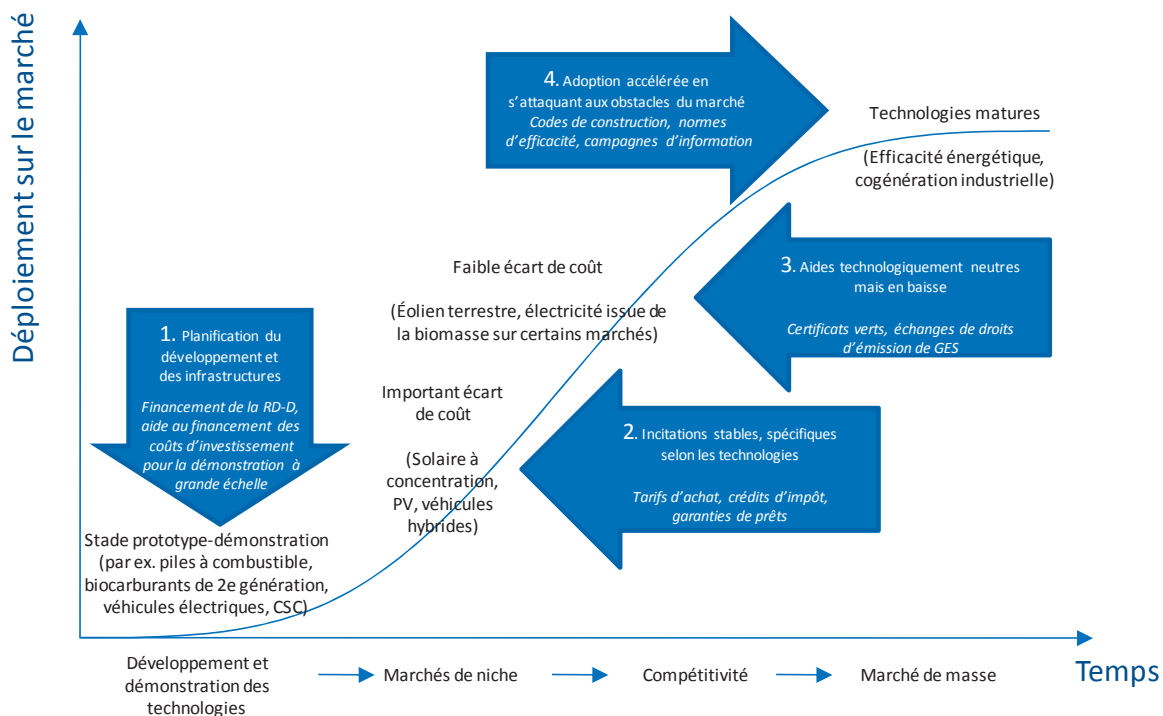
Un certain nombre de travaux de l'OCDE soulignent que l'innovation est essentielle pour avancer sur la voie de la croissance verte. Ils examinent par exemple l'éco-innovation dans l'industrie (OCDE, 2010b) ; les technologies de l'information et de la communication plus vertes et plus intelligentes (OCDE, 2010c) ; et la transition vers une économie sobre en carbone (OCDE, 2010d). Une autre étude démontre que le développement des technologies vertes s'accélère considérablement dans la lutte contre la pollution atmosphérique et dans le secteur des énergies renouvelables, comme en témoigne le nombre de brevets (OCDE, 2010e). Sont résumées ci-après certaines conclusions issues de la publication intitulée *Fostering Innovation for Green Growth*, qui revêtent une importance particulière pour la dimension énergétique de la croissance verte :

- Des investissements publics dans la recherche sont nécessaires pour contribuer à abaisser les coûts de l'innovation verte, élargir la portée des innovations technologiques et créer de nouvelles opportunités.
- L'action publique doit encourager l'expérimentation de manière à faire apparaître de nouvelles options pouvant contribuer à renforcer la performance énergétique au moindre coût. Pour faire ressortir les solutions les plus performantes, une concurrence nationale et mondiale vigoureuse doit donc s'instaurer entre innovations et technologies alternatives.
- Lorsque les efforts privés risquent de ne pas suffire à eux seuls pour permettre la commercialisation des technologies, l'action publique, notamment le soutien gouvernemental, peut être nécessaire pour surmonter les défaillances et les obstacles du marché, comme la prépondérance des modèles économiques et des technologies déjà en place. La principale défaillance du marché réside dans le fait que les risques et les délais auxquels l'industrie est confrontée avant de commencer à toucher des bénéfices peuvent être trop lourds à supporter sans l'aide du gouvernement. Toutefois, ces politiques doivent être élaborées avec soin pour éviter toute appropriation par des intérêts catégoriels, et elles doivent être régulièrement évaluées pour s'assurer qu'elles sont efficaces et efficientes dans la satisfaction des objectifs de la politique publique.
- Les pays voudront probablement faire porter leurs efforts en priorité sur les domaines dans lesquels ils disposent de capacités et d'une certaine masse critique, et se concentrer sur les technologies et les innovations vertes qui sont particulièrement pertinentes dans le contexte national. Dans les autres domaines, la collaboration internationale sera un moyen d'accéder à des recherches utiles et de travailler main dans la main pour trouver des solutions aux problèmes internationaux (encadré 2.4). En même temps, la concurrence internationale sera essentielle pour tirer les prix de l'innovation verte vers le bas et bénéficier d'un processus mondial d'expérimentation.

Un effort concerté de la communauté internationale en faveur des innovations vertes étoffera considérablement l'éventail d'options disponibles. Bon nombre des technologies énergétiques bas carbone les plus prometteuses sont actuellement plus coûteuses que celles utilisant des combustibles fossiles. La plupart des nouvelles technologies auront, à un moment ou à un autre, besoin à la fois d'être « poussées » par les activités de recherche, de développement et de démonstration (RD-D) et d'être « tirées » par le déploiement sur le marché. Comme le montre le graphique 2.3, une série de mesures seront nécessaires pour cibler l'écart de compétitivité des coûts (AIE, 2010a) :

- Pour les technologies prometteuses mais non encore parvenues à maturité (stade 1), les pouvoirs publics doivent soutenir la recherche et les projets de démonstration à grande échelle, et commencer à évaluer les besoins en matière d'infrastructures et de réglementation.
- Pour les technologies qui sont techniquement démontrées mais nécessitent un soutien financier supplémentaire (stade 2), les pouvoirs publics doivent aider aux dépenses d'investissement ou instaurer des incitations spécifiques aux technologies, comme des tarifs d'achat, des crédits d'impôt ou des garanties de prêts, ainsi que des cadres réglementaires ou des normes, de manière à créer un marché pour ces technologies.
- Pour les technologies sur le point de devenir compétitives (stade 3), les gouvernements peuvent fournir des incitations neutres sur le plan technologique, qui peuvent être retirées progressivement dès lors que la compétitivité sur le marché est atteinte.
- Pour les technologies qui sont déjà compétitives (stade 4), les pouvoirs publics peuvent contribuer à attirer les investissements publics et privés en éliminant entre autres les obstacles en matière de marché et d'information, et en élaborant des politiques et mesures d'intervention efficaces.
- Dans la pratique, de nombreuses technologies se trouvent à deux ou plusieurs stades de développement à la fois. Les interventions des pouvoirs publics doivent être conçues en conséquence, et dans certains cas soutenir en même temps les quatre phases de développement technologique.

Graphique 2.3. Politiques de soutien aux technologies énergétiques bas carbone



Remarque : ce graphique se fonde sur une généralisation des classifications des technologies ; la plupart des technologies, à un moment ou à un autre, rentrent dans plus d'une catégorie.

Source : AIE (2010), *Energy Technology Perspectives 2010*.

Les objectifs prioritaires devraient porter sur la réduction des risques, la stimulation du déploiement et l'abaissement des coûts. Les données disponibles tendent à montrer qu'une grande partie des innovations majeures sont le fait de nouvelles entreprises qui remettent en cause les modèles économiques en place. Aussi les mesures prises par les pouvoirs publics pour lever les obstacles à l'entrée et pour soutenir la croissance des nouvelles entreprises ont-elles un rôle important à jouer dans le développement de technologies énergétiques bas carbone.

La gouvernance de la propriété intellectuelle a une influence majeure sur les possibilités de commercialisation des nouvelles technologies. L'acquisition par le secteur privé de la propriété intellectuelle issue de la R-D financée sur fonds publics est un puissant outil de commercialisation des résultats de la recherche. L'expérience des États-Unis montre que les gouvernements devraient prendre des mesures pour s'assurer que la propriété intellectuelle issue de la recherche publique soit transférée efficacement au secteur privé. Le Bayh-Dole Act (1980) a officiellement confié la responsabilité du transfert technologique aux laboratoires publics, et a attribué les droits de propriété intellectuelle (DPI) aux chercheurs, même lorsque le projet est financé sur des fonds publics. Bien qu'initialement limité aux universités et aux petites entreprises, son champ d'application a été depuis progressivement étendu. Ces changements de politique ont incité les organismes privés et les pouvoirs publics à rechercher des partenariats de RD-D. Popp (2006) a examiné les citations de brevets dans 11 catégories de technologies énergétiques, et a constaté qu'après l'entrée en vigueur de la loi sur le transfert technologique au début des années 80, les brevets privés citant des brevets publics sont devenus les plus cités, ce qui suggère un transfert fructueux des résultats de la recherche publique vers le secteur privé (AIE, 2011e).

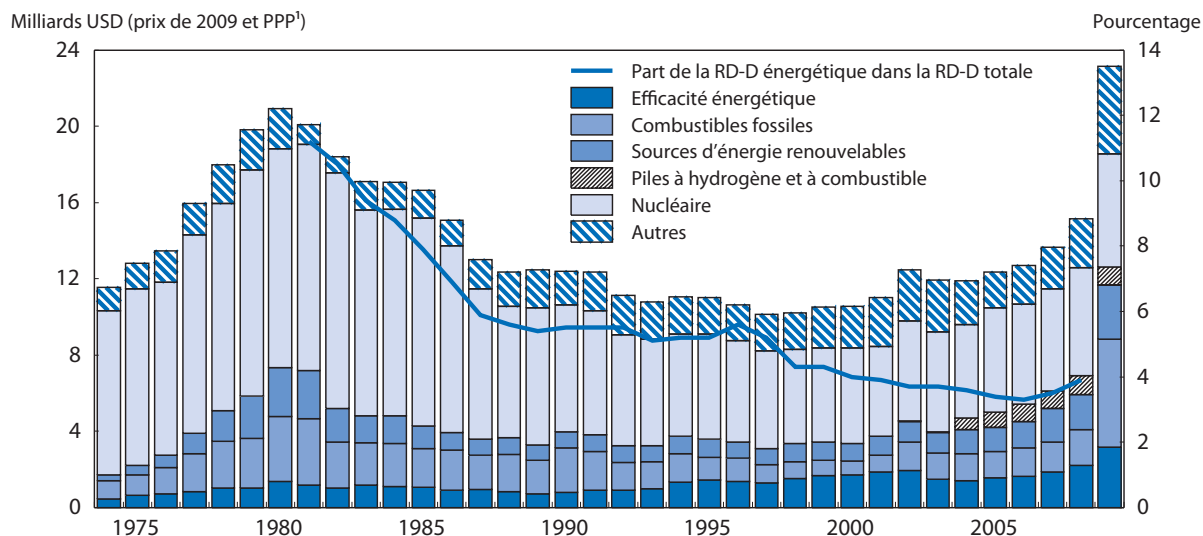
Dépenses de RD-D dans l'énergie

Pour atteindre l'objectif de réduction des émissions de 50 %, le financement public de la RD-D axée sur les technologies bas carbone devra être deux à cinq fois supérieur aux niveaux actuels (AIE, 2010a). Ce message est pris au sérieux par de nombreux pays. Les pays du Forum des économies majeures et de l'AIE sont convenus d'accroître spectaculairement et de coordonner les investissements du secteur public dans la RD-D axée sur les technologies bas carbone, en vue de doubler les investissements d'ici à 2015. Toutefois, il ne suffira pas d'accroître le financement pour fournir les technologies requises. Les programmes et les politiques de RD-D actuellement en vigueur doivent être améliorés en adoptant les meilleures pratiques en matière de conception et de mise en œuvre. Ces pratiques pourront consister notamment à élaborer des programmes stratégiques visant à assurer l'adéquation entre les priorités des politiques nationales et les moyens disponibles ; procéder à une évaluation rigoureuse des résultats et à un éventuel ajustement des mesures de soutien ; ainsi que resserrer les liens entre l'administration publique et l'industrie, et entre le monde des sciences fondamentales et celui de la recherche appliquée dans le domaine de l'énergie afin d'accélérer l'innovation.

Davantage d'investissements dans la RD-D axée sur les technologies énergétiques bas carbone sont nécessaires à tous les stades du développement, y compris sous la forme de financements publics directs, de subventions, et d'investissements du secteur privé. Après des années de stagnation, les dépenses publiques consacrées aux technologies énergétiques bas carbone ont progressé. Les niveaux actuels demeurent toutefois bien inférieurs à ce qui serait nécessaire pour atteindre les objectifs de croissance verte. Les données relatives aux dépenses du secteur privé sont très incertaines.

Graphique 2.4. Dépenses publiques de RD-D dans les pays membres de l'AIE

1974-2008



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

Source : Bases de données de l'AIE, cycle 2010.

Les budgets publics de RD-D énergétique des pays membres de l'AIE ont diminué entre le début des années 80 et les années 90, passant de 9 milliards USD en 1980 à 8 milliards USD en 1997 (graphique 2.4). Cette baisse est liée aux difficultés de l'industrie nucléaire et à la diminution des prix du pétrole entre 1985 et 2002. Depuis 1998, les dépenses publiques de RD-D énergétique sont reparties à la hausse, notamment entre 2005 et 2008. En 2008, elles ont atteint quelque 12 milliards USD. La part de la RD-D énergétique dans la RD-D totale a diminué, passant de 11 % en 1985 à environ 3 % en 2006, mais elle semble également repartir à la hausse.

Les politiques de croissance verte dans certains secteurs énergétiques

La présente section examine les politiques technologiques eu égard à trois composantes clés d'une stratégie de croissance verte en faveur de l'énergie — l'électricité, les énergies renouvelables et les transports.

Secteur de l'électricité

Un nouveau cycle d'investissement dans la production d'électricité s'annonce dans la plupart des pays de l'OCDE. C'est l'occasion ou jamais d'instaurer des politiques qui aboutiront à un portefeuille de production plus propre et plus efficace, qui aura un impact significatif sur le secteur énergétique et l'environnement au cours des 40 à 50 prochaines années. Toutefois, les nombreuses incertitudes inhérentes au secteur de l'électricité exposent encore les investisseurs à des risques susceptibles de conduire à un sous-investissement — trop restreint, trop tardif, au mauvais endroit et dans la mauvaise technologie.

Le vieillissement des centrales existantes et, à terme, leur remplacement sont inévitables. Dans la plupart des pays de l'OCDE, la crise pétrolière a entraîné une augmentation considérable des

investissements dans les années 70. La part du pétrole a diminué au profit du charbon et du nucléaire dans le portefeuille de production de nombreux pays. La plupart de ces centrales approchent aujourd'hui du terme de leur durée de vie technique. Toutefois, des investissements en faveur de la rénovation et de la modernisation de ces installations peuvent permettre d'allonger leur durée de vie et d'améliorer leurs capacités de production. Il peut être commercialement intéressant de retarder le processus de remplacement, surtout en présence d'incertitudes quant au rythme d'évolution de la réglementation environnementale. Les politiques doivent être suffisamment solides pour aboutir à la fermeture, dans les meilleurs délais, des centrales les plus polluantes et les moins efficaces.

La libéralisation des marchés de l'électricité s'avère extrêmement bénéfique si elle est bien conçue et mise en œuvre et qu'elle est renforcée par un engagement continu des pouvoirs publics. En fait, des marchés de l'électricité concurrentiels où les prix reflètent les coûts constituent un puissant instrument pour bien équilibrer les systèmes énergétiques en termes d'efficacité économique, de fiabilité et de responsabilité environnementale. La restructuration des marchés de l'électricité est l'une des incertitudes auxquelles doivent faire face les investisseurs, mais les risques peuvent être grandement réduits lorsque des marchés concurrentiels et liquides ont la possibilité de se développer. Autres incertitudes en matière d'investissement : l'ambiguïté quant aux futures contraintes concernant les émissions de CO₂ et la tarification du carbone qui leur est associée, l'autorisation des centrales électriques, les problèmes relatifs à l'acceptation de l'énergie nucléaire, l'opposition locale aux nouvelles infrastructures énergétiques, et le soutien public à des technologies de production spécifiques. L'action des pouvoirs publics est nécessaire pour réduire significativement l'incertitude politique. Cela permettrait d'instaurer des marchés concurrentiels efficaces et de donner des orientations politiques solides dans les domaines dans lesquels les marchés ne sont pas en mesure de le faire, comme la prise en compte des coûts environnementaux. Les pouvoirs publics doivent également clarifier et simplifier les procédures d'autorisation des centrales électriques afin d'accélérer l'approbation des nouvelles unités de production (AIE, 2007a).

L'une des décisions les plus difficiles pour les investisseurs concerne le choix de la technologie, qui a manifestement des répercussions sur l'environnement et sur la sécurité de l'approvisionnement. En outre, un portefeuille de production bien diversifié, conçu pour assurer un approvisionnement efficace aujourd'hui et à l'avenir, devra intégrer plusieurs technologies. Ainsi, le choix des investisseurs dépend de plusieurs facteurs et il est toujours effectué en tenant compte des bénéfices potentiels. Une toute petite modification des facteurs de coûts essentiels, comme les coûts d'investissement, le prix des combustibles, le coût des émissions de CO₂ et les taux d'utilisation, peut changer considérablement le classement relatif des technologies en termes de coûts totaux de production lissés sur la durée de vie totale de la centrale. Des marchés de l'électricité, des combustibles et des émissions de CO₂ qui fonctionnent bien incitent fortement les investisseurs à diversifier les technologies et à opter pour des technologies propres, bien que la diversification soit évidemment limitée aux options technologiques réellement disponibles. Les politiques publiques jouent un rôle essentiel dans le maintien de la diversité des options possibles, en soutenant la RD-D axée sur les nouvelles technologies et en mettant en œuvre des politiques ainsi qu'une réglementation efficaces, comme celles qui régissent la concurrence sur le marché, l'accès aux réseaux et les tarifs.

Un marché bien conçu, une réglementation efficace, l'existence d'une concurrence, une politique environnementale claire à long terme : voilà des facteurs essentiels au bon fonctionnement des marchés de l'électricité. Un marché concentré fait courir le risque que les entreprises occupant une position dominante diffèrent les nouveaux investissements afin de tirer les prix vers le haut et d'augmenter leurs bénéfices — des résultats préjudiciables au bien-être public à terme. Une telle stratégie ne peut réussir à long terme que si les entreprises dominantes peuvent, dans le même temps, faire obstacle aux investissements de leurs concurrents. Aussi est-il important de créer des conditions favorables à l'entrée de concurrents sur le marché, et notamment des règles et une conception du marché claires, efficaces, et qui assurent un traitement équitable de tous les acteurs. À cette fin, les organismes de régulation et les gestionnaires de réseau de transport indépendants jouent un rôle essentiel dans l'instauration de règles

commerciales et la garantie d'un accès équitable aux réseaux. Leur rôle doit être bien distinct de celui des producteurs et des distributeurs d'électricité.

Encadré 2.5. Action des pouvoirs publics en faveur des réseaux électriques intelligents

Les systèmes de production d'électricité du monde entier font face à un certain nombre de défis, comme des infrastructures vieillissantes, une hausse continue de la demande, l'intégration d'un nombre croissant d'énergies renouvelables variables et de véhicules électriques, la nécessité d'améliorer la sécurité de l'approvisionnement et celle de réduire les émissions de carbone. Les technologies de réseaux intelligents permettent de relever ces défis et de développer un approvisionnement énergétique plus propre, mais également plus économe en énergie, plus abordable et plus durable.

Ces défis doivent également être relevés en tenant compte de l'environnement réglementaire technique, financier, et commercial propre à chaque région. Étant donné le caractère extrêmement réglementé du système de production d'électricité, les promoteurs des réseaux intelligents doivent veiller à dialoguer avec l'ensemble des acteurs impliqués dans les systèmes de production électrique, comme les fabricants d'équipement, les gestionnaires de réseau, les défenseurs des consommateurs et les consommateurs eux-mêmes, afin de concevoir des solutions techniques, financières et réglementaires sur mesure permettant de tirer pleinement parti du potentiel de ces réseaux.

Des projets pilotes à grande échelle doivent être lancés d'urgence dans toutes les régions du monde afin de tester différents modèles économiques et les adapter aux conditions locales. Les pays et régions utiliseront les réseaux intelligents à différentes fins : les économies émergentes pourraient passer directement aux infrastructures électriques intelligentes, tandis que les pays de l'OCDE investissent déjà dans l'amélioration progressive des réseaux existants et dans des projets pilotes à petite échelle.

Les systèmes réglementaires et de marché actuels peuvent faire obstacle à la démonstration et au déploiement des réseaux intelligents. Les modèles réglementaires et de marché — comme ceux régissant l'investissement dans les systèmes, les prix et la participation des clients — doivent évoluer dans la mesure où les technologies offriront de nouvelles possibilités au fil du déploiement progressif à long terme des réseaux intelligents.

Une collaboration internationale accrue est nécessaire pour partager les expériences en matière de programmes pilotes, exercer un effet de levier sur les investissements nationaux dans le développement technologique, et concevoir pour ces réseaux des normes technologiques communes qui permettent d'optimiser et d'accélérer le développement et le déploiement de ces technologies tout en réduisant les coûts pour l'ensemble des acteurs.

Un certain nombre de pays prennent déjà des mesures. Par exemple, la Corée a présenté sa feuille de route relative au déploiement d'un réseau intelligent en janvier 2010, et elle a investi 230 millions USD dans la réalisation d'un démonstrateur sur l'île de Jeju. Elle prévoit d'accroître ses investissements en faveur de la diffusion des technologies de réseaux intelligents une fois qu'elle aura développé de nouveaux modèles économiques à l'aide de ce démonstrateur. Par ailleurs, la Loi relative au déploiement du réseau intelligent a été approuvée par le Parlement coréen en avril 2011. Cette loi jette les bases d'un accroissement des investissements dans le développement et la diffusion des technologies de réseaux intelligents. En 2011, les autorités réglementaires italiennes (Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas) ont récompensé huit projets, financés par les tarifs, visant à faire la démonstration en vraie grandeur, sur des réseaux de distribution moyenne tension actifs, des solutions avancées d'automatisation et de gestion indispensables à l'intégration de la production décentralisée dans ces réseaux. Au cours des cinq dernières années, le ministère du Développement économique a accordé plus de 50 millions EUR aux activités de R-D consacrées aux réseaux intelligents et plus de 200 millions EUR à la démonstration des spécificités des réseaux intelligents et à la modernisation des réseaux dans les régions du sud de l'Italie.

Les échanges et la coopération par-delà les frontières administratives sont également des avantages importants de la libéralisation. Les ressources peuvent être utilisées plus efficacement, ce qui permet aux

systèmes coopérants de fonctionner de manière fiable avec des marges de réserve inférieures. Les échanges peuvent être particulièrement utiles pour favoriser une meilleure pénétration des énergies renouvelables intermittentes sur le marché, en lissant la variabilité de l’approvisionnement. Les échanges transfrontaliers sont limités par les capacités de transport disponibles, mais en présence d’un marché correctement conçu, les avantages incitent à investir dans de nouvelles interconnexions de transport. Ces avantages sont encore plus significatifs pour les systèmes de moindre envergure ; en effet, sur les petits marchés, les échanges transfrontaliers peuvent constituer le seul moyen d’intensifier la concurrence entre les producteurs locaux.

La publication intitulée *Sectoral Approaches in Electricity: Building Bridges to a Safe Climate* montre de quelle manière le cadre de l’action climatique internationale pourrait soutenir efficacement une transition vers des systèmes électriques à faibles émissions de CO₂ dans les économies émergentes, sans qu’il soit nécessaire d’attendre que ces pays prennent des engagements nationaux. Parmi les moyens envisageables figurent des objectifs sectoriels pour les pays en développement, de nouveaux mécanismes de marché fondés sur l’allocation de crédits ou les plafonnements sectoriels, et un soutien international en faveur du partage des meilleures technologies et pratiques dans les secteurs prioritaires comme celui de l’électricité (AIE, 2009d).

Les pouvoirs publics sont les mieux placés pour évaluer, à grande échelle, les risques et les coûts environnementaux associés à la production d’électricité, et les éventuelles conséquences macro-économiques résultant d’une trop grande dépendance aux importations de gaz naturel, par exemple. Cela dit, ils ne sont pas nécessairement les mieux équipés pour gérer concrètement les risques en choisissant les technologies et les portefeuilles de production les plus adaptés. De nombreuses technologies propres et non tributaires d’importations, comme certaines technologies renouvelables, le captage et le stockage du carbone, et l’énergie nucléaire, nécessitent un soutien des pouvoirs publics qui reflète les avantages supplémentaires pour l’environnement, et ceux liés à la diminution de la dépendance aux importations. Les investisseurs privés, qui ont une longue expérience de la gestion des risques du marché, sont mieux placés pour évaluer quels sont les meilleurs choix et combinaisons possibles de technologies, en tenant compte de leur maturité et de leur efficacité. Les pouvoirs publics et les investisseurs privés sont complémentaires. Le rôle principal du gouvernement est d’introduire, par le biais des instruments de marché, des incitations qui favorisent les décisions d’investissement permettant d’atteindre les objectifs politiques en matière d’environnement, de sécurité énergétique et de croissance économique. Des instruments de marché sont déjà disponibles pour plusieurs objectifs environnementaux ; ils ont prouvé leur potentiel d’amélioration de la rentabilité et sont compatibles avec les marchés de l’électricité libéralisés (AIE, 2007a).

Énergies renouvelables

Les sources d’énergie renouvelables jouent un rôle essentiel dans l’adoption d’une trajectoire énergétique plus sûre et plus durable. Leur potentiel est incontestablement important, mais le degré et le rythme auxquels progresse leur contribution à la satisfaction des besoins énergétiques mondiaux sont étroitement liés à la capacité de l’action publique à stimuler les progrès technologiques et à rendre le coût de ces énergies compétitif. L’AIE inclut dans sa définition des sources d’énergie renouvelables le solaire, l’éolien, la biomasse, la fraction renouvelable des déchets municipaux, la géothermie, l’hydraulique, les énergies hydrolienne, marémotrice et houlomotrice, et les biocarburants (AIE, 2007b).

En termes absolus, le secteur de l’électricité est celui qui renferme le plus grand potentiel d’accroissement de l’utilisation des énergies renouvelables. Les énergies renouvelables affichent généralement une intensité de capital supérieure à celle des combustibles fossiles ; aussi les investissements nécessaires sont-ils très importants. Les investissements dans la production d’électricité d’origine renouvelable sont estimés à 5 700 milliards USD (en USD de 2009) pour la période 2010-2035. C’est en Chine que les besoins d’investissement sont les plus importants. La Chine est devenue le

premier producteur d'électricité éolienne et photovoltaïque, et elle est également un important fournisseur d'équipements. Le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord offrent un immense potentiel pour le développement à grande échelle de l'énergie solaire, mais un grand nombre de difficultés commerciales, techniques et politiques doivent d'abord être résolues.

Seul un petit groupe de pays a réussi à mettre en place des mesures de soutien qui ont effectivement accéléré la diffusion des énergies renouvelables ces dernières années (AIE, 2008). Les pays membres de l'OCDE et de l'UE, qui ont généralement une plus longue expérience des politiques de soutien aux énergies renouvelables, prennent les mesures les plus efficaces en faveur de la production d'électricité à partir de « nouvelles » énergies renouvelables. Si l'on tient compte des énergies renouvelables plus matures, comme l'hydraulique, et des secteurs du chauffage et des transports, le tableau est plus varié, certains pays non membres de l'UE et de l'OCDE et les BRICS ayant également mis en œuvre des politiques relativement efficaces.

Dans beaucoup de pays, des barrières non économiques affaiblissent sensiblement l'efficacité des politiques de soutien aux énergies renouvelables et en majorent le coût, indépendamment du type de dispositif d'incitation. On peut citer par exemple les obstacles administratifs liés à l'aménagement du territoire et au choix des sites, le long délai d'obtention des autorisations, le manque de coordination entre les autorités compétentes, l'accès au réseau, le manque de formation et de capacités techniques, et l'acceptation sociale (AIE, 2008).

Globalement, l'efficacité et l'efficience des politiques en matière d'énergies renouvelables sont fonction de la cohérence des mesures et du respect des principes d'action clés énoncés ci-dessous :

- Mise en œuvre d'incitations transitoires, fondées sur la maturité de la technologie et diminuant au fil du temps, pour encourager l'innovation et faire en sorte que les technologies deviennent compétitives sur le marché.
- Nécessité de mettre en place un cadre de soutien prévisible et transparent pour attirer les investissements.
- Prise en charge adéquate des obstacles non économiques et des problèmes d'acceptation sociale, afin de stimuler le développement du marché.
- Prise en compte de l'impact de la pénétration à grande échelle des technologies des énergies renouvelables dans le système énergétique, en particulier sur les marchés de l'énergie libéralisés, du point de vue de l'efficacité économique globale et de la fiabilité du système.

Secteur des transports

Les transports constituent un secteur déterminant et problématique pour la transition vers la croissance verte. Ils représentent environ 19 % de l'énergie consommée dans le monde et près d'un quart des émissions de CO₂ liées à l'énergie. Si l'évolution actuelle se poursuit, ces facteurs auront augmenté de plus de 80 % d'ici à 2050. Les voitures et les poids lourds sont les principaux contributeurs, mais la part des transports aérien et maritime progresse également rapidement.

Un verdissement substantiel du secteur des transports nécessitera des mesures pour promouvoir à la fois la mise en œuvre des meilleures technologies disponibles, et le développement et le déploiement à plus long terme d'un éventail de nouvelles technologies. Il nécessitera également des actions fortes pour garantir l'adoption rapide de ces innovations et encourager une modification sensible des habitudes de déplacement (AIE, 2009).

Normes de consommation de carburant

La première priorité doit être la mise en œuvre de politiques de réduction de la consommation de carburant, fondées sur des technologies et des pratiques déjà rentables. Une réduction de 50 % de la consommation de carburant par kilomètre des véhicules utilitaires légers neufs à travers le monde sera possible d'ici à 2030 du fait d'améliorations technologiques graduelles et de l'hybridation, et elle sera vraisemblablement rentable, même si les cours du pétrole demeurent relativement bas. Des mesures sont nécessaires à la fois pour maximiser l'adoption de technologies efficaces, et tirer parti de leurs avantages afin de réduire la consommation. Les normes de consommation, complétées par des droits d'immatriculation des véhicules automobiles proportionnels aux émissions, peuvent jouer un rôle important dans les pays de l'OCDE, et c'est d'ailleurs déjà le cas. D'autres pays, notamment ceux dans lesquels l'utilisation des véhicules croît de manière substantielle, doivent adopter des mesures similaires. Tous les pays doivent actualiser ces normes au fil du temps plutôt que de laisser les mesures devenir caduques ou s'enliser. L'Initiative mondiale pour les économies de carburant vise à les aider dans ces domaines (Fondation FIA, 2011).

Encadré 2.6. Les biocarburants et le débat « nourriture ou énergie ? »

La hausse considérable du prix des produits agricoles entre 2006 et 2008 a suscité un débat au sujet de l'impact des biocarburants conventionnels sur les prix mondiaux des produits de base et la sécurité alimentaire. Ce débat est quelque peu retombé depuis. Des analyses récentes montrent que les biocarburants n'ont eu qu'un impact limité sur cette flambée des prix des produits de base, alors que la hausse des prix du pétrole et l'intervention des investisseurs financiers sur les marchés des produits de base, associées à des conditions météorologiques défavorables, ont probablement été les principaux moteurs de la hausse des prix des denrées alimentaires (Banque mondiale, 2010).

Aujourd'hui, environ 2 % (30 millions d'hectares) seulement des terres arables de la planète sont consacrées à la culture de matières premières destinées à la production de biocarburants. En outre, dans de nombreux cas, cette culture génère des coproduits qui sont utilisés pour produire de l'énergie ou nourrir le bétail (par exemple, 0,6 kg de drèches de distillerie séchées par litre de d'éthanol de maïs ; 0,85 kg de farine de soja par litre de biogazole de soja), ce qui réduit la demande nette de terre pour les biocarburants. La promotion des biocarburants devrait être menée de manière à encourager la productivité agricole et l'utilisation des terres dégradées. Leur impact sur la sécurité alimentaire demeure un sujet sensible. Un cadre d'action publique solide est nécessaire pour garantir que les biocarburants sont produits de manière durable en ce qui concerne la sécurité alimentaire ainsi que d'autres aspects environnementaux et économiques. Cela exige l'adoption de dispositifs solides de certification des biocarburants, fondés sur des indicateurs internationaux de développement durable, tels ceux actuellement élaborés par le Partenariat mondial pour les bioénergies. En outre, les technologies nécessitant peu de terres et de ressources, notamment les biocarburants avancés, doivent faire partie d'une approche intégrée, tout comme l'utilisation des déchets et résidus comme matières premières destinées à la production de biocarburants (AIE, 2011f).

Pour garantir le dynamisme et la durabilité du secteur agricole et faire en sorte qu'il puisse à l'avenir satisfaire la diversité de la demande de biomasse des différents secteurs, il est indispensable de procéder à des investissements substantiels dans la production agricole et les infrastructures rurales. La production durable de biocarburants doit être considérée comme un des aspects d'une gestion intégrée de l'utilisation des terres, comprenant la promotion de l'utilisation des terres dégradées parallèlement à la production de denrées alimentaires et autres produits. Les biocarburants peuvent jouer un rôle dans la création de revenus supplémentaires dans les zones rurales et susciter des investissements qui profiteront au secteur agricole dans son ensemble. L'intégration de la production de denrées alimentaires et de carburant doit être l'occasion de synergies permettant des améliorations globales de l'efficacité avec laquelle les ressources terrestres sont produites et utilisées.

Source : Banque mondiale (2010), *Placing the 2006/08 Commodity Price Boom into Perspective*, AIE (2011), *Technology Roadmap – Biofuels for Transport*.

Carburants alternatifs

L'éthanol tiré de la canne à sucre permet déjà de produire des biocarburants à bas coût (en fonction du prix des matières premières). Les biocarburants avancés (de seconde génération), comme les biocarburants provenant de déchets et de résidus, l'éthanol lignocellulosique et le biogazole issu de la filière BTL, semblent avoir le meilleur potentiel à long terme pour fournir des carburants durables émettant peu de gaz à effet de serre tout au long de leur cycle de vie. Toutefois, il est nécessaire d'intensifier la RD-D, ainsi que les mesures visant à réduire le risque d'investissement associé aux centrales de taille commerciale. Pour tous les biocarburants, il est indispensable de répondre à d'importantes questions concernant la durabilité, comme l'impact de la production sur la sécurité alimentaire, les écosystèmes sensibles, les gaz à effet de serre, et les aspects sociaux résultant du changement d'utilisation des terres (encadré 2.6).

Nouvelles technologies appliquées aux véhicules

Les mesures et initiatives visant à promouvoir les véhicules électriques et les véhicules hybrides rechargeables (VHR) et la poursuite du développement des moteurs à hydrogène sont extrêmement importantes. L'organisation du codéveloppement de la production des véhicules et des batteries, et de la mise en place des infrastructures de recharge, parallèlement à l'introduction d'incitations visant à garantir une demande suffisante des consommateurs pour soutenir la croissance du marché constitueront à court terme un défi majeur pour les pouvoirs publics (encadré 2.7). Une approche efficace peut consister à mener des programmes de démonstration dans certaines régions ou zones métropolitaines susceptibles d'être des précurseurs en la matière.

Les technologies avancées appliquées aux véhicules auront un impact important, surtout après 2020, non seulement sur les transports, mais également sur la manière dont les réseaux d'électricité sont structurés et gérés. Les véhicules électriques apparaissent de plus en plus comme une option intéressante, d'autant que le coût des batteries lithium-ion diminue. Il semble désormais que, dans un proche avenir, les batteries d'un véhicule purement électrique, produites en série, pourraient coûter seulement 500 USD /kWh, un prix suffisamment bas pour ramener le coût de la batterie à environ 15 000 USD pour un véhicule d'une autonomie de 150 kilomètres. Cela demeure néanmoins très cher. Mais les économies engendrées par la suppression du moteur à combustion interne, et avec le prix relativement bas de l'électricité remplaçant le carburant cela pourraient suffire à permettre aux véhicules électriques de remporter un succès commercial dans les cinq à dix années à venir, à condition d'être assortis d'une aide des pouvoirs publics, comme un soutien en faveur du développement d'infrastructures de recharge adaptées. Le coût du pétrole, le carburant actuel, sera également un facteur déterminant. Dans la mesure où l'impact des véhicules électriques sur les émissions de CO₂ dépend de l'intensité en carbone de la production d'électricité, il serait logique de commencer par déployer les véhicules électriques dans les régions qui émettent déjà peu de CO₂ ou se sont fermement engagées à aller dans ce sens (AIE, 2009e).

Les véhicules hybrides rechargeables représentent une étape potentiellement importante dans la transition vers les véhicules électriques. Du fait de l'augmentation des capacités de stockage des batteries des véhicules hybrides et de la possibilité de les recharger sur secteur, ces véhicules marquent un progrès significatif vers l'électrification des véhicules, qui repose de plus en plus sur la technologie hybride émergente. Pour de nombreux conducteurs, le fait de parcourir quotidiennement leurs premiers 40 kilomètres à l'électricité pourrait se traduire par une baisse spectaculaire de la consommation de carburant, à hauteur de 50 %, voire plus. Les VHR pourraient également nécessiter moins de nouvelles infrastructures que les véhicules purement électriques dans la mesure où ils ne dépendent pas seulement de l'électricité et peuvent également fonctionner uniquement avec du carburant liquide (AIE, 2009e).

Encadré 2.7. La stratégie de la France pour lancer les véhicules électriques

En octobre 2009, le gouvernement français s'est engagé à investir 1.5 milliard EUR dans le cadre de son plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables, d'une durée de dix ans, afin de mettre en circulation deux millions de véhicules hybrides rechargeables d'ici 2020. Cet investissement contribuera à financer :

- les subventions aux constructeurs et aux acheteurs, notamment un super-bonus de 5 000 EUR pour l'achat d'un de ces véhicules ;
- un réseau national de 4.4 millions d'installations de charge, dont 1 million en 2015 ;
- une contribution au projet industriel de recherche et production de batteries.

Ce plan comporte également des mesures de soutien, comme le fait de rendre obligatoires les équipements de recharge dans tous les immeubles neufs construits à partir de 2012. Afin de générer de la demande, il prévoit le lancement d'appels d'offre publics et privés, l'objectif étant de constituer une flotte de 100 000 véhicules d'ici 2015.

Les deux principaux constructeurs français, Renault et PSA Peugeot Citroën, se sont engagés à commercialiser des véhicules électriques d'ici 2012.

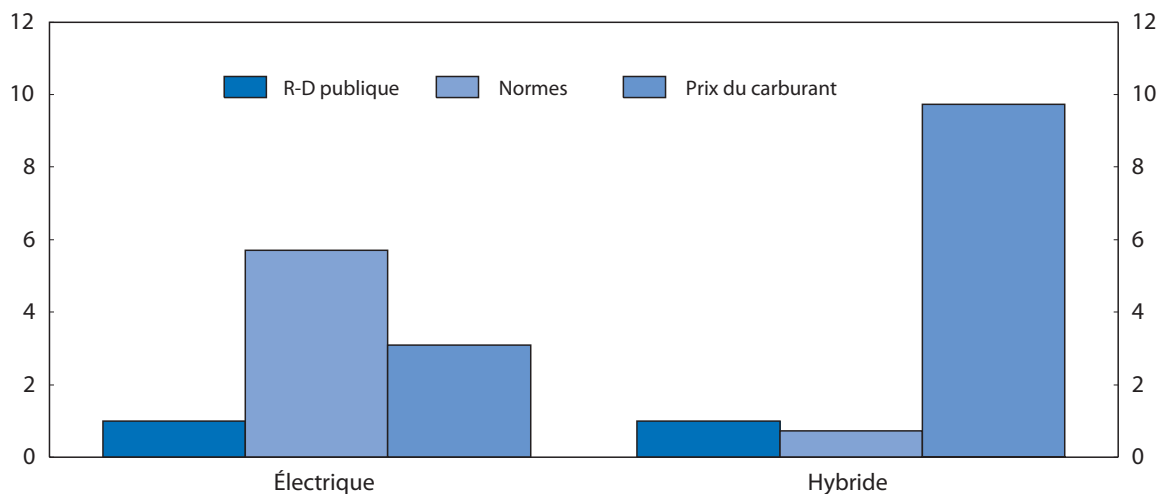
Le gouvernement a nommé un coordinateur interministériel du plan, qui travaillera en étroite collaboration avec les communes, les entreprises d'électricité, les constructeurs et les autres acteurs afin de coordonner tous les aspects du développement des véhicules électriques.

Source : Communiqué de presse du ministère de l'Écologie (1^{er} octobre 2009).

Une analyse récente de l'OCDE indique que des modifications relativement mineures d'une norme de performance ou du prix des carburants automobiles procureraient, en termes d'innovation, des avantages équivalents à une hausse proportionnellement beaucoup plus importante des budgets publics de R-D. Toutefois, il existe des différences significatives entre les types de technologies. Par exemple, dans le cas des véhicules électriques, le rôle des prix du carburant taxes comprises est négligeable, alors que celui des normes est important. À l'inverse, pour les véhicules hybrides, ce sont les prix du carburant taxes comprises qui sont importants, et non les normes. La R-D publique a une incidence bien plus significative pour les véhicules électriques que pour les véhicules hybrides (OCDE, 2011a).

Le graphique 2.5 montre l'importance d'une panoplie de mesures appropriée. Par rapport à des normes de performances ambitieuses ou à un soutien public substantiel à la recherche, les prix relatifs ont probablement un rôle d'autant moindre à jouer que l'écart de compétitivité entre la nouvelle technologie et la technologie existante (fonctionnant à l'essence et au gazole) est important. Alors qu'en théorie on pourrait fixer un prix suffisant pour induire un niveau équivalent d'innovation, une telle mesure risque d'être politiquement impraticable. En outre, même si une telle mesure était prise, les innovateurs potentiels ne la jugeraient probablement pas crédible à long terme.

Graphique 2.5. Effets de différents facteurs sur l'innovation dans le domaine des véhicules électriques et hybrides



Remarque : Pour faciliter l'interprétation, les élasticités ont été normalisées de manière que l'effet de la R-D soit égal à 1.

Source : OCDE (2011b), *Invention and Transfer of Environmental Technologies*.

Transferts modaux et modèles urbains verts

En plus des transformations apportées aux véhicules et aux carburants de demain, le transfert de certains transports de voyageurs et de fret vers des modes plus efficaces peut également avoir une incidence notable sur le verdissement du secteur et devrait être une priorité des pouvoirs publics. L'évolution vers une réduction de la dépendance aux déplacements motorisés privés devrait être une des premières priorités des villes à travers le monde, étant donné l'importance des co-bénéfices en termes de réduction de la congestion du trafic et des émissions polluantes, ainsi que de qualité de la vie.

Le transfert des transports de voyageurs vers des modes plus efficaces, comme les réseaux urbains ferrés ou d'autobus performants, peut jouer un rôle important. L'action publique doit être axée sur l'amélioration de l'aménagement urbain pour réduire les déplacements motorisés, en concentrant ses efforts sur les systèmes de transport en commun afin de les rendre beaucoup plus attractifs, et sur les infrastructures afin de faciliter les petits trajets à pied ou à vélo. Les villes en expansion rapide des pays en développement ont la possibilité de se diriger vers un développement beaucoup moins axé sur la voiture que celui qu'ont connu de nombreuses métropoles des pays de l'OCDE. Mais cela nécessitera des mesures et une volonté politique résolues, et un soutien en faveur d'autres modèles d'investissement.

Notes

- ¹ Les réductions en pourcentage correspondent à la différence entre les émissions des scénarios de référence et Blue Map en 2050 et ne reflètent donc pas la totalité de la contribution de chaque technologie par rapport au niveau de déploiement actuel.
- ² Le Cadre d'analyse de l'OCDE pour évaluer les politiques de la croissance verte aborde en détail les externalités environnementales et les principales défaillances du marché qui s'y attachent (de Serres, Murtin et Nicoletti, 2010). Il passe en revue les forces et faiblesses relatives de différents instruments d'action et panoplies de mesures en faveur de la croissance verte. Les questions liées à la mise au point et à la diffusion des technologies propres sont examinées. Sa taxonomie des moyens d'actions et sa liste de questions à poser dans le cadre d'une évaluation des politiques vertes constituent une ressource précieuse pour aider les décideurs à accomplir leur difficile mission de définition d'une stratégie intégrée.
- ³ Le G20 comprend le G8 — Allemagne, Canada, États-Unis, Fédération de Russie, France, Italie, Japon, Royaume-Uni, — plus l'Afrique du Sud, l'Arabie saoudite, l'Argentine, l'Australie, le Brésil, la Chine, la Corée, l'Inde, l'Indonésie, le Mexique, la Turquie et l'Union européenne.

Références

- AIE (Agence internationale de l'énergie) (2005), *Lessons from Liberalised Electricity Markets*, Energy Market Experience, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264109605-en
- AIE (2007a), *Tackling Investment Challenges in Power Generation in IEA Countries*, Energy Market Experience, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264030084-en.
- AIE (2007b), « Contribution of Renewables to Energy Security », *IEA Information Paper*, OCDE/AIE, Paris, disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/papers/2007/so_contribution.pdf.
- AIE (2008), *Deploying Renewables: Principles for Effective Policies*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264042216-en.
- AIE (2009a), *Implementing Energy Efficiency Policies: Are IEA Member Countries on Track*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264075696-en.
- AIE (2009b), *Energy Technology Transitions for Industry: Strategies for the Next Industrial Revolution*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264068612-en.
- AIE (2009c), « Technology Roadmap: Carbon Capture and Storage », OCDE/AIE, Paris, disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/papers/2009/CCS_Roadmap.pdf.
- AIE (2009d), *Sectoral Approaches in Electricity: Building Bridges to a Safe Climate*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264068735-en.

- AIE (2009e), *Transport, Energy and CO₂: Moving Toward Sustainability*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264073173-en.
- AIE (2010a), *Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/energy_tech-2010-en.
- AIE (2010b), « Energy Technology Roadmaps: A Guide to Development and Implementation », OCDE/AIE, Paris, disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/subjectqueries/keyresult.asp?KEYWORD_ID=4156.
- AIE (2010c), « Energy Performance Certification of Buildings: A Policy Tool to Improve Energy Efficiency », OCDE/AIE, Paris, disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/papers/pathways/buildings_certification.pdf.
- AIE (2010d), « Monitoring, Verification and Enforcement », Policy Pathway series, OCDE/AIE, Paris, disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=2290.
- AIE, (2010e), « Energy Efficiency Governance Handbook », OCDE/AIE, Paris ; disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/papers/2010/gov_handbook.pdf.
- AIE (2011a), *World Energy Outlook 2011 (WEO-2011)*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/weo-2011-en.
- AIE (2011b), *Harnessing Variable Renewables: A Guide to the Balancing Challenge*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264111394-en.
- AIE (2011c), « 25 Energy Efficiency Policy Recommendations », OCDE/AIE, Paris ; disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/subjectqueries/keyresult.asp?keyword_id=4122.
- AIE (2011d), *AIE Scoreboard 2011: Implementing Energy Efficiency Policy: Progress and challenges in IEA member countries*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264124653-en
- AIE (2011e), « Good Practice Policy Framework For Energy Technology Research, Development and Demonstration », *Accelerating Energy Innovation Series*, OCDE/AIE, Paris, disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/papers/2011/good_practice_policy.pdf.
- AIE (2011f), « Technology Roadmap – Biofuels for Transport », OCDE/IAE, Paris, disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/papers/2011/biofuels_roadmap.pdf.
- AIE, OCDE et Banque mondiale (2010e), « The Scope of Fossil Fuel Subsidies in 2009 and a Roadmap for Phasing Out Fossil Fuel Subsidies », Rapport conjoint de l'AIE, l'OCDE et la Banque mondiale présenté au Sommet du G20, Séoul, République de Corée, 11-12 novembre 2010, disponible à l'adresse suivante : www.worldenergyoutlook.org/docs/second_joint_report.pdf.
- AIE, OPEP (Organisation des pays exportateurs de pétrole), OCDE et Banque mondiale (2010), « Analysis of the Scope of Energy Subsidies and Suggestions for the G20 Initiative », Rapport conjoint de l'AIE, l'OPEP, l'OCDE et la Banque mondiale présenté au Sommet du G20, Toronto, Canada, 26-27 juin 2010, disponible à l'adresse suivante : www.worldenergyoutlook.org/docs/G20_Subsidy_Joint_Report.pdf.
- AIE, PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement) et ONUDI (Organisation des Nations Unies pour le développement industriel) (2010), « Energy Poverty: How to Make

- Modern Energy Access Universal? », OCDE/AIE, Paris, disponible à l'adresse suivante : www.iea.org/weo/docs/weo2010/weo2010_poverty.pdf.
- Banque mondiale (2007), *Cost of Pollution in China: Economic Estimates of Physical Damages*, Working Paper, rapport n° 39236, Banque mondiale, Washington, D.C.
- Banque mondiale (2010), *Placing the 2006/08 Commodity Price Boom into Perspective*, Banque mondiale, Washington, D.C.
- BNEF (Bloomberg New Energy Finance) (2011), « Catalysing Investment in Low-Carbon, Climate Resilient Growth », présentation au Séminaire de l'OCDE, Paris, 7 novembre 2011.
- Bollen, J., B. Guay, S. Jamet, et J. Corfee-Morlot. (2009), « Co-Benefits of Climate Change Mitigation Policies: Literature Review and New Results », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 693, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/224388684356
- Clarke, L., J. Edmonds, V. Krey, R. Richels, S. Rose et M. Tavoni (2009), « International Climate Policy Architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios », *Energy Economics* 31, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. S64–S81.
- De Serres, A, F. Murtin et G. Nicoletti (2010), « A Framework Assessment for Assessing Green Growth Policies », *Documents de travail du Département des affaires économiques de l'OCDE*, n° 774, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/5kmfj2xvcmkf-en
- Edenhofer, O., C. Carraro, J.C. Hourcade et K. Neuhoff (2009), « The Economics of Decarbonization: Report of the RECIPE Project », Potsdam-Institute for Climate Impact Research, Potsdam.
- Edenhofer, O., B. Knopf, T. Barker, L. Baumstark, E. Belleprat, B. Chateau, P. Criqui, M. Isaac, A. Kitous, S. Kypreos, M. Leimbach, K. Lessmann, B. Magné, S. Scricciu, H. Turton et D. P. van Vuuren (2010), « The Economics of Low Stabilization: Model Comparison of Mitigation Strategies and Costs », *The Energy Journal*, International Association for Energy Economics (IAEE), Ohio, volume 31 (Numéro spécial 1).
- Ellerman, A. et B. Buchner (2008), « Over-Allocation or Abatement? A Preliminary Analysis of the EU- ETS Based on the 2005-06 Emissions Data », *Environmental and Resource Economics*, European Association of Environmental and Resource Economists, vol. 41, n° 2, Springer, Heidelberg, pp. 267-287.
- Ellerman, A., F.J. Convery et C. de Perthuis (2010), *Pricing Carbon: The European Union Emissions Trading Scheme*, Cambridge University Press, Cambridge.
- European Climate Exchange (2011), www.ecx.eu.
- Fondation FIA (Fédération Internationale de l'Automobile) (2011), « 50 by 50: Global Fuel Economy Initiative » www.fiafoundation.org/50by50/pages/homepage.aspx.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2007), *Quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, GIEC, Genève.
- GWEC (Global Wind Energy Council) (2010), www.gwec.net.
- Kalamova, M., C. Kaminker et N. Johnstone (2011), « Sources of Finance, Investment Policies and Plant Entry in the Renewable Energy Sector », *Documents de travail de la Direction de l'environnement de l'OCDE*, n° 37, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/5kg7068011hb-en.

- MEEDeM (Ministère français de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer) (2009), Communiqué de presse publié le 01/10/09 : « Lancement du plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables », disponible à l'adresse suivante : www.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=article&id_article=7280.
- OCDE (2010a), *La fiscalité, l'innovation et l'environnement*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264087651-fr.
- OCDE (2010b), *L'éco-innovation dans l'industrie. Favoriser la croissance verte*, Éditions de l'OCDE. doi : 10.1787/9789264079557-fr.
- OCDE (2010c), « Greener and Smarter: ICTs, the Environment and Climate Change », OCDE, Paris, disponible à l'adresse suivante : www.oecd.org/dataoecd/27/12/45983022.pdf.
- OCDE (2010d), *La transition vers une économie sobre en carbone : objectifs publics et pratiques des entreprises*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264090255-fr.
- OCDE (2010e), *Mesurer l'innovation : Un nouveau regard*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264084421-fr.
- OCDE (2011a), *Fostering Innovation for Green Growth*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264119925-en.
- OCDE (2011b), *Invention and Transfer of Environmental Technologies*, Études de l'OCDE sur l'innovation environnementale, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264115620-en.
- OCDE (2012a), *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050*, Éditions de l'OCDE.
- OCDE (2012b), « Policy framework for low-carbon, carbon-resilient investment: The case of infrastructure development », Éditions de l'OCDE.
- OCDE et AIE (2011), « OECD-IEA Fossil Fuel Subsidies and Other Support », base de données en ligne, www.oecd.org/iea-oecd-ffss (consulté le 15 novembre 2011).
- Philibert, C. (2011), *Interactions of Policies for Renewable Energy and Climate*, International Energy Agency Working Paper, AIE, Paris.
- Popp (2006), « International innovation and diffusion of air pollution control technologies: The effects of NO_x and SO₂ regulation in the U.S., Japan, and Germany », *Journal of Environmental Economics and Management* 2006, vol. 51, pp. 46-71.
- Stern, N. (2006), *Stern Review: The Economics of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Tavoni, M. et R. Tol (2010), « Counting Only the Hits? The Risk of Underestimating the Costs of Stringent Climate Policy », *Climate Change* 100, Springer, Heidelberg, pp. 769-778.
- US National Research Council (2009), *Hidden Costs of Energy: Unpriced Consequences of Energy Production and Use*, National Academies Press, Washington, D.C.
- WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) et AIE (2009), « Cement Technology Roadmap 2009: Carbon Emissions Reductions up to 2050 », WBCSD et OCDE/AIE.

Chapitre 3. Mise en œuvre de l'énergie verte : refondre l'économie politique

Les systèmes énergétiques actuels sont indissociablement liés à des modes de production et de consommation à fortes émissions de CO₂ dont il peut être difficile de s'affranchir. La mutation structurelle du secteur de l'énergie impliquera plus qu'un simple remplacement des technologies existantes ; elle touchera aussi les chaînes d'approvisionnement, les infrastructures physiques, les pratiques des consommateurs, les marchés et les systèmes réglementaires. Les pays choisiront l'option la mieux adaptée à leur contexte national, qu'il s'agisse d'un approvisionnement énergétique bas carbone, du captage ou stockage du carbone, ou de l'efficacité énergétique. Les nouveaux actifs à longue durée de vie devront être suffisamment flexibles pour pouvoir s'adapter à l'évolution de la réglementation environnementale et des conditions économiques générales, notamment le prix des combustibles.

La transition vers un système énergétique sobre en carbone devrait avoir un impact positif sur l'emploi au sein du secteur de l'énergie, l'intensité de main-d'œuvre étant généralement plus forte dans le secteur des énergies renouvelables que dans celui des énergies fossiles, bien que l'impact réel sur l'emploi variera en fonction de la technologie. Les pouvoirs publics devront prêter attention aux effets redistributifs de la transition énergétique au niveau national, en termes d'incidence sur les plus démunis qui consacrent en général une plus grande part de leur revenu aux dépenses énergétiques, mais aussi entre les pays, dans la mesure où la structure des échanges des combustibles fossiles évolue.

On ne peut que souscrire aux arguments économiques et environnementaux en faveur d'une stratégie de croissance verte dans le secteur de l'énergie. Mais la mise en œuvre des politiques nécessaires pour y parvenir pose des problèmes considérables d'économie politique. Le présent chapitre examine les facteurs qui affectent la rapidité avec laquelle les décideurs sont capables de se préparer à la croissance verte. Les obstacles tiennent au fait que les systèmes énergétiques actuels sont indissociablement liés à des modes de production et de consommation à fortes émissions de CO₂ dont il peut être difficile de s'affranchir pour des raisons allant au-delà de simples questions économiques. Les intérêts en place et les actifs représentant des coûts irrécupérables, le souci d'éviter la création d'actifs échoués, et les conséquences d'une éventuelle perturbation de la structure actuelle de l'emploi sont des facteurs dont les décideurs devront tenir compte lorsqu'ils envisageront de changer les règles du jeu énergétique. Cette problématique est sous-tendue par le fait que la transition aura ses gagnants et ses perdants, et que les perdants potentiels savent souvent mieux faire entendre leur voix pour résister au changement.

Parmi les aspects politiques jouant en faveur du changement figure la pression de la concurrence que la transition énergétique mondiale fera naître entre les pays. Par rapport aux prévisions de l'économie d'équilibre, la réalité du marché sera plus dynamique, plus incertaine et davantage en rupture avec les modèles économiques existants. Plutôt que de tendre uniquement vers des solutions à moindre coût (qui sont difficiles à définir dans des contextes aussi dynamiques), les pays pourront adopter un comportement stratégique, en cherchant à acquérir un avantage concurrentiel sur les nouveaux marchés par le biais d'économies d'échelle, susceptibles de constituer une importante source de gains liés aux échanges (Krugman, 1979).

Lorsqu'ils seront confrontés à ces vecteurs de rupture, les pouvoirs publics devront prendre des décisions qui affecteront la structure des actifs à longue durée de vie de leurs systèmes énergétiques. En situation de grande incertitude, les décisions doivent être robustes (Lempert, Popper et Bankes, 2003). Le choix du rythme de la transition est une décision cruciale pour les systèmes énergétiques. Les précurseurs obtiendront probablement des avantages sur les nouveaux marchés, mais ils devront faire face à des risques techniques inconnus, tandis que les suiveurs tardifs bénéficieront certainement d'externalités de connaissances, mais ils seront confrontés à un risque de verrouillage et d'actifs échoués (Unruh, 2006).

Économie politique — mettre en œuvre le changement dans différents contextes nationaux

Toutes les stratégies de croissance étant guidées par les priorités et les conditions locales, la transition du secteur de l'énergie vers la croissance verte sera très différente selon les pays. Néanmoins, on peut identifier trois catégories de contextes susceptibles d'avoir une incidence sur l'économie politique du secteur de l'énergie. Comme ces catégories peuvent se recouper, les pays peuvent relever de plusieurs d'entre elles à la fois.

Économies dotées de structures énergétiques et industrielles bien établies

Le principal obstacle auquel se heurtent les décideurs à propos du rythme à adopter pour la transition concerne sans aucun doute l'impact sur la compétitivité des entreprises, et l'intérêt qu'ont certains à maintenir le statu quo en raison du volume des actifs représentant des coûts irrécupérables qui risquent de se transformer en coûts échoués. Le secteur de l'électricité, dont la puissance installée totalise quelque 5 000 gigawatts (GW) à travers le monde, est le plus exposé. Dans la mesure où près de la moitié des centrales existantes ont plus de 20 ans (AIE, 2010), la valeur des actifs se dépréciera, tombant à environ un tiers de la valeur à neuf, ce qui portera la valeur des installations existantes dans le secteur énergétique à environ 5 000 milliards USD¹. En comparaison, dans les autres secteurs, les actifs représentant des coûts irrécupérables sont moins importants, mais ils restent tout de même substantiels. Sur la base des

coûts d'investissement cités par l'ETSAP (2011) et le WEO-2011, et en supposant un niveau de dépréciation similaire à celui du secteur de l'électricité, des estimations approximatives de la valeur des actifs montrent que l'infrastructure des gazoducs (400 milliards USD), les raffineries et les cimenteries (300 milliards USD chacune), les aciéries (100 milliards USD) et les chaudières industrielles (50 milliards USD) comptent parmi les secteurs de l'économie les plus exposés. Au total, ces actifs tributaires des combustibles fossiles représentent près de 15 % du PIB mondial. Il n'est donc pas surprenant que l'ampleur des enjeux financiers suscite une certaine résistance de la part des conseils d'administration des entreprises.

Néanmoins, au niveau macro-économique, il apparaît clairement que les pays dont la productivité des ressources est élevée et l'utilisation de l'énergie efficiente sont généralement ceux qui affichent un indice de compétitivité élevé (Bleischwitz, 2010). Cela a été le cas par le passé pour des pays comme le Japon, où les ressources étaient particulièrement coûteuses, ce qui a conduit à la définition de normes plus strictes et à la mise en place d'incitations économiques pour améliorer l'efficacité d'utilisation. Il peut en résulter une réduction supplémentaire de l'intensité d'utilisation des ressources, les économies des pays performants tendant à privilégier les activités à forte valeur ajoutée.

Le recours à des mesures réglementaires pour mettre en œuvre ces transformations complémentaires est susceptible de se heurter dans un premier temps à l'opposition des entreprises. Bien que, pour les mener à bien, les décideurs doivent impérativement emporter l'adhésion des principales parties prenantes, le lobbying des entreprises ne va pas toujours dans le sens des intérêts économiques de l'ensemble du pays. L'écologisation des entreprises peut être source d'avantages économiques, en améliorant leur compétitivité par l'accroissement de leur taux d'innovation et de leur productivité globale (Porter et von der Linde, 1995). Même s'il est difficile de déterminer de quelle manière des interventions réglementaires imposant des mesures environnementales coûteuses peuvent aboutir à ce résultat dans une économie d'équilibre (Palmer, Oates et Portney, 1995), de plus en plus d'auteurs étudient toutefois jusqu'à quel point les marchés réels peuvent s'écarter de l'équilibre parfait pour que les interventions réglementaires dans le domaine de l'environnement conduisent à une amélioration de la compétitivité des entreprises :

- De nouveaux marchés de produits et de services environnementaux sont susceptibles d'être créés, sur lesquels des économies d'échelle permettront de réduire le coût de l'amélioration environnementale. Il peut en résulter une diminution du coût marginal supplémentaire de l'atténuation des émissions par rapport à des entreprises implantées dans des pays dont les normes environnementales sont moins strictes (Greaker, 2006).
- Des normes environnementales plus strictes peuvent permettre aux entreprises de fournir des biens et des services à des clients prêts à payer davantage pour des produits plus respectueux de l'environnement, qui sinon auraient été concurrencés par des produits moins chers, conduisant à des choix sous-optimaux pour les consommateurs (André, González et Porteiro, 2009).
- Une réglementation environnementale plus stricte peut améliorer la circulation de l'information au sein des entreprises, réduisant le coût de l'identification des opportunités d'amélioration de la productivité (Ambec et Barla, 2002).

Ces explications microéconomiques contribuent à jeter les bases théoriques en faveur de certaines politiques de croissance verte, même si ces politiques semblent entraîner à court terme une augmentation des coûts opérationnels des entreprises.

Pays ne bénéficiant que d'un accès limité à l'énergie

La première préoccupation des pays ne disposant pas de systèmes bien établis de distribution de l'énergie est d'accroître leur offre énergétique afin de satisfaire les besoins croissants des ménages et des

entreprises. Un approvisionnement énergétique insuffisant peut restreindre considérablement le potentiel de croissance économique de ces pays. Selon les estimations, 1,3 milliard de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'électricité (AIE, 2011). L'analyse du *WEO-2011* relative à la fourniture d'un accès universel à l'électricité montre que l'extension du réseau est généralement la solution la mieux adaptée pour l'ensemble des zones urbaines et pour près de 30 % des zones rurales, mais qu'elle ne s'avère pas rentable dans les zones rurales plus isolées. Ainsi, 70 % des zones rurales sont alimentées soit par des miniréseaux (65 % des cas), soit par des solutions isolées hors réseau (les 35 % restants). Ces systèmes autonomes ne génèrent aucun coût de transport ou de distribution, mais le coût par mégawattheure (MWh) est plus élevé. Les miniréseaux, qui assurent une production centralisée au niveau local et utilisent un réseau au niveau du village, sont une solution compétitive dans les zones rurales, et peuvent permettre une croissance ultérieure de la demande, comme celle générée par les activités rémunératrices.

La généralisation de l'accès à l'électricité à l'horizon 2030 nécessite une augmentation de la production mondiale d'électricité de 2,5 % (environ 840 térawattheures, TWh) par rapport au scénario *Nouvelles politiques* du *WEO-2011*, soit une augmentation des capacités de production de quelque 220 GW. Sur l'électricité supplémentaire nécessaire en 2030, quelque 45 % devraient être produits et acheminés par les extensions des réseaux nationaux, 36 % par des miniréseaux et les 20 % restants par des solutions isolées hors réseau. Plus de 60 % de la production supplémentaire raccordée au réseau provient de combustibles fossiles, le charbon représentant à lui seul plus de la moitié de cette part, tandis que plus de 90 % de la production assurée par les miniréseaux et les installations hors réseau provient des énergies renouvelables.

C'est probablement à propos de l'Afrique subsaharienne que la problématique apparaît le plus clairement : bien qu'elle représente seulement 12 % de la population mondiale, elle rassemble près de 45 % des personnes dépourvues d'accès à l'électricité — soit 586 millions de personnes en 2009 selon les estimations (AIE, 2011). Selon le *WEO-2011*, c'est dans cette région que plus de 60 % des investissements supplémentaires nécessaires pour généraliser l'accès à l'électricité à l'horizon 2030 doivent être réalisés. Il existe là-bas une plus forte dépendance aux miniréseaux et aux solutions isolées hors réseau, notamment dans des pays comme l'Éthiopie, le Nigéria et la Tanzanie, où une part relativement importante des populations dépourvues d'accès à l'électricité vit dans des zones rurales. Un rapport récent sur l'économie des énergies renouvelables en Afrique subsaharienne montre que, dans les zones rurales peu peuplées, le développement local des énergies renouvelables peut s'avérer économiquement préférable à l'extension du réseau, d'où la conclusion que l'éolien décentralisé pourrait déjà être rentable dans de vastes régions de l'Éthiopie, du Ghana et du Kenya, par exemple (Deichmann *et al.* 2010). Néanmoins, il ressort du rapport que, pour une majorité de ménages, l'électricité raccordée au réseau demeurera la solution la moins onéreuse pour quelque temps encore, et qu'il pourrait être nécessaire de donner la priorité aux technologies centralisées à grande échelle comme l'hydraulique, l'énergie solaire à concentration et la géothermie pour que les énergies renouvelables puissent contribuer de manière significative au taux d'électrification global.

En Afrique subsaharienne, la trajectoire de développement des réseaux d'électricité pourrait être fortement modifiée par l'utilisation de réseaux intelligents, qui permettraient de s'affranchir des normes techniques en matière de conception des réseaux (Bazilian *et al.*, 2011a). Les réseaux intelligents pourraient apporter des bénéfices économiques immédiats en réduisant les pertes sur les lignes de transport longue distance et les pertes non techniques (comme le vol et les erreurs de facturation), et en permettant de relier mini- et micro-réseaux. L'association de ces évolutions à l'expansion des services de télécommunications permettrait également d'offrir aux consommateurs à bas revenu de nouveaux moyens d'accéder aux services énergétiques.

À l'échelle nationale, les pouvoirs publics reconnaissent parfaitement la nécessité d'accélérer le rythme de l'électrification, 75 % des pays d'Afrique subsaharienne ayant défini des objectifs d'accès à l'électricité (OMS et PNUD, 2009). Au niveau international, un certain nombre d'initiatives ont été

lancées, dont le Partenariat Afrique-UE pour l'énergie (PAEE), ainsi que celles annoncées lors de la première Réunion ministérielle sur les énergies propres (2010) pour s'attaquer aux problèmes dans ce domaine. Toutefois, l'économie politique reste dominée par la finance. Une mise en œuvre à une échelle significative nécessitera des accords sur le financement de ces investissements, et notamment des décisions sur une éventuelle contribution de la communauté internationale.

Les décideurs de ces pays doivent se concentrer sur les mesures rentables susceptibles d'améliorer l'accès à l'énergie, tout en veillant à préserver dans les systèmes énergétiques mis en place suffisamment de flexibilité pour permettre ultérieurement une transition vers des solutions plus sobres en carbone. Cette démarche aidera les pays à investir dans le développement d'infrastructures indispensables, tout en écartant le risque de créer des actifs échoués. En ce qui concerne la production d'électricité, les décideurs doivent également faire la part entre les problèmes d'accès et les préoccupations liées à la sécurité de l'approvisionnement, en évitant de trop privilégier certaines technologies. Les technologies clés seront très certainement des réseaux flexibles permettant d'intégrer différents modes de production d'électricité au fil du temps, ainsi que d'adjoindre, à un stade ultérieur, un système de captage et de stockage du carbone à toute nouvelle centrale à combustibles fossiles ajoutée au système. L'équilibre du portefeuille de production global, ainsi que les coûts potentiels des externalités environnementales susceptibles d'être encourus à plus long terme, doivent toujours faire partie des questions à examiner lorsque les pays négocient avec les donateurs des investissements dans de nouveaux actifs.

Pays riches en ressources

C'est probablement dans les pays disposant d'importantes ressources nationales de combustibles fossiles, notamment de charbon, que les objectifs de sécurité énergétique et de sécurité environnementale sont le plus divergents. Bien que les prix internationaux du charbon aient considérablement augmenté au cours de la dernière décennie, ses coûts directs de production sont souvent inférieurs à ceux des autres sources d'énergie, surtout si le charbon peut être consommé à proximité de son site d'extraction, ce qui allège les coûts de transport. Même si, à l'échelle mondiale, la logique économique (tenant compte des externalités environnementales) estime préférable un abandon progressif du charbon, en revanche au niveau local, les incitations économiques en faveur de son développement peuvent être considérables. Des considérations d'économie politique peuvent empêcher d'offrir une compensation suffisante aux pays en développement pour les inciter à laisser ces ressources dans le sol.

La décision récente de construire une centrale électrique au charbon à Medupi, en Afrique du Sud, illustre parfaitement ces tensions. Ce projet est démesuré à plusieurs égards : avec 4 800 MW, cette centrale sera la septième du monde, et son coût de construction, estimé à 17.8 milliards USD, équivaut à 10 % du PIB de l'Afrique du Sud. Elle produira l'électricité indispensable au secteur minier et autres industries du pays et, plus généralement, elle améliorera la qualité de l'approvisionnement des ménages. Sa proximité des grandes ressources nationales de charbon à bas coût lui assurera une sécurité d'approvisionnement. La décision du gouvernement sud-africain de soutenir ce projet a été corroborée par la Banque mondiale, qui a accordé un peu plus de 3 milliards USD de crédits. La Banque africaine de développement va quant à elle prêter 2.5 milliards USD (Sovacool et Rafey, 2011).

Les documents de planification du projet affirment que la centrale est en cohérence avec les objectifs sud-africains de réduction de l'intensité de carbone et, à terme, des émissions (une opinion partagée par la Banque mondiale, 2010), car elle vient en remplacement des centrales au charbon démantelées, et que les scénarios de transition bas carbone situent le plus souvent le passage à des sources de production peu carbonées seulement après 2020. Néanmoins, bien que cette nouvelle centrale au charbon puisse être équipée par la suite d'un système de captage et stockage du carbone si cette technologie fait ses preuves et devient rentable (ce qui suppose d'instaurer un régime efficace de tarification des émissions de carbone), les risques technologiques et stratégiques liés à ce projet ne sont pas négligeables.

Il est clair que l'Afrique du Sud n'est pas la seule dans ce cas — au niveau mondial, la centrale de Medupi est une illustration à petite échelle des difficultés auxquelles font face un grand nombre de pays, les consommateurs de charbon du monde entier étant confrontés aux mêmes problèmes (Bazilian *et al.*, 2011b). Les décideurs peuvent trouver un début de solution à ce problème en dissociant le risque éventuel de verrouillage associé à la centrale au charbon elle-même du risque de verrouillage associé à des structures industrielles non durables dans l'ensemble de l'économie. Le risque de créer des actifs échoués dans le secteur énergétique (évoqué dans la section suivante) peut être éclipsé par le risque de créer des actifs échoués dans les autres secteurs de l'économie. L'utilisation d'électricité bon marché pour développer les secteurs à forte intensité énergétique, aux dépens des activités économiques à plus forte valeur ajoutée, pourrait être imprudente compte tenu de la nécessité ultérieure d'internaliser le coût des impacts environnementaux, notamment des émissions de carbone, ainsi que des coûts de la restructuration industrielle qui ne manquera pas d'en résulter. Les pouvoirs publics pourraient préférer s'approprier les rentes associées aux sources d'électricité bon marché par le biais de taxes d'État, susceptibles d'être mises au service des priorités de la croissance verte, et encourager une structure industrielle plus durable à long terme, tout en constituant des réserves financières pour faire face à la future décarbonisation du secteur de l'énergie. En ce sens, les problèmes et les solutions sont les mêmes que ceux auxquels sont confrontés les pays exportateurs de pétrole (encadré 3.1).

Ajustement structurel

La mutation structurelle du secteur de l'énergie implique bien plus qu'un simple remplacement des technologies existantes. Le système énergétique est constitué par un réseau cohérent de chaînes d'approvisionnement, mais également par des infrastructures physiques, des pratiques de consommateurs, des marchés et des systèmes réglementaires (Kemp, 1994). Il est impossible de transformer fondamentalement l'une de ces composantes sans modifier l'ensemble du système. Ces « régimes technologiques » prennent le dessus sur leurs substituts en raison des économies d'échelle qui peuvent apporter des avantages substantiels à la société en réduisant les coûts économiques, en favorisant la stabilité et la prévisibilité du système, en réduisant la complexité et en simplifiant la réglementation. Toutefois, cette diminution de la complexité technologique et réglementaire conduit également à un « verrouillage » (Unruh, 2000), les opérateurs historiques et les autorités de réglementation étant potentiellement « prisonniers » du régime en vigueur, ce qui rend tout changement plus difficile. Face à des conditions économiques incertaines, le fait que les coûts d'investissement des installations existantes soient irrécupérables confère également une valeur d'option à leur conservation, d'où la nécessité de mettre en place des incitations plus solides avant leur démantèlement complet (Blyth, 2010).

Néanmoins, les régimes technologiques finissent tout de même par changer en raison d'inévitables difficultés non résolues, comme les préoccupations de sécurité énergétique et de protection de l'environnement évoquées au chapitre précédent (Grubler, 2004). Plusieurs mécanismes régissent ces transitions (Geels, 2005). Tout d'abord, les changements du « paysage sociotechnique », notamment des facteurs comme la mondialisation, les externalités environnementales et les changements culturels, qui peuvent soumettre le régime existant à un large éventail de pressions susceptibles de favoriser de nouvelles approches. Ensuite, le régime sociotechnique peut subir des modifications, au niveau non seulement des éléments physiques du système, comme l'installation de production et les réseaux de distribution, mais également des règles régissant les institutions et les pratiques. Le régime est dynamiquement stable, mais soumis à des pressions provenant, en amont, des mutations du paysage ou, en aval, des avancées technologiques. Enfin, les niches technologiques peuvent jouer un rôle important. De nouvelles technologies font leur apparition et certaines se développent dans des niches protégées du plein effet de la concurrence avec les technologies dominantes, jusqu'à ce que les conditions soient suffisamment favorables pour leur permettre de déclencher une transformation plus profonde du régime.

Encadré 3.1. Mettre fin à la dépendance : des choix difficiles pour les pays exportateurs de pétrole

Le développement fondé sur les exportations d'hydrocarbures pose de sérieux problèmes. À court terme, le fait de dépenser les revenus issus des exportations de pétrole et de gaz peut causer de l'inflation et encourager des dépenses et des subventions publiques non durables. À long terme, l'épuisement des réserves de pétrole limitera la contribution du secteur des hydrocarbures au reste de l'économie. L'exploitation des ressources peut toutefois aider à remédier aux problèmes de sous-développement et de pauvreté qui affectent de nombreux pays exportateurs de pétrole — si ces ressources sont utilisées pour développer le potentiel de leurs économies dans d'autres secteurs que celui des hydrocarbures, afin de remplacer à terme les revenus du pétrole.

Les exportateurs de pétrole s'interrogent sur la façon de soutenir la croissance économique à long terme, alors que les exportations de pétrole diminuent de plus en plus en raison de l'épuisement des ressources et de la hausse de la consommation intérieure. Elles finiront par cesser complètement à un horizon plus ou moins lointain, dans la mesure où (a) la production des pays stagne et décroît et (b) la hausse continue de la consommation intérieure absorbe une part toujours plus grande de la production de chaque pays. Certains gouvernements se demandent s'il ne vaudrait pas mieux « laisser le pétrole dans le sol » aujourd'hui pour l'exploiter plus tard, afin de retarder et de minimiser les éventuelles transformations nécessaires pour réduire la dépendance au secteur des hydrocarbures. D'autre part, l'augmentation des investissements étrangers peut constituer un rempart stratégique contre les incertitudes au sujet de l'évolution des réserves et des prix.

Les pays montrent plus ou moins d'empressement à relever le défi de l'épuisement des réserves, mais à terme, aucun de ceux dont l'économie dépend actuellement des exportations de pétrole et de gaz ne pourra échapper à une réduction de cette dépendance, et tous devront donc assurer la transition en associant :

- une politique énergétique nationale qui limite la croissance de la consommation et encourage le développement d'autres carburants ;
- une croissance plus rapide des secteurs autres que celui des hydrocarbures, afin de générer des rentrées fiscales et des exportations (ou réduire les importations) ;
- des objectifs de croissance économique moins ambitieux.

En mai 2010, des hauts représentants de Saudi Aramco ont averti que les capacités d'exportation de l'Arabie Saoudite passeront à moins de 7 millions de baril par jour à l'horizon 2028, si la demande d'énergie intérieure continue à croître au rythme actuel, et qu'une évolution des prix de l'énergie pourrait être nécessaire pour ralentir cette croissance. Pour d'autres pays comme l'Algérie, la Malaisie et l'Indonésie, dont la production est déjà en déclin ou proche du déclin, cette transition est proche.

Source : Mitchell, J. et P. Stevens (2008), « Ending Dependence: Hard Choices for Oil-Exporting States ».

Le statu quo est remis en question par le biais d'un processus qualifié par Schumpeter (1942) de « destruction créatrice » de l'ordre existant, dans lequel les entreprises en place dans le régime existant sont susceptibles de disparaître au profit de nouveaux acteurs. Dosi (1982) souligne la nature cyclique de ce mécanisme. À mesure que le processus arrive à maturité, l'établissement du nouveau régime s'accompagne souvent aussi d'une stabilisation progressive, qui se traduit par le développement de nouveaux oligopoles à l'origine d'économies d'échelle autour du nouvel ensemble de technologies et de règles.

Plusieurs tentatives ont été faites pour influencer ces processus par la « gestion de la transition ». On peut citer par exemple le projet de transition énergétique des Pays-Bas, qui est une tentative explicite de compléter l'action publique existante par une démarche stratégique de transition à long terme en vue d'un changement structurel. Cette démarche prévoit notamment de recourir à des taxes et des redevances

pour offrir des conditions équitables, puis de favoriser la diversité en laissant de la place aux niches, mais elle s'abstient de « sélectionner les solutions gagnantes ». Ces initiatives publiques peuvent donner une impulsion importante en faveur du changement, bien qu'elles courent le risque d'être « capturées » par le régime énergétique en place, ce qui peut limiter les possibilités de transformation radicale du système énergétique (Kern et Smith, 2008). Voici ce qu'en dit Justin Lin, économiste en chef à la Banque mondiale (Lin, 2010) :

« ...l'échec de la politique industrielle découlera très probablement des erreurs commises par les décideurs au cours du processus d'identification de la croissance.... Les pays développés et en développement les plus performants sont ceux dont les pouvoirs publics ont été capables de jouer un rôle actif dans la modernisation industrielle et le processus de diversification en aidant les entreprises à tirer parti des opportunités offertes par le marché. Ils y sont généralement parvenus en réglant les problèmes d'information, de coordination, et d'externalités, et en mettant à disposition des agents privés des infrastructures matérielles et immatérielles adaptées... »

La facilité avec laquelle la transition se déroule au sein du système énergétique est fonction non seulement de ces pressions extérieures, mais aussi de la capacité du système à se transformer (Smith, Stirling et Berkhout 2005). Cette capacité d'adaptation dépend de l'accès à des ressources telles que les technologies de substitution, les connaissances et les compétences, et c'est en investissant dans ces domaines que les gouvernements peuvent aider à amortir l'impact économique de la transition.

Le vaste éventail de publications relatives au changement structurel permet de tirer les conclusions suivantes :

- Le changement structurel implique non seulement l'émergence de nouvelles technologies, mais également des transformations dans l'ensemble du système formé par les infrastructures, les chaînes d'approvisionnement, les institutions, les marchés et les réglementations.
- Le cheminement suivi par ces transitions est difficile à prévoir à l'avance, dans la mesure où il résulte d'une série d'interactions complexes entre les nombreux acteurs et composantes du système, en fonction de l'itinéraire choisi.
- L'action publique doit notamment viser à promouvoir la diversité technologique, en élargissant l'éventail d'options technologiques disponibles afin d'améliorer la résilience face aux éventuels chocs futurs.
- Il est possible d'augmenter le taux d'innovation par des efforts de recherche et développement (R-D) soutenus, associés à des changements cohérents du « paysage » à long terme, comme les prix du carbone, et par un démantèlement plus rapide des anciennes installations afin d'accélérer le processus de « destruction créatrice », aligné autant que possible sur les avantages comparatifs latents des pays.
- Il peut être nécessaire de développer les technologies dans des niches avant qu'elles puissent remplacer les technologies dominantes dans les régimes établis, mais la transition est un processus risqué par nature. Les échecs des technologies et des entreprises (que ce soit au sein ou en dehors du régime en place) constituent une composante importante du processus d'expérimentation, d'apprentissage et de destruction créatrice, bien qu'ils soient politiquement difficiles à intégrer dans un programme réglementaire promu par les pouvoirs publics.

Expériences d'ajustement structurel dans le secteur de l'énergie

L'ajustement structurel concerne tous les aspects du système énergétique, pas seulement le remplacement des technologies d'approvisionnement. Une composante importante de ce système est

constituée par les règles régissant l'achat et la vente de l'électricité, qui incitent les fournisseurs à satisfaire la demande et à investir dans de nouvelles capacités. La réforme du marché de l'électricité est un domaine pour lequel on dispose d'une expérience internationale considérable et où les résultats ont été assez mitigés (Dubash et Singh, 2005). L'encadré 3.2 présente quelques effets positifs de la réforme en Inde.

Encadré 3.2. Les réformes du secteur de l'électricité en Inde

L'Inde s'est battue pour assurer un approvisionnement électrique fiable à sa population. Des centaines de millions d'Indiens n'ont toujours pas accès à l'électricité, et ceux qui y ont accès ne bénéficient pas d'un service fiable, c'est-à-dire qu'ils n'ont de l'électricité que quelques heures par jour. Le vol à grande échelle par les consommateurs finaux constitue un problème majeur. Chaque année, près d'un tiers de la quantité d'électricité nette produite en Inde disparaît. Le vol est principalement en cause, ainsi que la mauvaise gestion technique du réseau électrique. Bien que l'Inde ait lancé des programmes pour améliorer la situation, les progrès sont lents et limités à une minorité de régions. À Delhi par exemple, l'utilisation de technologies de réseau et de comptage avancées ainsi que des incitations commerciales en faveur des distributeurs d'électricité ont, en seulement cinq ans, fait passer le taux de pertes dans la distribution d'électricité basse tension de près de 50 % à 20 % (Autorité centrale de l'électricité).

Les réformes de Delhi ont entraîné une baisse significative du taux de croissance de la demande d'électricité, et donc des émissions de dioxyde de carbone (CO₂). La rationalisation des tarifs et le renforcement des mécanismes de contrôle signifient que les consommateurs finaux sont désormais plus nombreux à payer l'électricité à son vrai coût. Les distributeurs d'électricité ayant eu recours à des technologies innovantes pour lutter contre le vol, la demande d'électricité à Delhi a progressé beaucoup plus lentement au cours des cinq dernières années (c'est-à-dire après les réformes) qu'avant 2003, malgré une croissance économique beaucoup plus forte.

Nos calculs montrent que, si des réformes du secteur de l'électricité similaires à celles de Delhi étaient menées à travers tout le pays, elles pourraient réduire les émissions de CO₂ de l'Inde de 200 à 250 Mt de CO₂/an à l'horizon 2017, ce qui représente près de 50 % des émissions totales du secteur électrique indien en 2007 (520 Mt de CO₂) et quelque 6 % des émissions totales de l'Europe en 2006. Il apparaît clairement que les réformes du secteur de l'électricité auront un impact significatif sur le développement de l'Inde en améliorant l'accès au système d'électricité et sa fiabilité. Des acteurs extérieurs pourraient apporter leur contribution en cofinçant à grande échelle les programmes d'amélioration de l'efficacité à travers le pays. Dans le cadre de son programme « L'électricité pour tous à l'horizon 2012 », l'Inde pourrait également s'engager précocement dans les efforts internationaux portant sur les systèmes avancés de gestion des réseaux locaux, ce qui pourrait lui permettre de réaliser des gains d'efficacité technique supplémentaires.

Source : Rai, V. et D. Victor (2010), « Identifying Viable Options in Developing Countries for Climate Change Mitigation: The Case of India ».

De même, lors de la grande réforme du système rural de gestion de l'électricité menée par la Chine en 1988, la révision des structures d'incitation, combinée à des améliorations technologiques, a eu un impact positif. Le processus s'est accompagné d'une rénovation du réseau électrique rural, ce qui a contribué à réduire les pertes sur les réseaux basse tension de 30 à 45 % et entraîné une baisse des prix de l'électricité (Niez, 2010). En Amérique latine et dans les Caraïbes, les réformes du marché de l'électricité se sont multipliées. Bien qu'elles ne soient probablement pas à la hauteur des attentes de leurs instigateurs, ces réformes marquent des avancées significatives, les pays de la région délaissant les entreprises publiques, soumises à des préoccupations politiques et autorisées à accumuler des déficits financiers considérables, au profit de structures d'incitations plus performantes, associées à des tarifs reflétant les coûts réels et à des niveaux d'efficacité supérieurs. Toutefois, les difficultés perdurent dans cette région, notamment en ce qui concerne la différenciation des missions de l'État et la mise en place d'une réglementation efficace, l'instauration d'une concurrence sur les marchés et la satisfaction des

besoins des populations pauvres (Millan, 2005). En Afrique subsaharienne, les réformes du marché de l'électricité ont plutôt été moins efficaces, car elles n'ont généralement pas réussi à atteindre les objectifs fixés en matière d'attraction des investissements, d'instauration de la concurrence et d'électrification des zones rurales (Wamukonya, 2005). Enfin au Royaume-Uni, la réforme du marché de l'électricité mise en œuvre dans les années 90, qui a été utilisée comme modèle dans d'autres régions, doit maintenant être revue afin de prendre en compte les importantes mutations structurelles nécessaires pour décarboniser le système.

Chacune des régions évoquées ci-dessus tente de résoudre les problèmes auxquels elle est confrontée en réformant le marché selon des modalités différentes. L'expérience collective montre qu'une réforme bien conçue peut conduire à des résultats positifs, mais qu'en raison de la nature dynamique des marchés, elle risque de devoir être menée en continu dans la mesure où les acteurs du marché, les régimes réglementaires, les technologies et les attentes des consommateurs s'adaptent et évoluent.

La restructuration industrielle implique souvent une réorganisation au sein de chaque entreprise, mais également entre de nombreuses entreprises et chaînes d'approvisionnement, ce qui peut entraîner une modification de la composition des échanges (Hotopp, Radosevic et Bishop, 2005). Ce type de spécialisation des entreprises s'accompagne souvent d'une concentration géographique, une caractéristique importante de l'organisation industrielle des secteurs des semi-conducteurs et de l'automobile aux États-Unis (Klepper, 2010).

Ce processus a manifestement joué un rôle en Chine dans la croissance rapide qu'a connue récemment l'éolien, où l'intervention de l'État a contribué à créer des chaînes d'approvisionnement dédiées pour des applications énergétiques non polluantes. La majorité des investissements dans les parcs éoliens proviennent des grandes entreprises d'électricité publiques (Liu et Kokko, 2010), bien que l'éolien ne soit le cœur de métier d'aucune d'entre elles. Les investissements dans l'éolien répondent principalement à l'obligation faite à toutes les entreprises d'électricité d'inclure un certain pourcentage d'énergies renouvelables non hydrauliques dans leur portefeuille (Wang, 2010). En outre, l'augmentation du nombre de fabricants d'éoliennes a contribué à réduire les coûts et à faire de la Chine un acteur international majeur dans le secteur des turbines, mais en même temps elle fait courir un risque de surcapacité (Liu et Kokko, 2010).

Dans le sillage du succès que les « zones économiques spéciales » tournées vers l'exportation ont rencontré précédemment au cours de la restructuration économique, le gouvernement chinois entreprend actuellement de mettre en place des « zones sobres en carbone » en vue de tirer parti des avantages de la concentration, non seulement en termes d'approvisionnement en énergie propre, mais peut-être plus important encore, à un niveau plus général, dans le domaine notamment de la construction, du transport et de l'infrastructure urbaine. On peut citer comme exemple la ville de Jilin, qui dépend actuellement de l'industrie lourde et dont moins de 10 % des équipements de production sont conformes aux normes avancées internationales, voire nationales. Cette décision est censée favoriser la coopération internationale, attirer d'éventuels partenaires commerciaux et améliorer les conditions locales d'innovation et de développement technologique, en fournissant un terrain de démonstration pour lancer et améliorer les produits qui seront plus tard exportés sur les marchés régionaux et internationaux (Chatham House, 2010).

Plus généralement, la collaboration internationale dans le domaine de la recherche peut être un important vecteur de partage des coûts et d'accroissement des externalités de connaissances pour les pays. Si cette collaboration est fréquente entre pays de l'OCDE, il est intéressant de noter que, dans le domaine des technologies énergétiques et climatiques, les inventeurs de nombre de pays émergents ont pour partenaires de co-invention des membres de la zone OCDE. Le tableau 3.1 présente les couples de pays inventeurs les plus actifs pour quatre technologies environnementales (éolien, photovoltaïque, stockage de l'énergie, et captage et stockage du carbone), et toutes technologies confondues. Alors que, dans cette dernière catégorie, les grandes économies de l'OCDE sont prédominantes, la situation est

beaucoup plus contrastée pour ce qui est des technologies environnementales, un domaine dans lequel les économies émergentes et les petites économies de l'OCDE sont plus visibles. De fait, la géographie des collaborations de recherche est de plus en plus variée.

Tableau 3.1. Les principaux couples de pays co-inventeurs dans le domaine des technologies environnementales et générales

| Secteur | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Toutes les technologies | GB-US | DE-US | CA-US | CH-DE | JP-US | FR-US | NL-US | DE-FR | CH-FR | CH-US |
| Éolien | DK-GB | DE-US | CA-US | DE-NL | NL-US | DE-DK | IN-US | BE-ZA | RU-US | DK-ES |
| PV | JP-US | DE-US | GB-US | CH-DE | AT-DE | CA-US | CN-US | DE-FR | DE-NL | GB-IT |
| Stockage de l'énergie | GB-US | CA-US | DE-US | JP-US | JP-KR | FR-US | CH-DE | CA-FR | CN-US | KR-US |
| CSC | CA-US | NL-US | GB-US | FR-US | DE-US | AU-NL | DE-GB | GB-NL | NO-US | CN-US |

Remarque : les co-inventions sont comptabilisées sur la base du pays de résidence des inventeurs ayant déposé le brevet. Les économies émergentes apparaissent en gras.

Source : Kahrobaie, N., I. Hašič et N. Johnstone (2011), « International Research Collaboration in Climate Technologies: An Empirical Analysis of Technology Agreements », *OECD Energy and Climate Policy and Innovation*.

En raison des avantages susceptibles de découler des collaborations de recherche internationales, il a été suggéré que les accords axés sur les technologies pourraient être un moyen potentiellement utile de compléter les accords portant sur les émissions au niveau international. Les mesures de soutien aux activités de recherche internationales en collaboration peuvent être un mécanisme efficace pour encourager le développement et la diffusion de technologies d'atténuation du changement climatique à l'échelle internationale.

Les énergies renouvelables se sont également rapidement développées en Europe grâce à l'introduction de mécanismes d'action ciblés. Les stratégies ont différé selon les pays, ce qui a permis de disposer d'un large éventail d'expériences en matière de politiques publiques. Ces enseignements ont été particulièrement instructifs en ce qui concerne les caractéristiques que doivent revêtir les mesures de « qualité investissement » pour attirer les financements privés dans les secteurs des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (Hamilton, 2009) :

- Pour être de « qualité investissement », les mesures publiques doivent donc tenir compte de tous les facteurs pertinents examinés par les financiers lorsqu'ils étudient un projet. Elles doivent s'inscrire dans une politique énergétique à plus grande échelle, et demeurer stables tout au long de la durée de vie des projets. Sur un marché régi par les décisions publiques, les investisseurs doivent être convaincus du sérieux des pouvoirs publics.
- Un objectif, une incitation fiscale ou la possibilité de disposer de fonds publics ne seront pas suffisants, si d'autres facteurs comportent des risques élevés. Les rendements corrigés des risques doivent être commercialement attractifs.
- Différentes caractéristiques du marché des sous-secteurs des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique nécessitent que les mesures publiques soient bien conçues et précises. Une approche « bas carbone » de portée générale ou un prix du carbone ne suffiront pas pour surmonter les risques de marché spécifiquement liés à telle ou telle technologie.

- Une véritable montée en puissance des énergies renouvelables à moyen et long terme exige que les pouvoirs publics veillent à assurer sans attendre la définition, la planification et l'intégration des infrastructures indispensables au déploiement de ces énergies.

Actifs échoués

Les actifs échoués font référence à une situation dans laquelle l'exploitation d'une installation devient non rentable en raison de l'évolution du marché ou des conditions réglementaires. Si cela se produit tôt au cours de la vie de l'installation, avant que son coût n'ait été amorti, les entreprises perdront de l'argent par rapport aux rendements qu'elles attendaient de leur investissement. En général, les décideurs tentent d'éviter les modifications réglementaires pouvant donner lieu à des actifs échoués, dans la mesure où leur impact négatif sur les investisseurs est susceptible d'avoir une conséquence directe sur la volonté de ces derniers d'investir dans du capital productif, en raison des risques stratégiques. Cela a une incidence majeure sur le rythme auquel les décideurs sont capables de (ou prêts à) mener la décarbonisation du système énergétique. Plus ce rythme sera rapide, plus l'installation risque de devenir un actif échoué. L'approche réglementaire choisie peut aussi influencer grandement sur les conséquences économiques pour les entreprises : les taxes et les systèmes de permis négociables, qui entraînent une augmentation des coûts dans le temps, peuvent faciliter la transition, tandis qu'une réglementation environnementale fondée sur l'application de normes impératives au niveau des installations peut être à l'origine d'un bouleversement économique pour celles-ci.

Pour que la totalité des actifs se transforment en coûts échoués, l'investissement initial doit être irréversible, et viser un résultat particulier. Certaines technologies (sous la forme, par exemple, d'une possibilité d'adjonction d'une technologie de dépollution en bout de chaîne, ou de la capacité de basculer vers des combustibles bas carbone) peuvent contribuer à réduire le risque de transformation des actifs en coûts échoués, en permettant à l'installation de fonctionner dans différents contextes réglementaires. Certaines installations sont par nature plus flexibles que d'autres — par exemple, une centrale électrique au charbon pourra être plus facile à adapter que d'autres pour pouvoir fonctionner en partie avec de la biomasse et/ou pour être ultérieurement équipée d'un système de captage et stockage du carbone, une fois atteinte la viabilité économique du dispositif. Grâce à cette flexibilité, la valeur d'une installation ne se transforme pas nécessairement entièrement en coût échoué, en cas de modification des conditions réglementaires ou économiques. Toutefois, en général, au moins une partie de la valeur de l'actif peut être à risque.

Si les entreprises savent à l'avance quelle trajectoire vont suivre les émissions, ces actifs échoués pourront peut-être être évités. Toutefois, l'économie politique des actifs échoués est complexe. Bien que toutes les compagnies d'électricité sachent qu'il faudra dévier de la trajectoire actuelle à terme, les délais dont on dispose pour modifier l'évolution des émissions (notamment dans un pays ou dans un contexte réglementaire donné) sont très incertains. En théorie, les pouvoirs publics pourraient laisser les entreprises essuyer des pertes résultant de mauvais choix d'investissement liés à cette incertitude. Toutefois, comme, dans la pratique, les investissements dans le secteur énergétique font généralement l'objet d'un niveau d'engagement politique assez élevé, il se peut qu'il ne soit pas facile de faire la distinction entre décisions politiques et décisions commerciales.

Les États et les grandes compagnies d'électricité entretiennent généralement des liens solides en raison de la taille de la plupart de ces compagnies, et de la nature stratégique de l'énergie en tant qu'intrant essentiel de l'économie. Dans de nombreux pays, l'État demeure l'actionnaire unique ou majoritaire des grandes compagnies nationales d'électricité. Les décisions commerciales d'investissement sont donc souvent étroitement liées aux décisions politiques relatives au développement du secteur énergétique. Si les entreprises choisissent d'investir dans des actifs (comme des centrales électriques à combustibles fossiles) qui risquent de se transformer en coûts échoués par suite de la mise

en œuvre de nouvelles politiques énergétiques, elles risquent d'avoir un poids politique considérable pour s'opposer à ces mesures réglementaires. D'où la nécessité de créer le plus tôt possible des signaux politiques clairs au niveau national quant à la vitesse de transition du secteur énergétique.

Les installations risquant de devenir des actifs échoués peuvent également être affectées par les progrès technologiques au sein du secteur de l'énergie. Odenberger, Unger et Johnsson (2009) montrent que les centrales au gaz qui seront construites au cours de la prochaine décennie en Europe pourraient devenir moins compétitives que les centrales au charbon avec captage et stockage du carbone (CSC), suivant l'évolution de cette technologie après 2020.

Les actifs échoués concernent davantage les installations à longue durée de vie. Le graphique 3.1 montre dans quels secteurs ils risquent de s'avérer particulièrement problématiques. Les infrastructures liées au parc immobilier et aux aménagements urbains ont une durée de vie si longue qu'on considère généralement que la décarbonisation pose, non pas un problème d'actifs échoués, mais plutôt un problème d'intégration des améliorations, le remplacement complet de ces installations étant difficilement envisageable dans des délais raisonnables. En revanche, il existe des secteurs dans lesquels les constructeurs sont confrontés à de véritables dilemmes. Les réseaux de distribution de l'énergie (comme les gazoducs) pourraient être à risque, tout comme les systèmes d'énergie pour les transports. Frenette et Forthoffer (2009) soulignent ainsi que les décisions des constructeurs automobiles relatives aux investissements dans le développement des piles à hydrogène seront étroitement liées aux choix publics à long terme concernant le développement des infrastructures, en raison de la nécessité d'éviter la création d'actifs échoués.

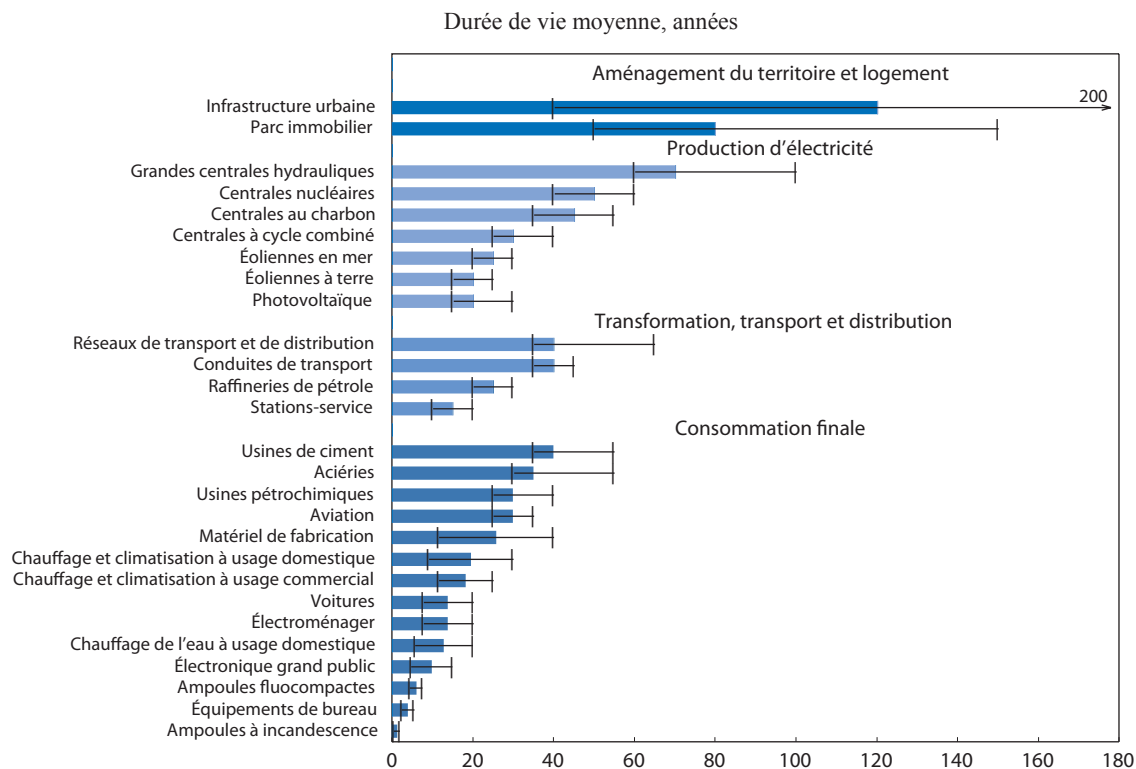
Les décideurs doivent donc encourager les concepteurs de nouveaux actifs énergétiques à longue durée de vie à conférer à ces actifs, autant que cela est économiquement possible, la flexibilité qui permettra de les adapter à l'évolution de la réglementation environnementale et des conditions économiques générales, notamment le prix des combustibles. L'incertitude quant à l'évolution de ces conditions devrait automatiquement conduire les entreprises à favoriser des options plus flexibles, mais les décideurs peuvent les y aider en développant par exemple des normes en faveur de solutions telles que les centrales à combustibles fossiles prêtes pour le captage du carbone, qui peuvent être équipées de ce système à un stade ultérieur.

À terme, les décideurs ne seront en mesure de surmonter ces problèmes de verrouillage que s'ils sont capables de fournir des signaux solides aux entreprises quant au rythme d'évolution de la réglementation environnementale auquel elles doivent s'attendre, puis d'en garantir la stabilité. Le choix du rythme de changement peut tenir compte du risque de création d'actifs échoués lié à l'introduction de certaines mesures. Toutefois, les décideurs doivent éviter de donner l'impression que toutes les installations en place seront protégées de pertes ultérieures liées à l'évolution de la réglementation environnementale. De telles garanties créeraient une situation d'aléa moral, dans laquelle les entreprises continueraient à construire des installations peu performantes sur le plan environnemental, ébranlant les attentes du reste du marché, et nuisant aux efforts menés pour faire évoluer le stock de capital.

Outre les infrastructures de production d'électricité et de fourniture de gaz, le problème des actifs échoués concerne également les ressources fossiles se trouvant dans le sol. Le *WEO-2011* de l'AIE estime les ressources pétrolières récupérables (conventionnelles et non conventionnelles) dans le monde à quelque 5 500 milliards de barils, les réserves prouvées s'établissant à environ un quart de ce total (AIE, 2011). Pour décider d'exploiter ou non ces ressources, les compagnies pétrolières se fondent sur la rentabilité, c'est-à-dire la différence entre la valeur du marché et les coûts de production. Comme, pour atteindre les ressources, les efforts de production devront être intensifiés, les coûts risquent d'augmenter, et d'autres technologies pourraient commencer à entrer en concurrence. Les réserves pétrolières pourraient donc ne pas se révéler commercialement exploitables en totalité. Néanmoins, dans la mesure où l'exploitation des ressources pétrolières existantes pourrait rester meilleur marché que la prochaine

technologie de remplacement disponible, cet écart devra être comblé par des incitations créées par des décisions publiques.

Graphique 3.1. Délais de renouvellement du stock de capital pour certains équipements énergétiques



Remarque : Les barres représentent la durée de vie moyenne tandis que les lignes d'amplitude représentent les variations typiques.

Source : AIE (2011), *World Energy Outlook 2011*.

Du point de vue de l'économie politique, il en résulte une double conséquence. D'une part, les possibilités de réduire la dépendance au pétrole dans le futur pourraient avoir une incidence sur les décisions de production actuelles, dans une tentative de minimiser les actifs échoués. Elles pourraient inciter les producteurs de pétrole à accélérer la production actuelle s'ils estiment que la demande future (et donc les prix) va chuter. Dans un contexte d'incertitude quant aux futurs coûts environnementaux, les décideurs ayant une aversion pour le risque pourraient décider d'augmenter les taux de récupération du pétrole de manière anticipée par rapport au niveau socialement optimal (Dabirian et Wong, 1995). En revanche, pour les infrastructures pétrolières situées en aval, comme les oléoducs et les raffineries, il se produirait l'effet inverse car les dépenses d'investissement substantielles qu'elles nécessitent constitueraient un obstacle à un développement accéléré, en raison de l'impact incertain des futurs coûts environnementaux sur la demande de pétrole.

D'autre part, les mesures impliquant de ne pas exploiter des ressources pétrolières commercialement viables devront créer des incitations suffisamment fortes pour contrecarrer les incitations à les exploiter. En termes de prix du carbone, 100 USD/baril équivalent à 240 USD/tonne de CO₂ (tCO₂). Cela ne signifie pas que, pour empêcher l'extraction du pétrole, il faudrait que le prix du carbone soit aussi élevé : il faudrait qu'il reflète la différence de coût entre le pétrole et son substitut. Certaines solutions de remplacement (comme les mesures axées sur la demande visant à augmenter le rendement des véhicules et des appareils) pourraient s'avérer relativement peu onéreuses. En revanche, le remplacement intégral

de l'infrastructure de distribution de carburant existante par une solution adaptée aux carburants alternatifs implique des coûts très importants, d'où la nécessité de cadres d'action très solides pour convaincre les investisseurs. Comme nous l'avons vu précédemment, une fois la transition achevée, le problème des incitations pourrait devenir moins crucial. Par exemple, si le parc automobile et son appareil de production finissent par abandonner les carburants d'origine pétrolière, le système se trouvera inscrit dans un autre régime, et la question d'évincer le pétrole par le biais des prix deviendra moins importante. Ce sont les incitations et les politiques à mettre en place durant la transition qui seront le plus difficile à gérer. Néanmoins, ces transitions sont possibles quand elles résultent de l'intervention publique. L'encadré 3.3 décrit les actions menées au Brésil pour faire diminuer le coût de l'éthanol carburant le long de la courbe d'expérience, ce qui lui a permis de passer d'un niveau égal à trois fois le prix de l'essence au début des années 80 à un niveau équivalent ou inférieur à celui-ci à la fin des années 90.

Encadré 3.3. Développement du marché de l'éthanol au Brésil

À la fin des années 70, le gouvernement fédéral brésilien a rendu obligatoire le mélange d'éthanol anhydre à l'essence (jusqu'à 25 %) et a incité les constructeurs automobiles à concevoir des moteurs fonctionnant à l'éthanol hydraté pur (100 %). L'adoption par le Brésil de réglementations contraignantes fixant la quantité d'éthanol à mélanger à l'essence (autrement dit, une norme de portefeuille d'énergies renouvelables applicable aux carburants) a joué un rôle crucial dans la réussite du programme. L'objectif était de réduire les importations de pétrole, qui engloutissaient la moitié du montant total des devises fortes issues des exportations. Mais il est bientôt apparu que le programme était source d'importants avantages environnementaux et sociaux. La conversion à l'éthanol a permis d'abandonner progressivement les additifs au plomb, les MTBE et de réduire les émissions de soufre, de particules et de monoxyde de carbone. Cela a permis de réduire efficacement les émissions de gaz à effet de serre, grâce à un bilan énergétique net positif. Les subventions à la production d'éthanol appartiennent au passé, car les nouvelles centrales à éthanol tirent parti des économies d'échelle et des technologies modernes disponibles aujourd'hui, telles que les chaudières à haute pression qui permettent la cogénération d'électricité.

Source : Goldemberg, J. (2007), « Ethanol for a Sustainable Energy Future ».

Effets sur l'emploi

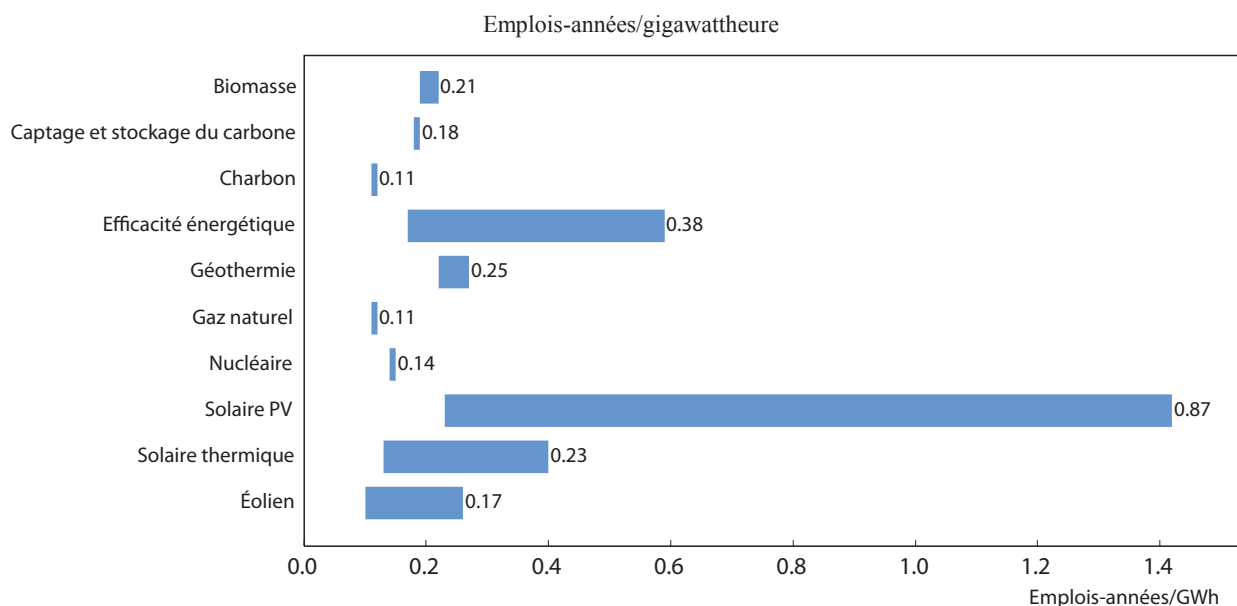
Le poids du secteur de l'énergie est beaucoup plus important en termes économiques qu'en termes d'emploi. Tandis que la valeur marchande totale des produits énergétiques utilisés à travers le monde représente 10 à 15 % du PIB mondial (en fonction des prix des combustibles observés), la contribution du secteur énergétique aux niveaux globaux d'emploi ne se monte qu'à environ 1 ou 2 % de la main-d'œuvre totale dans le monde. La restructuration du secteur énergétique devrait donc avoir un impact relativement mineur sur l'emploi mondial total. Néanmoins, ces changements directs ont de l'importance pour les acteurs du secteur énergétique : ils constituent le premier point abordé dans la présente section, qui s'intéressera ensuite aux effets d'équilibre à plus grande échelle à travers l'économie.

Effets directs

En ce qui concerne les effets directs d'une transition vers des sources d'énergie vertes sur l'emploi dans le secteur énergétique, un certain nombre d'études mettent en évidence un effet positif sur l'emploi net dans ce secteur, l'intensité de main-d'œuvre de la production d'énergies renouvelables étant supérieure à celle de la production d'énergies fossiles. Dans un rapport de synthèse portant sur 15 études, Wei, Patadia et Kammen (2010) constatent qu'aux États-Unis, toutes les sources d'énergie renouvelables et peu carbonées génèrent plus d'emplois par unité d'énergie produite que le secteur des combustibles fossiles. Toutefois, le type d'emplois diffère selon les technologies (production manufacturière ou

extraction de ressources, par exemple). En outre, la durée et la localisation des emplois peuvent varier au sein d'une région. Le nombre estimé d'emplois supplémentaires créés est exprimé en emplois-années, (soit le nombre de postes équivalents temps plein d'une durée d'un an) par unité d'électricité produite. Les résultats présentés dans le graphique 3.2 associent les emplois supplémentaires créés pendant la phase de construction de l'installation aux emplois supplémentaires liés à son exploitation.

Graphique 3.2. Éventail et moyenne des facteurs d'emploi directs pour différentes technologies énergétiques



Source : Wei, M, S. Patadia, et D. Kammen (2010), « Putting renewables and energy efficiency to work: how many jobs can the clean energy industry generate in the US? »

Une étude locale menée sur le terrain en Espagne conclut également à des effets positifs directs sur l'emploi. Cette étude montre en effet comment le développement des énergies renouvelables dans ce pays a entraîné la croissance des entreprises locales, depuis les micro-entreprises et les petites et moyennes entreprises (PME) jusqu'aux grandes entreprises de fabrication des technologies solaires et éoliennes dans l'Aragon (Llera Sastresa *et al.*, 2010).

Au niveau de l'Union européenne (UE), une étude commandée par le ministère fédéral allemand de l'Environnement, de la Protection de la nature et de la Sécurité nucléaire (Jaeger *et al.*, 2011) conclut que 6 millions d'emplois supplémentaires pourraient être créés en faisant passer l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'UE de 20 à 30 % d'ici à 2020 par rapport au niveau de 1990. Ces emplois proviennent en partie des efforts supplémentaires de rénovation des bâtiments et d'amélioration générale de l'environnement bâti. Des recherches menées entre autres par le Fraunhofer Institute (Ragwitz, 2009) ont permis de conclure que la mise en œuvre des politiques européennes en faveur des énergies renouvelables entraînerait la création de 2.8 millions de nouveaux emplois dans le secteur des énergies renouvelables d'ici à 2020, et 3.4 millions d'ici à 2030. Dans cette étude, l'emploi net (c'est-à-dire prenant en compte les effets sur l'emploi dans l'ensemble de l'économie) enregistre une hausse positive à court terme (à l'horizon 2020), mais une baisse à plus long terme (à l'horizon 2030) en raison de la hausse des coûts de l'énergie.

Aux États-Unis, dans le projet de loi pour la relance économique, 41.4 milliards USD (soit 5 % de l'enveloppe globale) ont été alloués au secteur des énergies propres ; les deux plus grandes parts de ce budget ont été affectées à l'efficacité énergétique et à la technologie de réseaux intelligents (Conférence de Copenhague sur le climat, 2009). Selon les estimations, les investissements dans l'efficacité énergétique créent environ 13 emplois équivalents temps plein par million de dollars investis, ces emplois provenant uniquement de la fabrication et l'installation du matériel nécessaire. En revanche, les effets indirects résultant de la hausse du revenu disponible des ménages évoquée plus haut sont exclus. Les réseaux intelligents constituent un autre vecteur prometteur de croissance de l'emploi et pourraient créer de nombreux emplois permanents, non seulement sous la forme d'emplois directs dans les compagnies d'électricité, mais également par la hausse des investissements dans la construction des équipements d'infrastructure. Par ailleurs, les dispositifs domestiques nécessaires pour faire le lien entre les fournisseurs d'électricité et les consommateurs constituent un nouveau marché potentiel pour les constructeurs.

Au niveau mondial, un rapport conjoint de Greenpeace et du Conseil européen des énergies renouvelables (EREC) a estimé que, par rapport à un scénario de politiques inchangées, la transition vers un système énergétique durable créera en 2030 2.7 millions d'emplois supplémentaires soit une hausse de près de 30 % pour le secteur énergétique. Ce chiffre implique des transferts beaucoup plus importants entre les secteurs, ceux du charbon, du gaz et du pétrole perdant près de 2.5 millions d'emploi, et celui des énergies renouvelables en gagnant près de 5.3 millions selon leur scénario « énergies propres » (EREC, 2010).

Effets à l'échelle de l'économie

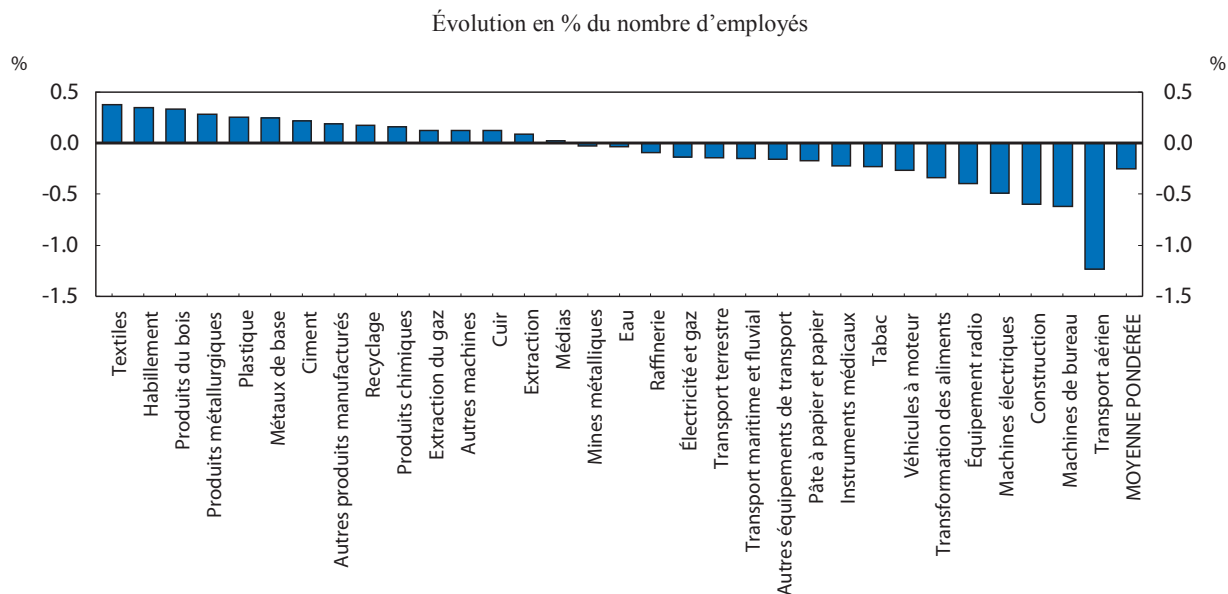
Les données relatives aux effets sur l'emploi dans l'ensemble de l'économie sont mitigées : la plupart des études suggèrent que l'impact des changements structurels verts sur le niveau total de l'emploi est relativement restreint. Si l'impact net au niveau de l'économie entière est moindre, c'est notamment parce que l'on prédit souvent qu'une transition vers une utilisation accrue des énergies renouvelables augmentera les prix de l'énergie dans l'ensemble de l'économie. La production et l'emploi dans d'autres secteurs de l'économie peuvent également être freinés lorsque le secteur énergétique absorbe davantage de travailleurs et d'investissements dans les capacités physiques. Par exemple, une certaine pression à la hausse sur les salaires ou les taux d'intérêt pourrait apparaître, décourageant la création d'emplois dans d'autres secteurs.

Les études empiriques des effets de la réglementation environnementale tendent également à apporter des éléments de preuve plutôt non concluants en ce qui concerne les effets nets sur l'emploi. Enevoldsen, Ryelung et Andersen (2007) ont analysé les effets des taxes énergétiques sur huit secteurs dans sept pays européens, et ont mis en évidence un effet légèrement négatif des taxes énergétiques sur la compétitivité et la production. Toutefois, Henderson et Millimet (2005), prenant pour référence un échantillon américain, montrent que la rigueur environnementale a des effets non significatifs sur la production à l'échelle des États. Roland-Holst (2008) a constaté qu'en Californie, les mesures d'efficacité énergétique ont permis aux ménages de réorienter leurs dépenses vers d'autres biens et services, d'où la création de quelque 1.5 million d'emplois équivalents temps plein pour une masse salariale totale de 45 milliards USD, stimulée par des économies énergétiques bien attestées des ménages pour un montant de 56 milliards USD entre 1972 et 2006.

Commins, N. *et al.* (2011) utilisent des données microéconomiques pour examiner l'influence des taxes sur le carbone et l'énergie en Europe sur les niveaux d'emploi, le comportement en matière d'investissement, et la productivité des entreprises européennes entre 1996 et 2007. L'effet partiel moyen sur l'emploi des entreprises d'une hausse de 1 % des taxes énergétiques est présenté pour différents secteurs dans le graphique 3.3. Ce dernier montre très clairement que le rééquilibrage entre les secteurs pourrait être beaucoup plus significatif que l'impact total sur l'emploi. Les évolutions induites par les

taxes énergétiques peuvent donner une idée de la réaction de l'emploi face à une hausse équivalente des prix de l'énergie résultant d'un passage à des technologies énergétiques plus durables.

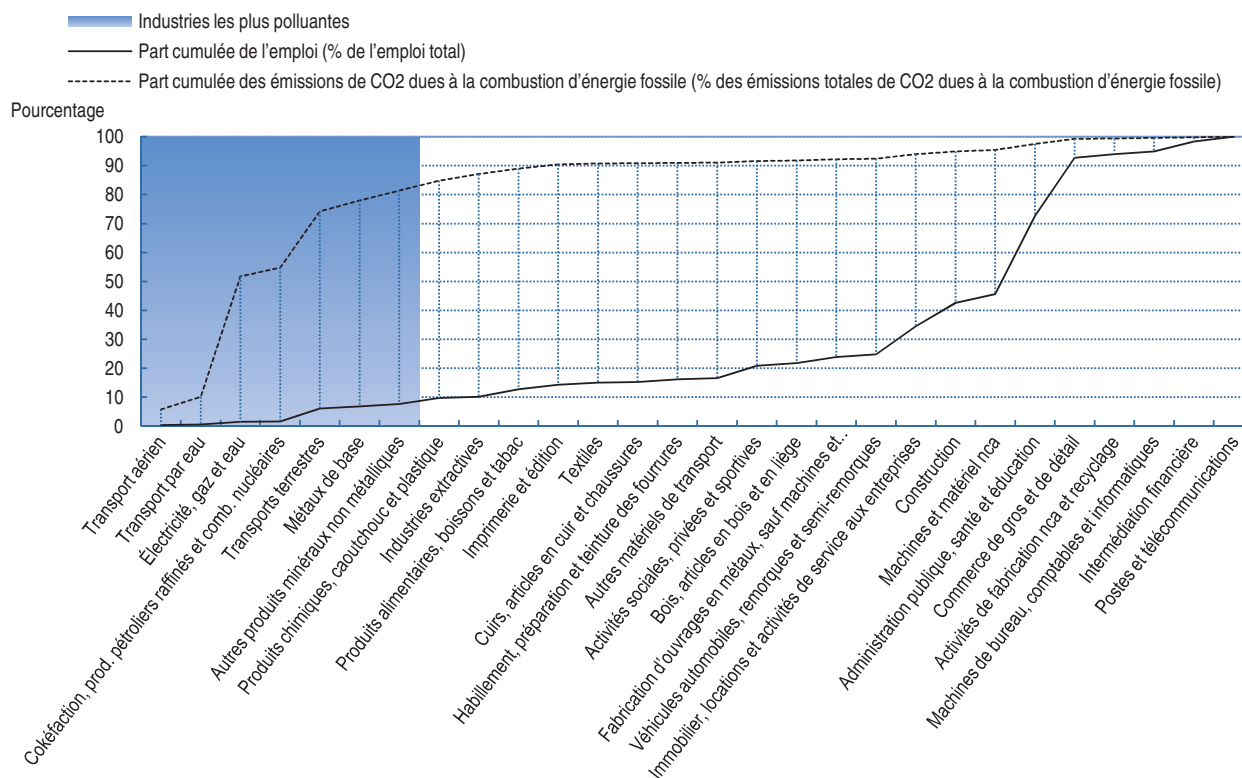
Graphique 3.3. Effet sur l'emploi d'une hausse de 1 % des taxes énergétiques



Source : Commins N., *et al.* (2011), « Climate Policy and Corporate Behaviour ». Reproduit avec l'autorisation de l'International Association for Energy Economics, éditeurs de l'*Energy Journal*.

Il ressort du graphique 3.4 que les éventuels ajustements associés à la croissance verte seront probablement concentrés sur une faible proportion de la population active totale. De fait, si les industries les plus polluantes sont responsables d'une large part des émissions totales de CO₂, elles ne représentent qu'une faible part de l'emploi total. En 2004, dans les pays de l'OCDE pour lesquels on dispose de données, ces industries étaient responsables en moyenne de 82 % des émissions de CO₂ du secteur non agricole, alors qu'elles employaient moins de 8 % de la population active totale (OCDE, 2011).

Bien que les avis divergent quant à savoir si les éventuels changements affectant l'emploi total seront positifs ou négatifs, il semble probable que la réorientation du développement économique des secteurs « bruns » vers les secteurs « verts » aura un impact assez significatif en termes de transferts d'emplois entre les secteurs. Ces changements pourraient également avoir d'importantes conséquences géographiques sur l'emploi, entraînant des transferts des besoins de main-d'œuvre entre les régions d'un même pays, voire entre les pays, ce qui pourrait avoir des incidences politiques non négligeables.

Graphique 3.4. Emploi et intensité d'émission de CO₂ dans les différents secteursMoyenne non pondérée de 27 pays de l'OCDE, 2004¹

1. Les secteurs sont classés par intensité croissante des émissions de CO₂, définie comme le rapport émissions de CO₂/valeur ajoutée. Au niveau de désagrégation pris en compte dans le graphique, les plus polluants sont au nombre de sept : trois concernent les transports, deux la production d'énergie, et deux le secteur manufacturier.

Source : EFT, Base de données GTAP, base de données KLEMS.

Le rôle des politiques du marché du travail

L'impact des taxes environnementales sur l'emploi dépend de la manière dont ces taxes sont intégrées au système fiscal général. Une première étude a évoqué l'éventualité d'un « double dividende » qui pourrait être créé par l'instauration de taxes environnementales qui sont ensuite recyclées pour alléger la fiscalité du travail, d'où une amélioration de l'emploi et de la qualité environnementale (Repetto *et al.*, 1992). À l'inverse, les premiers modèles d'équilibre général tendent à montrer que les taxes environnementales interagissent avec les taxes existantes pour exacerber les inefficiences fiscales au lieu d'y remédier. Ainsi, la réglementation environnementale conduirait à une augmentation générale des coûts pour les entreprises, décourageant l'investissement et l'emploi (Bovenberg et de Mooij, 1994 ; Parry, 1995). Toutefois, le développement de ces premiers modèles fait apparaître que le recyclage des taxes environnementales peut avoir en réalité un impact bénéfique sur l'emploi, mais que cela dépend des caractéristiques du régime fiscal préexistant (Bento, 2007). L'application de ces modèles au niveau régional a montré, par exemple, que l'utilisation des taxes sur le carbone pour financer la réduction de l'impôt sur le capital, qui engendre des distorsions, peut avoir un effet global sur la croissance (Takeda, 2007) ; que le recyclage des taxes énergétiques pour compenser l'impôt sur le revenu stimulerait la

consommation et l'investissement intérieurs au Taipei chinois (Bor et Huang, 2010) ; et que la fiscalité environnementale apporterait des avantages économiques à la Turquie, les combustibles et carburants étant la principale source d'émissions polluantes (Kumbaroglu, 2003).

Fondés sur un modèle d'équilibre général multisectoriel transnational, les exercices de simulation réalisés par l'OCDE à titre d'illustration³ indiquent que la politique d'atténuation du changement climatique a un impact limité sur la croissance économique et la création d'emplois (OCDE, 2011). En présence de rigidités du marché du travail, cette politique d'atténuation stimule en fait la croissance de l'emploi lorsque les recettes tirées de la tarification du carbone sont utilisées pour alléger la fiscalité du travail. Dans le cas d'un degré intermédiaire de rigidité du marché du travail, l'emploi dans la zone OCDE augmenterait de 7.5 % au cours de la période 2013-2030, contre 6.5 % en l'absence de mesures d'atténuation, et ce, sans aucune perte de pouvoir d'achat pour les travailleurs.

Les coûts d'ajustement associés à ces changements structurels peuvent être facilités par des panoplies de mesures bien conçues en matière de politiques du marché du travail et de développement des compétences, qui contribuent à dynamiser ce marché et à faire en sorte qu'il n'exclue personne. Ces panoplies peuvent comporter notamment des mesures de formation qui permettent aux travailleurs d'acquérir les compétences dont ils ont besoin pour passer d'un secteur ou d'une entreprise en déclin à un secteur ou une entreprise en expansion. Cette approche devrait contribuer à garantir que l'ajustement puisse être réalisé de manière compatible avec des politiques sociales appropriées, même si la transition fera des gagnants et des perdants. En particulier, les travaux de l'OCDE sur la croissance verte attirent l'attention sur les trois domaines d'action auxquels il faudrait donner la priorité pour promouvoir une transition sans heurts, qui n'exclut personne (OCDE, 2011) :

- Un solide système de développement des compétences, et des programmes actifs du marché du travail facilitant la réinsertion rapide dans l'emploi, constituent les éléments clés d'une politique de l'offre visant à renforcer la capacité structurelle d'adaptation du marché du travail.
- Du côté de la demande, une protection modérée de l'emploi et une vive concurrence sur les marchés de produits sont deux facteurs importants pour favoriser une création d'emplois vigoureuse dans un contexte où les politiques environnementales et l'éco-innovation créent de nouvelles niches concurrentielles vertes.
- Les mesures qui ont pour but de renforcer la capacité d'adaptation du marché du travail doivent être associées à des dispositifs d'accompagnement comme l'assurance chômage et les prestations liées à l'exercice d'une activité, pour faire en sorte que le dynamisme recherché ne soit pas obtenu au prix d'une insécurité ou d'une inégalité excessives pour les travailleurs et leurs familles.

Effets redistributifs

Les effets redistributifs sont importants pour l'économie politique de la transition énergétique, car même si les coûts globaux de la transition sont faibles, les gouvernements doivent veiller à éviter toute conséquence néfaste pour les ménages pauvres. En outre, tout transfert de richesse d'un groupe à un autre tend à susciter une résistance politique. Des effets redistributifs peuvent également survenir entre les pays du fait de la modification de la structure des échanges concernant les combustibles fossiles.

Pour les pays ne bénéficiant que d'un accès limité à l'énergie, l'accroissement des taux d'électrification peut être l'un des moyens les plus efficaces de réduire la pauvreté énergétique, et peut apporter des améliorations significatives en termes de redistribution des richesses aux communautés les

plus pauvres. Le Brésil a instauré des programmes pour faire bénéficier les couches les plus défavorisées de la société, y compris celles vivant dans des zones rurales isolées, d'un approvisionnement énergétique sûr et fiable. Pereira, Vasconcelos Freitas et da Silva (2011) montrent que l'électrification rurale du Brésil a entraîné une réduction sensible du niveau de pauvreté énergétique, et donc une amélioration de l'équité énergétique. Des conclusions similaires ont été tirées pour le Bangladesh (Barnes, Khandker et Samad, 2011), où 58 % des foyers ruraux sont en situation de pauvreté énergétique, contre 45 % en situation de pauvreté monétaire. Elles suggèrent également que des politiques en faveur de l'électrification rurale et de la diffusion des fourneaux à biomasse améliorés pourraient jouer un rôle crucial dans la réduction de la pauvreté énergétique. L'installation du photovoltaïque domestique au Ghana a entraîné une baisse des dépenses énergétiques, et une hausse du nombre d'enfants ayant accès à l'éclairage (Obeng *et al.*, 2008). Toutefois, la création d'incitations adaptées à l'investissement en faveur de l'électrification continue de poser problème, comme évoqué dans l'encadré 3.4.

L'un des principaux changements nécessaires pour passer à un système énergétique plus vert est la suppression des subventions énergétiques, afin que les consommateurs fassent des choix plus rationnels dans leur utilisation de l'énergie. Les subventions énergétiques sont généralement en place afin d'aider les plus pauvres à accéder aux services énergétiques de base. Malgré les distorsions créées par ces subventions énergétiques, leur suppression risque d'être politiquement difficile sans mesures permettant de compenser l'impact financier sur les communautés les plus pauvres. Une analyse de la suppression des subventions menée au Nigéria montre que cette suppression augmenterait le niveau national de pauvreté, si les économies générées n'étaient pas réinvesties (Nwafor et Asogwa, 2006). Cela est dû à la hausse considérable des coûts des intrants, qui est supérieure à celle des prix de vente, et au fait que les produits pétroliers n'assurent un revenu qu'à un nombre extrêmement faible de ménages. Les gouvernements peuvent atténuer ces effets en transférant les économies supplémentaires aux ménages. Cela aura tendance à favoriser les communautés rurales plutôt qu'urbaines, mais les gouvernements devront contrebalancer les effets inflationnistes de tels transferts.

La Banque mondiale (2009) remarque que le financement public des subventions énergétiques freine considérablement les économies des pays en développement, et qu'en réalité, la plupart des subventions reviennent aux consommateurs les mieux lotis. Par conséquent, une réduction des subventions serait non seulement économiquement efficiente, mais elle pourrait aussi renforcer la progressivité si les économies réalisées étaient investies dans une protection sociale ciblant mieux les plus défavorisés. Malgré l'ampleur des subventions, les informations sur leurs bénéficiaires demeurent limitées. Toutefois, les rares informations disponibles montrent que ces subventions sont mal ciblées, en raison du rapport entre niveau de revenu et consommation d'énergie. En effet, la plupart des populations pauvres des pays en développement n'étant pas connectées au réseau électrique et ne possédant pas de voitures, elles ne bénéficient pas directement des subventions aux combustibles et carburants. Certes, elles en profitent indirectement en raison de la baisse des prix des biens et services à forte intensité énergétique, comme les transports en commun. Mais une étude de Coady *et al.* (2006) a montré que, en Bolivie, au Ghana, en Jordanie, au Mali et au Sri Lanka, même en tenant compte de ces bénéfices indirects, les 40 % les plus pauvres de la population reçoivent seulement 15 à 25 % des subventions aux combustibles et carburants.

Cette conclusion est étayée par Gangopadhyay, Ramaswami et Wadhwa (2005), qui montrent que les subventions au GPL et au kérosène accordées par l'Inde avant la restructuration de son secteur énergétique étaient surtout utilisées par les catégories les plus aisées des zones urbaines, et que ces aides étaient en grande partie gaspillées car la moitié du kérosène subventionné était détourné et n'atteignait jamais les consommateurs. Il ressort de ces constatations que ces subventions sont tout à fait impropres à améliorer le bien-être des pauvres. De même, Lin et Jiang (2011) montrent qu'en Chine, les ménages à bas revenu, qui représentent 22 % de la population totale, se partagent seulement 10 % des subventions à l'électricité allouées au secteur résidentiel. En revanche, les 9 % les plus riches reçoivent 19 % de ces subventions : leur redistribution pour améliorer le système de sécurité sociale aurait un impact positif sur le bien-être social et les variables macroéconomiques.

Autrement dit, bien qu'une simple suppression des subventions énergétiques puisse être néfaste pour les pauvres, il serait possible cependant de rééquilibrer les dépenses publiques en abandonnant ces subventions, qui ne contribuent pas particulièrement à une meilleure répartition des richesses, au profit de politiques davantage axées sur la réduction de la pauvreté. Une telle redistribution des recettes publiques serait plus efficace et profiterait à l'économie dans son ensemble.

Dans les pays à revenu élevé, les effets redistributifs des politiques de tarification de l'énergie sont assez différents. Dans la mesure où la majorité des ménages disposent de revenus suffisants pour satisfaire leurs besoins énergétiques fondamentaux, la part des revenus consacrée à l'énergie décroît généralement à mesure que le revenu augmente. Il s'ensuit que dans ces pays, une hausse des prix de l'énergie liée, par exemple, à des taxes sur l'énergie et sur le CO₂ tend à augmenter les coûts de manière disproportionnée pour les couches les plus défavorisées de la société. Aujourd'hui, le Danemark affiche l'un des taux de fiscalité environnementale les plus élevés du monde, puisque celle-ci génère environ 10 % des recettes publiques. D'après Wier *et al.* (2005), bien que les évaluations montrent que les taxes environnementales danoises sur le CO₂ et autres sont efficaces pour réduire les émissions, les taxes sur la consommation énergétique des ménages et de l'industrie ont en réalité tendance à être régressives, et donc à avoir des effets redistributifs indésirables. Dans la mesure où les taxes semblent être régressives, les pouvoirs publics doivent s'assurer que des mesures compensatoires suffisantes sont en place pour réduire ces effets indésirables. Cette compensation peut consister à réduire les autres types de taxes ou à créer des transferts au profit de groupes spécifiques.

En revanche, Oladosu et Rose (2007) indiquent que la taxe sur le CO₂ en vigueur dans une région des États-Unis serait légèrement progressive en raison de l'inégalité de la répartition des variations de la production selon les secteurs, ainsi que des profils de revenus et des modes de consommation. Les secteurs les plus touchés, à la fois directement et indirectement, se caractérisent par des effets relativement plus importants sur les groupes à revenu moyen et élevé (producteurs de charbon syndiqués, actionnaires des compagnies d'électricité, par exemple). Cela contraste avec l'impact moindre sur les secteurs de l'alimentation, du logement et des services, qui représentent une part plus importante du panier de consommation des tranches inférieures de revenu. La diminution des bénéfices des entreprises à la suite de l'instauration d'une taxe sur le carbone renforce le résultat parce que ses effets sont ressentis plus fortement par les tranches supérieures de revenu. Les décideurs doivent donc tenir compte de leurs propres structures économiques lorsqu'ils envisagent les effets redistributifs de leurs politiques.

La plupart des publications relatives aux effets redistributifs s'intéressent à l'impact des politiques créant des effets de prix explicites, comme les taxes énergétiques, les subventions ou les systèmes de permis. Toutefois, toutes les politiques intégrant une réglementation directe auront, en général, un certain impact redistributif qui peut souvent être régressif. D'après Sutherland (2006), par exemple, l'application de normes d'efficacité énergétique affecte généralement le choix sur le marché en éliminant les appareils d'entrée de gamme d'un moins bon rendement énergétique. Manifestement, les consommateurs relativement riches achètent à peu près les mêmes appareils que ceux qu'ils achèteraient en l'absence de normes d'efficacité énergétique, et ne subissent donc que des pertes minimales. En revanche, les consommateurs relativement pauvres voient leurs choix préférés éliminés du marché par les normes publiques d'efficacité énergétique, ce qui leur porte forcément préjudice. Ces mesures régressives ne rencontrent pas toujours beaucoup d'opposition, mais les décideurs devraient néanmoins être très attentifs à ces effets, notamment au risque de les voir s'accumuler et avoir un impact significatif en cas d'interventions réglementaires répétées.

Un autre type d'effets redistributifs d'une transition vers une économie sobre en carbone concerne la balance commerciale entre les pays, notamment entre importateurs et exportateurs de combustibles fossiles. Durant les négociations climatiques internationales, l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) a affirmé qu'une transition énergétique mondiale entraînerait une baisse des revenus pétroliers parce que, toutes choses égales par ailleurs, le volume total de pétrole consommé serait

inférieur dans un monde dont les émissions de carbone sont limitées. Cette conclusion s'appuie sur une modélisation de Ghanem, Lounnas et Brennand (1999). De même, Van Vuuren *et al.* (2003) montrent que les coûts supportés par les régions exportatrices de pétrole en raison de la baisse des revenus pétroliers pourraient être du même ordre que les coûts directs des politiques d'atténuation du changement climatique, le commerce du pétrole en provenance des pays du Moyen-Orient passant de plus de 400 milliards EUR dans leur scénario de politiques inchangées en 2050 à environ 260 milliards EUR dans leur scénario à 550 ppm. Le *WEO-2010* évoque une baisse légèrement moindre, les revenus de l'OPEP étant inférieurs d'environ 16 % dans le scénario à 450 ppm par rapport au scénario *Nouvelles politiques* au cours de la période 2010-2035.

Encadré 3.4. La création d'incitations à l'investissement au Nigéria

En Afrique, les investissements dans les systèmes énergétiques propres sont relativement limités, ce qui est dû non seulement à la faiblesse des incitations en faveur des investissements énergétiques durables, mais aussi plus généralement à des conditions beaucoup moins propices à l'investissement. Le Nigéria offre un bon exemple de cette situation, avec un système électrique souffrant d'un manque chronique de capacité de production et de distribution (5 GW seulement environ pour une population de 140 millions d'habitants, contre environ 75 GW au Royaume-Uni pour une population représentant moins de la moitié de la population nigériane). Dans ce pays, les besoins en électricité sont souvent satisfaits à l'aide de groupes électrogènes diesel. L'installation d'un système électrique fiable au Nigéria a été identifiée comme un des développements infrastructurels le plus indispensables pour assurer la croissance économique. Les banques locales n'ont pas beaucoup d'expérience en matière de financement par emprunt des projets dans le secteur de l'énergie, bien que, avant la crise financière, certains projets étaient en train d'être montés à l'aide de prêts accordés par les banques commerciales nigérianes pour un montant pouvant représenter jusqu'à 25 % du total (Taylor, 2009). Malgré de bonnes perspectives de croissance (et donc de rentabilité financière), les risques associés à ces projets sont élevés en raison de la structure du marché de l'électricité nigérian.

L'une des principales raisons du sous-investissement chronique dans le secteur de l'électricité tient à la fixation des tarifs à un niveau trop bas pour permettre de récupérer les coûts d'investissement des projets. Il en résulte que non seulement les producteurs d'électricité indépendants ne sont pas incités à entrer sur le marché, mais que l'entreprise publique d'électricité, la Power Holding Company of Nigeria (PHCN), n'a pas non plus les moyens d'investir. La réponse des pouvoirs publics à cette situation a consisté à proposer que les tarifs soient augmentés sur un certain nombre d'années jusqu'à un niveau susceptible d'attirer les investissements.

Dans ces circonstances, les institutions financières internationales publiques (IFI) peuvent avoir un rôle important à jouer. Le cofinancement direct des projets énergétiques par des IFI peut contribuer à stimuler les investissements privés en apportant certaines garanties au plan politique, dans la mesure où les gouvernements bénéficiaires seront perçus comme moins susceptibles d'intervenir (en s'appropriant les actifs, par exemple) si le projet est soutenu par une grande institution comme la Banque mondiale, qui entretient une relation financière avec le pays d'accueil. Les grandes banques de développement participent toutes à d'importants programmes de promotion des investissements dans les énergies propres. (Pour un aperçu des activités des banques de développement dans le domaine du financement de l'efficacité énergétique, voir, par exemple, la publication du PNUE-Initiative Finance intitulée « Energy Efficiency and the Finance Sector », 2009.)

Toutefois, les études ne parviennent pas toutes à cette même conclusion. Persson *et al.* (2007) suggèrent qu'en raison des contraintes pesant sur la fourniture de pétrole conventionnel en dehors de la zone OPEP, les approvisionnements marginaux sur le marché mondial du pétrole proviendront en général à l'avenir de sources plus lourdes et plus polluantes, comme les sables bitumineux et les produits issus du charbon (CTL). Dans la mesure où une taxe sur le carbone augmenterait le coût de ces sources davantage que celui du pétrole conventionnel, cela permettrait aux régions exportatrices de pétrole d'augmenter le

niveau des rentes perçues. Ce résultat n'est toutefois pas valable si le secteur des transports délaisse massivement les carburants liquides au profit des véhicules électriques, par exemple.

Notes

- ¹ Sur la base d'un simple taux d'actualisation de 7 %.
- ² Dont 40 GW en Afrique du Sud.
- ³ Le scénario appliqué à titre illustratif dans la modélisation prévoit la mise en place d'un système d'échange de quotas d'émissions qui, sur la période 2013-2050, ramène progressivement les émissions de gaz à effet de serre dans les pays de l'OCDE à 50 % du niveau de 1990. L'objectif est moins rigoureux pour les pays non membres de l'OCDE : les émissions sont réduites de 25 % en 2050 par rapport aux niveaux qui seraient observés dans ces pays en l'absence de mesures d'atténuation, c'est-à-dire selon le scénario dit « de politiques inchangées ». Qui plus est, ces pays ne participent pas au dispositif de plafonnement et d'échange des pays de l'OCDE, et par conséquent opèrent leurs réductions d'émissions de façon indépendante. Ce scénario ne tient pas compte d'une éventuelle inefficience du scénario de politiques inchangées, ni des gains de bien-être qui pourraient être obtenus en évitant les dommages dus au changement climatique.

Références

- AIE (Agence internationale de l'énergie) (2002), *Beyond Kyoto : Energy Dynamics and Climate Stabilisation*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264171022-en
- AIE (2010), *World Energy Outlook 2010* (WEO-2010), Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/weo-2010-en
- AIE (2011), *World Energy Outlook 2011* (WEO-2010), Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/weo-2011-en
- Ambec, S. et P. Barla (2002), « A Theoretical Foundation of the Porter Hypothesis », *Economics Letters* 75 (3), Elsevier B.V., pp. 355-360.
- André, F., P. González et N. Porteiro (2009) « Strategic Quality Competition and the Porter Hypothesis », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 57(2), Elsevier B.V, Amsterdam, pp. 182–194.

- Banque mondiale (2009), « Climate Change and the World Bank Group », *World Bank Report*, Banque mondiale, Washington D.C.
- Banque mondiale (2010), Eskom Investment Support Project: Questions & Answers, disponible à l'adresse suivante :
http://siteresources.worldbank.org/INTSOUTHAFRICA/Resources/Q_A_Eskom_Investment_Support_Project_031810.pdf.
- Barnes, D. F., S. R. Khandker et H. A. Samad (2011) « Energy poverty in rural Bangladesh », *Energy Policy*, vol. 39, n° 2 (février), Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 894-904.
- Bazilian, M., M. Welsch, D. Divan, D. Elzinga, G. Strbac, M. Howells, L. Jones, A. Keane, D. Gielen, V. S. K. Murthy Balijepalli, A. Brew-Hammond et K. Yumkella (2011a), « Smart and Just Grids: Opportunities for Sub-Saharan Africa », Working Paper Energy Futures Lab, Imperial College, Londres.
- Bazilian, M., *et al.* (2011), « The Interaction between Energy Security and Climate Change », *Energy Policy*, Elsevier B.V., Amsterdam, à paraître.
- Bento, A. et M. Jacobsen (2007), « Ricardian Rents, Environmental Policy and the 'Double-Dividend' Hypothesis », *J. Environmental Economics and Management*, vol. 53, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 17-31.
- Bleischwitz, R. (2010), « International Economics of Resource Productivity: Relevance, Measurement, Empirical Trends, Innovation, Resource Policies », *International Economics and Economic Policy* 7, n° 23, pp. 227 – 244.
- Blyth, W. (2010), « The Economics of Transition in the Power Sector », International Energy Agency Information Paper, OCDE/AIE, Paris.
- Bor, Y. et Y. Huang (2010), « Energy Taxation and the Double Dividend Effect in Taiwan's Energy Conservation Policy », *Energy Policy*, vol. 38, pp. 2086-2100.
- Bovenberg, A. et R. de Mooij (1994), « Environmental Taxes and Labor-Market Distortions », *European Journal of Political Economy*, vol. 10 (4), Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 655-668.
- Chatham House (2010), « Low Carbon Development Roadmap for Jilin City », Chatham House, Londres, disponible à l'adresse suivante :
www.chathamhouse.org.uk/files/16194_r0310_lowcarbon.pdf.
- Coady, D., M. El-Said, R. Gillingham, K. Kpodar, P. Medas et D. Newhouse (2006), « The Magnitude and Distribution of Fuel Subsidies: Evidence from Bolivia, Ghana, Jordan, Mali, and Sri Lanka », *IMF Working Paper* WP/06/247, Fonds monétaire international, Washington, D.C.
- Commins, N., S. Lyons, M. Schiffbauer et R. S. J. Tol (2011), « Climate Policy and Corporate Behaviour », *Energy Journal*, vol. 32, n° 4, International Association for Energy Economy (IAEE), Ohio.
- Dabiriana, S. et D. Wong (1995), « Uncertain Environmental Costs and the Optimum Rate of Oil Recovery », *Journal of Environmental Management*, vol. 45 n°2, pp. 135-141.
- Deichmann, D., C. Meisner, S. Murray et D. Wheeler (2010), « The Economics of Renewable Energy Expansion in Rural Sub-Saharan Africa », *World Bank Policy Research Working Paper* 519, Banque mondiale, Washington D.C.

- Dubash, N. et D. Singh (2005), « Alternating Currents: Introduction to an International Review of Electricity Restructuring », *Economic and Political Weekly*, vol. 40, n° 50, Sammeksha Trust, Mumbai.
- Dosi, G. (1982), « Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change », *Research Policy*, vol. 11, n° 3, Elsevier B.V, Amsterdam, pp. 147-162.
- Enevoldsen, M.K., A.V. Ryelund et M.S. Andersen (2007), *The Impact of Energy Taxes on Competitiveness, Output and Exports: a Panel Regression Study of 56 European Sectors*, Work Package 3 in Competitiveness Effects of Environmental Tax Reforms, Rapport final à la Commission européenne, la Direction générale de la recherche et de l'innovation et la Direction générale de la fiscalité et de l'union douanière.
- EREC (Conseil européen des énergies renouvelables) et Greenpeace, « Working for the Climate: Renewable Energy and the Green Energy Revolution », www.energyblueprint.info.
- ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Program) (2011), « Energy Technology Data Source » (E- TechDS), www.iea-etsap.org/web/E-TechDS.asp.
- Frenette, G. et D. Forthoffer (2009), « Economic & Commercial Viability of Hydrogen Fuel Cell Vehicles from an Automotive Manufacturer Perspective », *International Journal of Hydrogen Energy*, 34 (9), Elsevier B.V, Amsterdam, pp. 3578-3588.
- Gangopadhyay, S., B. Ramaswami et W. Wadhwa (2005), « Reducing Subsidies on Household Fuels in India: How Will it Affect the Poor? », *Energy Policy*, Springer, Heidelberg, vol. 33, n° 18, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 2326-2336.
- Geels, F. (2005) « Processes and Patterns in Transitions and System Innovations », *Technological Forecasting and Social Change* 72, Elsevier B.V, Amsterdam, pp. 681-696.
- Ghanem, S., R. Lounnas et G. Brennard (1999), « The Impact of Emissions Trading on OPEC », *OPEC Review* 23, Wiley-Blackwell, New Jersey, pp. 79-112.
- Goldemberg, J. (2007), « Ethanol for a Sustainable Energy Future », *Science* (315), American Association for the Advancement of Science (AAAS), New York, pp. 808-810.
- Greaker, M. (2006), « Spillovers in the Development of New Pollution Abatement Technology: a New Look at the Porter-Hypothesis », *Journal of Environmental Economics and Management* 52(1), Elsevier B.V, Amsterdam, pp. 411-420.
- Grubler, A. (2004), « Transitions in Energy Use », *Encyclopedia of Energy*, vol. 6, Elsevier B.V, Amsterdam, pp. 163-177.
- Hamilton, K. (2009), « Unlocking Finance for Clean Energy: The Need for 'Investment Grade' Policy », *Chatham House Briefing Paper* EERG BP 2009/06.
- Haščič, I., N. Johnstone, F. Watson, et C. Kaminker (2010), « Climate Policy and Technological Innovation and Transfer: An Overview of Trends and Recent Empirical Results », Documents de travail de l'OCDE sur l'environnement, n° 30, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/5km33bnggcd0-en
- Henderson, D. et D. Millimet (2005), « Environmental Regulation and US State Level Production », *Economics Letters* 87, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 47-53.

- Hotopp, U., S. Radosevic et K. Bishop (2005), « Trade and Industrial Upgrading in Countries of Central and Eastern Europe », *Emerging Markets Finance and Trade* 41(4), M.E. Sharpe, New York.
- Jaeger, C., L. Paroussos, D. Mangalagiu, R. Kupers, A. Mandel et J. D. Tàbara (2011), *A New Growth Path for Europe: Generating Prosperity and Jobs in the Low-Carbon Economy*, rapport de synthèse à l'attention du ministère fédéral allemand de l'Environnement, de la Protection de la nature et de la Sécurité nucléaire.
- Kahrobaie, N., I. Haščič et N. Johnstone (2011), « International Research Collaboration in Climate Technologies: An Empirical Analysis of Technology Agreements », *OECD Energy and Climate Policy and Innovation*, OCDE, Paris.
- Kemp, R. (1994), « Technology and the Transition to Environmental Sustainability: The Problem of Technological Regime Shifts », *Futures* 26(10), Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 1023-46.
- Kern, F. et A. Smith (2008), « Restructuring Energy Systems for Sustainability? Energy Transition Policy in the Netherlands », *Energy Policy* 36, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 4093-4103.
- Klepper, S. (2010), « The Origin and Growth of Industry Clusters: the Making of Silicon Valley and Detroit », *Journal of Urban Economics* 67, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 15–32.
- Krugman, P. (1979) « Increasing returns, monopolistic competition, and international trade », *Journal of International Economics*, vol. 9, n° 4, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 469-479.
- Kumbaroglu, G. (2003), « Environmental Taxation and the Economic Effects: a Computable General Equilibrium Analysis for Turkey », *Journal of Policy Making* 25, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 795-810.
- Lempert, R., S. W. Popper et S.C. Bankes (2003), *Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis*, RAND Corporation, Santa Monica, Californie.
- Lin, J.Y. (2010), « Growth Identification and Facilitation: the Role of the State in the Dynamics of Structural Change », *World Bank Policy Research Working Paper 5313*, Banque mondiale, Washington D.C.
- Lin, B. et Z. Jiang (2011), « Estimates of Energy Subsidies in China and Impact of Energy Subsidy Reform », *Energy Economics* 33, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 273–283.
- Liu, Y. et A. Kokko (2010), « Wind Power in China: Policy and Development Challenges », *Energy Policy* 38, Elsevier B.V., Amsterdam.
- Llera Sastresa, E., A. Aranda Usón, I. Zabalza Bribián et S. Scarpellini (2010), « Local impact of renewable on employment: assessment methodology and case study », *Renewable and Sustainable Energy Review*, 14 (2010), Elsevier B.V., Amsterdam, 689-690.
- Millan, J. (2005), « Power Sector Reform in Latin America: Accomplishments, Failures and Challenges », *Economic and Political Weekly* 40 (50), Sameeksha Trust, Mumbai.
- Mitchell, J. et P. Stevens (2008), « Ending Dependence: Hard Choices for Oil-Exporting States », *Chatham House Report*, disponible à l'adresse suivante : www.chathamhouse.org/sites/default/files/public/Research/Energy,%20Environment%20and%20Development/0708oildependence.pdf.

- Niez, A. (2010), « Comparative Study on Rural Electrification Policies in Emerging Economies: Keys to successful policies », *IEA Energy Papers*, n° 2010/03, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/5kmh3nj5rzs4-en
- Nwafor, M. et R. Asogwa (2006), « Does Subsidy Removal Hurt The Poor? », African Institute for Applied Economics, Research Paper 2, disponible à l'adresse suivante : www.aiaenigeria.org/Publications/Researchpaper2.pdf.
- Obeng, G.Y., H-D. Evers, F.O. Obeng, G.Y., H-D. Evers, F.O. Akuffo, I. Braimah et A. Brew Hammond (2008), « Solar Photovoltaic Electrification and Rural Energy Poverty in Ghana », *Energy for Sustainable Development XII* (1), Elsevier B.V, Amsterdam.
- OCDE (2011), *Vers une croissance verte*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264111332-fr
- Odenberger, M., T. Unger et F. Johnsson (2009), « Pathways for the North European Electricity Supply », *Energy Policy* 37, Elsevier B.V, Amsterdam, pp. 1660–1677.
- Oladosu, G. et A. Rose (2007), « Income distribution impacts of climate change mitigation policy in the Susquehanna river basin economy », *Energy Economics*, vol. 29 n° 3, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 520-544.
- OMS (Organisation mondiale de la santé) et PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement) (2009), « The Energy Access Situation in Developing Countries », Organisation mondiale de la santé, Genève, et Programme des Nations Unies pour le développement, New York.
- Palmer, K., W.E. Oates et P.R. Portney (1995), « Tightening Environmental Standards: the Benefit-Cost or No-Cost Paradigm », *Journal of Economic Perspectives* 9, American Economic Association, Tennessee, pp. 119-132.
- Parry, I. (1995), « Pollution Taxes and Revenue Recycling », *Journal of Environmental Economics and Management* 29, Elsevier B.V, Amsterdam.
- Pereira, M., M.A. Vasconcelos Freitas et N.F. da Silva (2011), « The Challenge of Energy Poverty: Brazilian Case Study », *Energy Policy* 39, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 167–175.
- Persson, T.A., C. Azar, D. Johansson et K. Lindgren (2007), « Major Oil Exporters May Profit Rather than Lose, in a Carbon-Constrained World », *Energy Policy* 35, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 6346–6353.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l'environnement) (, 2011), *Decoupling and Sustainable Resource Management: Scoping the Challenges*, PNUE, Paris, à paraître.
- PNUE-IF (Programme des Nations Unies pour l'environnement-Initiative Finance)(2009), « Energy Efficiency and the Finance Sector: a Survey on Lending Activities and Policy Issues », rapport commandé par le Groupe de travail sur les changements climatiques du PNUE-Initiative Finance, disponible à l'adresse suivante : www.unepfi.org/fileadmin/documents/Energy_Efficiency.pdf
- Porter, M. et C. von der Linde (1995), « Green and Competitive », *Harvard Business Review*, sept-oct, Harvard Business School Publishing, Massachusetts.
- Ragwitz, M., W. Schade, B. Breitschopf, R. Walz, N. Helfrich, M. Rathmann, G. Resch, C. Panzer, T. Faber, R. Haas, I. Konstantinaviciute, P. Zagamé, A. Fougeyrollas et B. Le Hir (2009), EmployRES. « The Impact of Renewable Energy Policy on Economic Growth and Employment in the European Union », Rapport final à la DG TREN, Contrat TREN/D1/474/2006.

- Rai, V. et D. Victor (2010), « Identifying Viable Options in Developing Countries for Climate Change Mitigation: The Case of India », *International Association for Energy Economics*, T1, International Association for Energy Economics (IAEE), Ohio.
- Repetto, R., R. C. Dower, R. Jenkins et J. Geoghegan (1992), « Green Fees: How a Tax Shift Can Work for the Environment and the Economy », *World Resources Institute*, Washington D.C.
- Roland-Holst, D. (2008), « Energy Efficiency, Innovation, and Job Creation in California », *Research Papers on Energy, Resources, and Economic Sustainability*, Center For Energy, Resources, and Economic Sustainability, Université de Californie, Berkeley.
- Smith, A., A. Stirling et F. Berkhout (2005), « The Governance of Sustainable Socio-Technical Transitions », *Research Policy* 34, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 1491-1510.
- Sovacool, B. et W. Rafey (2011), « Snakes in the Grass: The Energy Security Implications of Medupi », *Electricity Journal*, janv./fév. vol. 24, n° 1, Elsevier B.V., Amsterdam.
- Schumpeter, J. (1942), *Capitalism, Socialism and Democracy*, trad. française *Capitalisme, socialisme et démocratie*, Paris, Payot, 1951.
- Sutherland, R. (2006), « The Distributive Effects of Direct Regulation: A Case Study of Energy Efficiency Appliance Standards », Johnstone, N. et Y. Serret (dir. pub.) (2006), *The Distributional Effects of Environmental Policy*, Edward Elgar Publishing, Royaume-Uni, p. 171, doi : 10.1787/9789264066137-en
- Takeda, S. (2007), « The Double Dividend from Carbon Regulations in Japan », *Journal of Japanese International Economics* 21, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 336-364.
- Taylor, Malcolm (2009), communication personnelle, Globelec.
- Unruh, G. (2000), « Understanding Carbon Lock-in », *Energy Policy* 28, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 817-830.
- Unruh, G. (2006), « Globalizing Carbon Lock-in », *Energy Policy* 34 (10), Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 1185-119.
- Van Vuuren, D., M. G. J. den Elzen, M. M. Berk, P. Lucas, B. Eickhout, H. Eerens et R. Oostenrijk (2003), « Regional Costs and Benefits of Alternative Post-Kyoto Climate Regimes », *RIVM Report 728001025*, RIVM, Pays-Bas.
- Wamukonya, N. (2005), « Power Sector Reforms in Sub-Saharan Africa », *Economic and Political Weekly* 40 (50), Sameeksha Trust, Mumbai, pp. 5302-5308.
- Wang, Q. (2010), « Effective Policies for Renewable Energy – the Example of China's Wind Power – Lessons for China's Photovoltaic Power », *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 702–712.
- Wei, M, S. Patadia, et D. Kammen (2010), « Putting Renewables and Energy Efficiency to Work: How Many Jobs can the Clean Energy Industry Generate in the US? », *Energy Policy* 38, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 919–931.
- Wier, M., K. Birr-Pedersen, H. Klinge Jacobsen, et J. Klok, (2005), « Are CO₂ Taxes Regressive? Evidence from the Danish Experience », *Ecological Economics*, vol. 52, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 239-251.

Chapitre 4. Suivre les progrès accomplis sur la voie de la croissance verte

Le développement et la mise en œuvre de politiques de croissance verte dans le secteur énergétique nécessitent des informations et des indicateurs appropriés pour étayer l'élaboration et l'analyse des politiques et en surveiller l'application. L'OCDE a élaboré un cadre conceptuel afin de suivre les progrès accomplis sur la voie de la croissance verte. Bien que cet ensemble d'indicateurs soit toujours en cours de perfectionnement, les indicateurs clés pertinents pour le secteur de l'énergie sont ceux qui mesurent la productivité ou l'intensité carbone de la production et la consommation d'énergie (à différents niveaux, notamment national et sectoriel), l'intensité et l'efficacité énergétiques, la recherche et développement et les dépôts de brevets effectués dans le domaine des énergies « propres », ainsi que les taxes et subventions énergétiques.

Ils doivent être complétés par (i) des indicateurs de l'utilisation finale de l'énergie, qui aident les décideurs à comprendre comment les utilisateurs réagiront à l'évolution des prix de l'énergie, des revenus, des technologies, de l'efficacité énergétique, des modes de production, et du mode de vie, (ii) d'autres indicateurs énergétiques et environnementaux, et des indicateurs mesurant le degré d'accès à l'énergie.

Tandis que l'énergie fait l'objet de statistiques bien établies aux niveaux national et international, l'efficacité énergétique et l'innovation sont difficiles à mesurer, et les informations cohérentes par branche d'activité sont rares. Il convient d'intensifier les efforts afin d'améliorer la qualité des données, les méthodes et les définitions, et d'établir un lien entre ces données et les informations économiques.

L'élaboration et la mise en œuvre de conditions-cadres propices à une croissance verte doivent reposer sur une bonne connaissance des liens entre énergie, environnement et économie, et des arbitrages ou synergies en jeu. Cela requiert aussi des informations et des indicateurs appropriés pour étayer la formulation et l'analyse des politiques, identifier les mesures inefficaces ou obsolètes, et surveiller les progrès. Des ensembles bien conçus et opérationnels d'indicateurs sont essentiels pour suivre les tendances et les changements structurels, et évaluer les performances des politiques en matière de croissance verte. À terme, les indicateurs doivent permettre d'adresser des messages clairs aux décideurs comme au grand public.

Le présent chapitre examine les solutions envisageables pour suivre les progrès accomplis sur la voie de la croissance verte dans le secteur de l'énergie, en s'appuyant sur les travaux existants de l'OCDE et de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Le cadre de mesure de l'OCDE pour la croissance verte et les indicateurs énergétiques proposés sont présentés tout d'abord. Puis quelques thèmes et indicateurs particulièrement importants en matière d'énergie sont étudiés : ils portent sur l'intensité de dioxyde de carbone (CO₂) ou la productivité de l'utilisation de l'énergie, la technologie et l'innovation, l'intensité de CO₂ de la production d'électricité, l'efficacité de l'utilisation finale de l'énergie, et la pauvreté énergétique.

Les indicateurs présentés et discutés ici ne prétendent pas être exhaustifs ni définitifs. Ils nécessitent une mise au point et des efforts supplémentaires pour améliorer la qualité des données, les méthodes et les définitions.

Le cadre conceptuel de l'OCDE pour les indicateurs de la croissance verte

L'OCDE a élaboré un cadre conceptuel pour le suivi des progrès réalisés sur la voie de la croissance verte et pour l'identification des indicateurs pertinents pour les pays de l'OCDE et les grandes économies émergentes (OCDE, 2011a). Ce cadre est de nature générale ; il se compose de quatre groupes d'indicateurs interdépendants qui rendent compte des principaux aspects de la croissance verte : la productivité environnementale et des ressources de la production et de la consommation ; la base d'actifs naturels ; la dimension environnementale de la qualité de la vie ; les opportunités économiques et les réponses politiques. Ils sont complétés par des indicateurs décrivant le contexte socio-économique et les caractéristiques de la croissance (encadré 4.1).

Une sélection préliminaire d'indicateurs a été faite sur la base, entre autres, des travaux existants de l'OCDE, en fonction de leur pertinence politique, de leur justesse d'analyse et de leur mesurabilité. L'ensemble a été conçu de façon suffisamment souple pour que les pays puissent l'adapter à leurs contextes nationaux respectifs. Des travaux seront menés ultérieurement afin de perfectionner l'ensemble d'indicateurs et de sélectionner un ensemble restreint d'indicateurs « phares » capables de saisir les éléments centraux du concept de croissance verte et représentatifs d'un ensemble plus large de questions liées à la croissance verte. Cela contribuera à adresser des messages clairs aux décideurs, aux médias et aux citoyens.

Indicateurs de la croissance verte liés à l'énergie

L'énergie est une composante majeure de l'économie, à la fois en tant que secteur et en tant que facteur de production pour toutes les autres activités économiques. De par ses effets sur l'environnement, l'énergie est l'une des variables clés du développement économique durable et de la croissance verte. La combustion d'énergie est la principale source de pollution atmosphérique et d'émissions de gaz à effet de serre ; d'autres activités liées à l'énergie, comme sa production, sa transformation et sa distribution, ont des effets non négligeables en termes de pollution de l'eau, d'utilisation des sols et autres effets

environnementaux. Rendre compte de toutes ces dimensions et interactions nécessite un nombre suffisant d'indicateurs représentatifs des enjeux actuels.

L'ensemble d'indicateurs de la croissance verte proposé par l'OCDE inclut plusieurs indicateurs directement en rapport avec l'énergie (tableau 4.1). Ce cadre de mesure et ses quatre dimensions peuvent également servir à identifier des indicateurs complémentaires, plus spécifiques, relatifs à l'énergie et aux liens entre énergie et environnement, sur la base des ensembles d'indicateurs existants de l'OCDE et de l'AIE (par exemple, le Scoreboard et les indicateurs d'efficacité énergétique destinés à l'industrie de l'AIE, et l'ensemble d'indicateurs de l'OCDE relatifs à l'intégration des préoccupations environnementales dans les politiques énergétiques, conçu en collaboration avec l'AIE [OCDE, 1993]).

Encadré 4.1. Cadre conceptuel de l'OCDE pour le suivi des progrès accomplis sur la voie de la croissance verte.

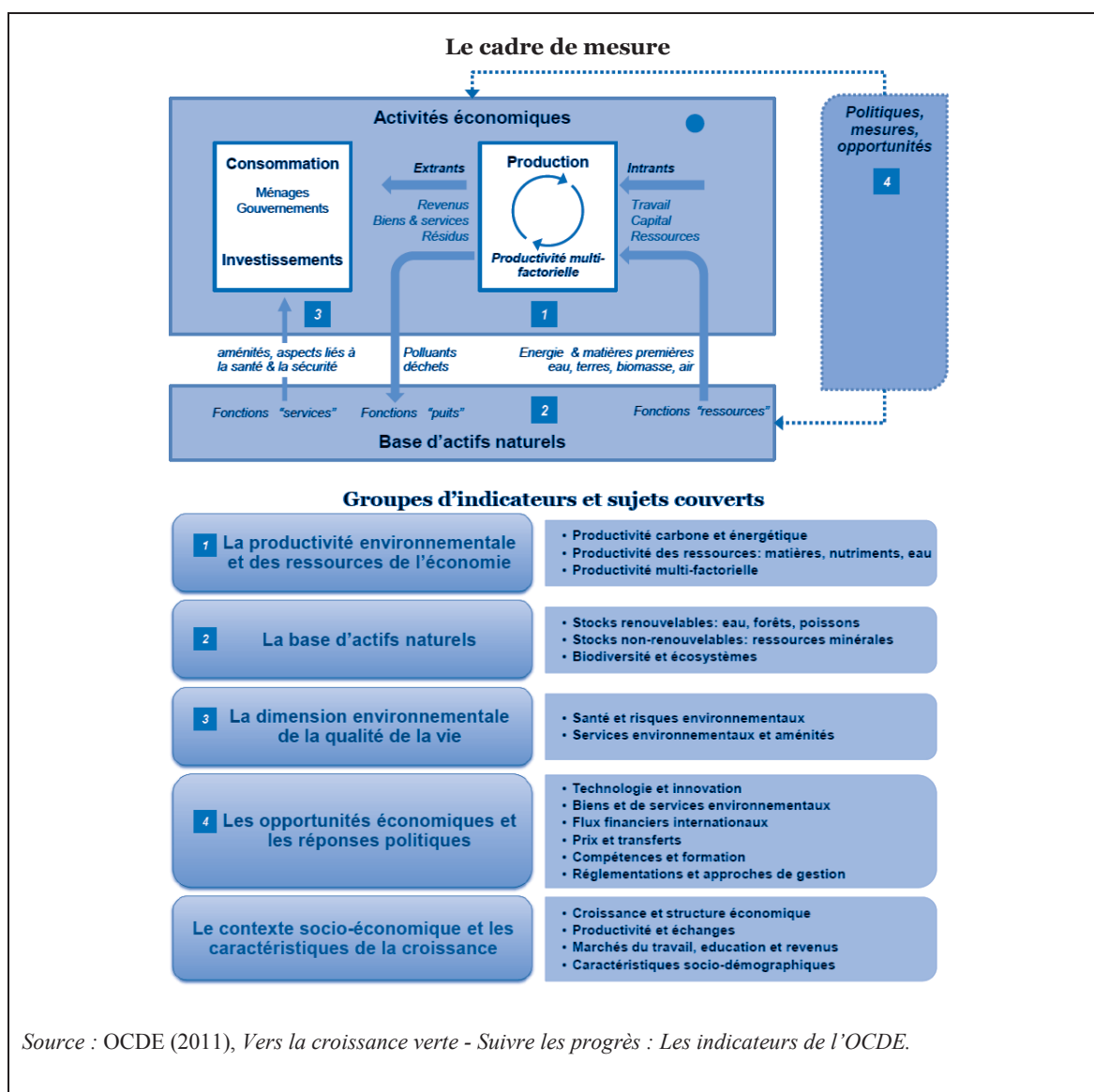


Tableau 4.1. Indicateurs relatifs à l'énergie dans l'ensemble d'indicateurs de la croissance verte proposé par l'OCDE

| Groupe/thème | Indicateurs relatifs à l'énergie proposés |
|--|---|
| Productivité environnementale et des ressources | |
| Productivité carbone et énergétique | <p>Productivité CO₂ Productivité CO₂ induite par la production et par la demande (PIB ou revenu réel par unité de CO₂ lié à l'énergie émis)</p> <p>Productivité énergie Productivité énergétique (PIB par unité d'approvisionnement total en énergie primaire, ATEP) Intensité énergétique par secteur (industrie manufacturière, transports, ménages, services) Part des énergies renouvelables (dans l'ATEP, dans la production d'électricité)</p> |
| Base d'actifs naturels | |
| Stocks non renouvelables | <p>Ressources minérales Stocks ou réserves (mondiales) disponibles de certains minéraux (à définir) : minéraux métalliques, minéraux industriels, combustibles fossiles, matières premières critiques; et taux d'extraction associés</p> |
| Qualité environnementale de la vie | |
| Santé et risques environnementaux | Pas d'indicateur spécifique relatif à l'énergie proposé dans ce domaine |
| Services environnementaux et aménités | Pourrait inclure un indicateur relatif à l'accès à l'énergie et aux services énergétiques |
| Opportunités économiques et réponses politiques | |
| Technologie et innovation | <p>Dépenses de recherche et développement (R-D) contribuant à la croissance verte (CV) - Énergies renouvelables (en % des dépenses totales de R-D dans le domaine de l'énergie) - Technologies environnementales (en % des dépenses totales de R-D, par type)</p> <p>Brevets intéressant la croissance verte Brevets concernant l'environnement, y compris les véhicules électriques et hybrides, l'efficacité énergétique des bâtiments et de l'éclairage, les énergies renouvelables (en % des demandes de brevets déposées dans le cadre du Traité de coopération en matière de brevets)</p> |
| Biens et services environnementaux | <p>Production de biens et services environnementaux (BSE) 1.1. Valeur ajoutée brute dans le secteur BSE (en % du PIB) 1.2. Emploi dans le secteur BSE (en % de l'emploi total)</p> |
| Flux financiers internationaux | <p>Flux financiers internationaux intéressant la CV (en % des flux totaux ; en % du revenu national brut) 1.3. Aide publique au développement 1.4. Financements liés aux marchés du carbone 1.5. Investissements directs étrangers (à définir)</p> |
| Prix et transferts | <p>Fiscalité environnementale Niveau et structure de la fiscalité environnementale (par type de base d'imposition)</p> <p>Prix de l'énergie (part des taxes dans les prix finaux) <u>A compléter avec des indicateurs sur :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Les subventions liées à l'environnement (à définir) • Les dépenses environnementales : niveau et structure |

Intensité et productivité CO₂

Près de 84 % des émissions de CO₂ sont liées à la combustion d'énergie fossile, alors que près de 65 % de la totalité des émissions de gaz à effet de serre peuvent être attribuées à l'approvisionnement et à la consommation énergétiques. L'énergie est un moteur de l'activité économique, qui fait l'objet de nombreuses mesures, du moins au niveau de la production et de la consommation globale.

Deux des indicateurs clés proposés concernent les gaz à effet de serre et les émissions de CO₂ liées à la production et la consommation intérieures. Ces indicateurs peuvent être exprimés sous la forme de ratios de productivité ou d'intensité, en rapportant les émissions aux mesures de la production ou de la consommation, ou sous la forme de tendances du découplage présentant les deux variables séparément. Le ratio des émissions de CO₂ imputables à la production rapportées au PIB est un indicateur fréquemment utilisé. Ce ratio regroupe plusieurs aspects liés à l'efficacité environnementale de la production et il est particulièrement adapté pour mesurer le découplage relatif entre les émissions de carbone liées à l'utilisation d'énergie fossile en tant que facteur de production et la production intérieure. L'intensité CO₂ de la production renseigne également sur d'autres aspects environnementaux, en particulier sur les émissions de gaz à effet de serre et, dans une certaine mesure, sur la pollution atmosphérique, qui sont corrélées à l'intensité carbone de la production économique.

Il convient de garder à l'esprit deux réserves en ce qui concerne les *mesures liées à la production* :

1. un indicateur du découplage relatif exprimé sous la forme d'un ratio n'indique pas si la pression environnementale a diminué ou non, et encore moins si cette pression est compatible avec la gestion durable des actifs naturels. Cette même remarque vaut pour la croissance. L'évolution de l'intensité des émissions dans le temps ne permet guère de savoir s'il y a eu croissance économique ou non : si le PIB se contracte, mais à un rythme plus lent que les émissions de gaz à effet de serre, l'indicateur marquera une hausse. En conclusion, l'évolution des deux composantes de la mesure de l'intensité des émissions de GES devrait pouvoir être différenciée. Le ratio lui-même peut donner une indication concernant l'écologisation de la production et les changements structurels intervenus dans l'économie, mais pas nécessairement sur l'écologisation de la croissance.
2. Une baisse de l'intensité d'émission de la production ne permet guère de savoir si cette réduction s'explique, entre autres, par de réels gains d'efficacité ou une modification du bouquet énergétique, ou encore par le remplacement des productions à forte intensité énergétique par des produits intermédiaires à forte intensité de carbone achetés à l'étranger.

C'est ici qu'entre en jeu la mesure de l'intensité ou de la productivité CO₂ basée sur la demande. L'indicateur qui peut lui être associé compare l'évolution des émissions de CO₂ induites par la demande à celle de la croissance économique. Le calcul des émissions induites par la demande consiste à ajouter les émissions incorporées dans les importations aux émissions imputables à la production intérieure, puis à en retrancher les émissions incorporées dans les exportations. Le résultat de ce calcul donne des informations sur les services environnementaux directement et indirectement consommés pour répondre à la demande finale intérieure (consommation des ménages et des administrations et investissement, essentiellement). Ces calculs permettent d'obtenir des informations nouvelles ou complémentaires sur les contributions respectives des pays aux pressions exercées sur l'environnement.

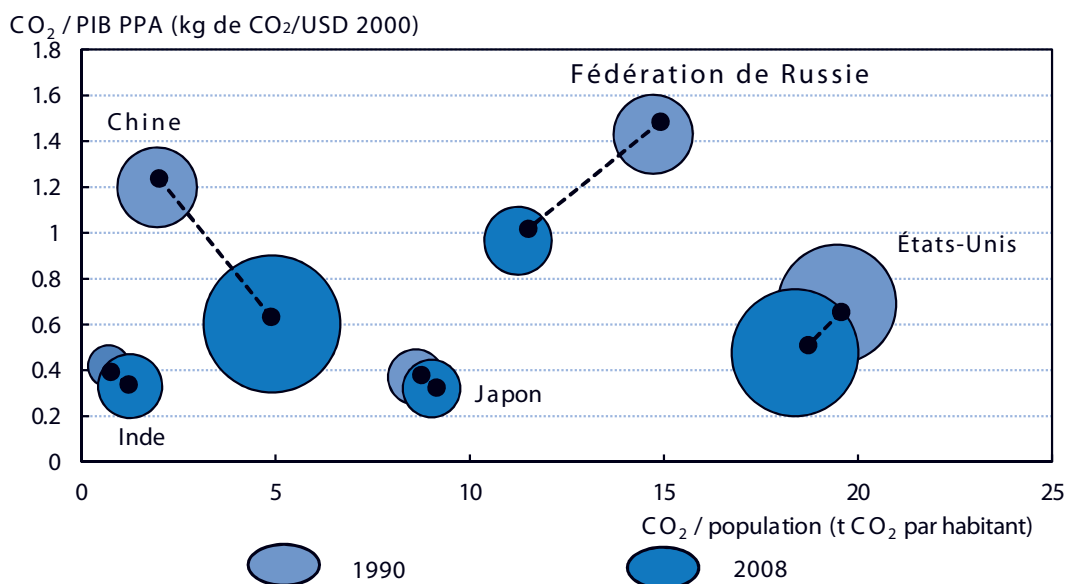
Lorsqu'on se place du point de vue de la demande, il conviendrait d'envisager une mesure du revenu autre que le PIB, comme le revenu disponible réel qui tient compte des flux de revenus entrant dans un pays et en sortant, et qui est exprimé en unités équivalentes de consommation¹. En le rapportant aux émissions de CO₂ induites par la demande, on obtient l'intensité d'émission de la production d'une unité de revenu réel. L'OCDE comme la Commission européenne militent en faveur d'une mesure allant au-delà du PIB de manière que les progrès d'une nation ne soient pas uniquement mesurés par

l'augmentation des transactions commerciales, mais par l'amélioration du bien-être général et de la protection du patrimoine écologique.

Dans les comparaisons internationales, les émissions de CO₂ sont parfois rapportées à des indicateurs socio-économiques. Le graphique 4.1 montre les tendances en matière d'intensité CO₂ pour les cinq principaux pays émetteurs. En 2008, ces pays (Chine, États-Unis, Fédération de Russie, Inde et Japon) représentaient 45 % de la population mondiale et produisaient 55 % des émissions mondiales de CO₂ et 50 % du PIB mondial. Toutefois, les parts relatives de ces cinq plus gros émetteurs dans les trois variables étaient très fluctuantes.

La contribution importante des États-Unis aux émissions mondiales en 2008 est associée à une part équivalente de la production économique, la plus importante du monde. Le Japon, avec un PIB plus de deux fois supérieur à celui de la Fédération de Russie, émet 28 % de CO₂ en moins. Bien que le climat et les autres variables affectent aussi la consommation d'énergie des pays, des valeurs relativement élevées des émissions par unité de PIB indiquent qu'il existe des possibilités relativement plus importantes de découpler davantage les émissions de CO₂ et la croissance économique. Des progrès dans ce sens pourront être réalisés en remplaçant les sources d'énergie à forte intensité de carbone ou en améliorant l'efficacité énergétique à tous les stades de la chaîne d'approvisionnement énergétique (de l'extraction du combustible à l'utilisation finale). Sur les cinq principaux émetteurs de CO₂ en 2008, la Chine, la Fédération de Russie et les États-Unis ont réduit de manière significative leurs émissions par unité de PIB entre 1990 et 2008. Les deux autres, l'Inde et le Japon, affichent déjà des émissions très basses par unité de PIB.

Graphique 4.1. Tendances en ce qui concerne l'intensité des émissions de CO₂ des cinq principaux émetteurs



Remarque : la taille des cercles représente les émissions totales de CO₂ du pays au cours l'année correspondante.

Source : AIE (2010), *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*.

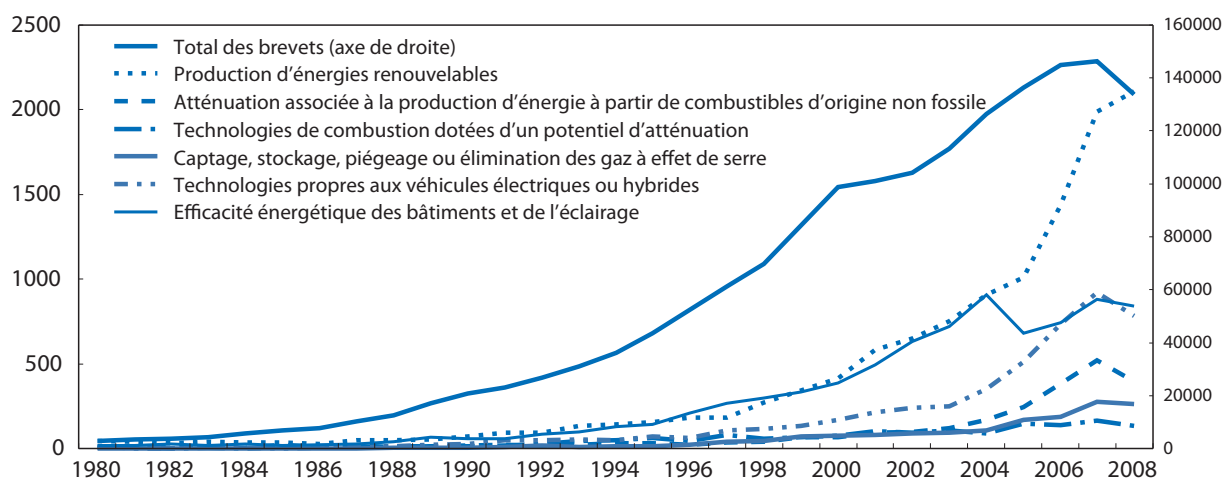
Technologie et innovation

L'innovation occupe à l'évidence une place centrale dans l'idée de croissance verte et son rôle a été décrit dans un rapport récent de l'OCDE intitulé *Fostering Innovation for Green Growth* (OCDE, 2011b). L'innovation entraîne une modification de la productivité multifactorielle, et permet donc de découpler les extrants des intrants en général. Il importe de distinguer l'innovation générale de l'innovation verte. Cette dernière constitue une facette particulière de la précédente et concerne principalement la recherche et développement et les technologies liées à l'environnement. Ainsi, l'innovation verte ne donnera qu'une image partielle du rôle que joue l'innovation en général dans la transition vers une croissance verte. L'élaboration d'indicateurs de la croissance verte nous place donc devant un dilemme : se concentrer sur les indicateurs de l'innovation verte ne permet pas d'apprécier pleinement l'importance de l'innovation mais, d'autre part, les indicateurs généraux de l'innovation ne permettent guère de suivre les réponses de la société aux défis de la croissance verte. Le choix s'est porté sur les indicateurs de l'innovation verte, comme l'activité brevets dans le domaine des technologies environnementales, mais il convient de tenir compte de leur spécificité lorsque l'on évoque le rôle de l'innovation dans la croissance verte.

Se fondant sur la base de données sur les brevets², la récente analyse de l'OCDE examine la production et la diffusion d'un certain nombre de technologies d'atténuation du changement climatique et leurs liens respectifs avec un certain nombre de politiques clés. Ces données relatives à un ensemble de domaines technologiques pertinents couvrent les 30 à 35 dernières années et concernent la totalité des pays. Elles montrent que le rythme de l'innovation s'est accéléré pour la plupart de ces technologies, ce qui a coïncidé approximativement avec l'entrée en vigueur du Protocole de Kyoto³. Cela est particulièrement vrai des technologies les plus proches de la compétitivité, comme l'éolien, certains systèmes solaires, les biocarburants, la géothermie et l'hydraulique. L'activité brevets pour les autres technologies, à savoir le captage et le stockage du carbone, a reculé, même par rapport au taux de dépôt de brevets en général et aux autres technologies énergétiques (Haščič *et al.*, 2010).

Graphique 4.2. Tendances en matière d'innovation dans le domaine de l'atténuation du changement climatique

Demandes de brevets déposées dans le cadre du Traité de coopération en matière de brevets (PCT) par les inventeurs résidant dans les pays de l'OCDE



Remarque : En ce qui concerne les stratégies et méthodes de recherche, consulter www.oecd.org/environment/innovation/indicator.

Source : OCDE (2012), *Energy and Climate Policies and Innovation*

Comme dans les autres secteurs, il n'existe pas d'indicateur unique de l'innovation reflétant à la fois le processus d'innovation et les principaux aspects de la politique d'innovation. Toutefois, certains indicateurs se révèlent particulièrement pertinents pour l'action publique, comme celui relatif à l'investissement public dans la recherche. La recherche peut aider à relever des défis scientifiques fondamentaux et contribuer à promouvoir des technologies jugées trop risquées, incertaines ou nécessitant une gestation trop longue pour le secteur privé. L'AIE suit les dépenses publiques de recherche, développement et démonstration (RD-D) de ses pays membres en matière d'efficacité énergétique et de sources d'énergie, et les compare aux dépenses totales de RD-D (voir graphique 2.4). L'AIE fournit aussi des statistiques concernant les dépenses publiques de RD-D dans le domaine des énergies bas carbone pour environ neuf technologies, l'efficacité énergétique dans l'industrie et la construction, le captage et le stockage du carbone, et les réseaux intelligents. Ces données pourraient être utiles pour concevoir des indicateurs de croissance verte pour le secteur de l'énergie.

Les données relatives à la RD-D et au dépôt de brevets concernant les technologies environnementales donnent un aperçu des aspects en amont de l'innovation verte. Les informations sur le financement des technologies énergétiques propres impliquant du capital-risque ou des fonds propres peuvent aider à évaluer les innovations proches d'une première application commerciale sur le marché. Les données disponibles relatives à l'investissement en capital-risque dans les technologies vertes mettent en évidence une forte croissance au cours des dernières années. En 2010, près d'un quart de tous les investissements en capital-risque effectués aux États-Unis concernaient des technologies énergétiques propres, contre moins de 1 % en 2000. Les secteurs clés étaient l'énergie solaire, les transports, l'efficacité énergétique, les biocarburants, les réseaux intelligents et le stockage d'énergie. Le suivi de ces tendances peut être instructif pour les décideurs, les acteurs de la RD-D et les entrepreneurs verts. Cleantech Market Insight (2011) et Bloomberg New Energy Finance (2011) mettent à disposition ces données.

Intensité CO₂ de la production d'électricité

Le suivi de l'intensité carbone de l'électricité peut mettre en lumière les progrès accomplis pour doter le développement économique et social d'un moteur plus vert. Dans la mesure où l'offre et la demande d'électricité doivent être équilibrées en permanence, la hausse de la demande est ce qui détermine en dernier ressort la hausse de la production.

Entre 1990 et 2008, la production mondiale d'électricité a augmenté de 70 % et les émissions de CO₂ concomitantes de 66 %. En 2008, la production d'électricité représentait 41 % des émissions mondiales de CO₂ (AIE, 2010).

Dans le secteur de la production d'électricité, si tous les pays produisaient de l'électricité en respectant les niveaux d'efficacité définis par les meilleures pratiques, la consommation de combustibles fossiles due à la production d'électricité pourrait être réduite de 23 à 32 % (AIE, 2010). Le plus gros potentiel d'économies d'énergie et de réduction des émissions de CO₂ réside dans l'amélioration de l'efficacité des centrales au charbon.

Il apparaît clairement que le suivi des tendances concernant les technologies mises en œuvre dans les nouvelles centrales, la substitution interénergétique, l'amélioration de l'efficacité découlant des économies techniques de combustible et la réduction des pertes de transport pourrait donner des indications utiles sur la progression vers un approvisionnement énergétique bas carbone. L'électricité est un vecteur énergétique appelé à connaître une forte hausse de la demande à court et long terme. Il sera donc particulièrement important de réduire les pertes de transport et de distribution et d'améliorer l'efficacité des centrales.

Le secteur de l'électricité est bien couvert par les bilans énergétiques aux niveaux national et international. Toutefois, il est nécessaire d'améliorer la qualité des données concernant notamment les

intrants et extrants des centrales, l'utilisation des énergies renouvelables pour produire de l'électricité, la production et la consommation d'électricité par les autoproducteurs, et la production combinée de chaleur et d'électricité. Chaque année, l'AIE publie des séries chronologiques de données relatives aux émissions de CO₂ de 140 pays et régions, mesurées en grammes (g) de CO₂ par kilowattheure, par secteur (production, transports, etc.) et par combustible fossile (pétrole, gaz, charbon) (AIE, 2010). Ces données fournissent des tendances qui permettent de prendre la mesure de la progression des stratégies de croissance verte aux niveaux mondial, régional et national.

Indicateurs de l'utilisation finale de l'énergie : démêler la complexité de la consommation énergétique

Les indicateurs de l'utilisation finale de l'énergie vont plus en profondeur que les statistiques hautement agrégées et la corrélation dans le temps entre la demande d'énergie et l'activité économique mesurée par le PIB. Bien que la hausse de la demande énergétique soit presque partout corrélée à la croissance économique, ce qui compte surtout, c'est la manière dont ce couplage varie entre les secteurs, entre les pays et entre les périodes. Il est important de comprendre comment les consommateurs d'énergie réagissent à un ensemble de facteurs variables ayant des impacts spécifiques : prix de l'énergie ; revenu ; technologie ; efficacité énergétique ; changements structurels dans la panoplie de biens et services demandés et produits ; et évolution du niveau de mobilité et de confort dont les personnes bénéficient ou auquel elles aspirent.

Les indicateurs de l'utilisation finale de l'énergie mettent en évidence, par exemple, une réduction marquée, dans les années 70 et 80, de la consommation directe de combustibles fossiles au profit de l'électricité, et le développement consécutif d'un lien étroit entre la croissance du PIB et la consommation d'électricité. Des indicateurs généraux révèlent également que les crises pétrolières de cette période ont profondément affecté la consommation de combustibles fossiles par le biais d'effets sur les prix qui ont abouti à de substantielles économies d'énergie⁴.

Au cours des dernières décennies, la croissance économique des pays de l'OCDE a augmenté le patrimoine des individus et leur a ouvert de nouvelles opportunités. Les gens voyagent davantage et possèdent des voitures plus grosses et en plus grand nombre. Leurs logements sont plus spacieux et plus confortables, et équipés d'appareils nombreux et variés. Ils ont accès à un éventail plus large de commerces, d'équipements de loisirs, d'écoles, d'hôpitaux et autres services, qui sont également de meilleure qualité. C'est un point positif, certes, mais qui a aussi entraîné un accroissement de la demande de services énergétiques, comme le chauffage et la climatisation, l'éclairage, les transports. Cette demande accrue n'aurait pas entraîné d'augmentation de la consommation réelle d'énergie si l'amélioration de l'efficacité énergétique, entre autres facteurs, avait suivi le rythme. Toutefois, cela n'a pas été le cas. En fait, depuis 1990, le taux d'amélioration de l'efficacité énergétique a été inférieur de moitié environ à ce qu'il était au cours des deux décennies précédentes (AIE, 2009a).

Nous sommes de plus en plus conscients du besoin urgent qu'il y a à mieux consommer les ressources énergétiques mondiales et à emprunter une trajectoire de développement plus durable et plus verte. L'amélioration de l'efficacité énergétique est souvent la solution la plus économique et la plus accessible pour parvenir à ce résultat. Où en sommes-nous dans nos efforts dans ce domaine ? Pourquoi l'intensité énergétique varie-t-elle tellement d'un pays à l'autre ? Et comment la mise en œuvre des meilleures technologies disponibles peut-elle contribuer à diminuer la consommation d'énergie ? Pour répondre à ces questions, l'AIE a développé des indicateurs approfondis, qui fournissent des données et des analyses de pointe sur la consommation d'énergie, l'évolution de l'efficacité et les émissions de CO₂.

Certains signes indiquent que le taux d'amélioration de l'efficacité énergétique a augmenté légèrement au cours des dernières années, dans le sillage des nombreuses mesures introduites. Outre ces récentes améliorations, le potentiel d'économies d'énergie demeure vaste dans tous les secteurs. Par

exemple, une analyse montre que la mise en œuvre des meilleures technologies et pratiques industrielles disponibles à l'échelle mondiale pourrait permettre d'économiser entre 18 et 26 % de l'énergie actuellement consommée par l'industrie. Le plus gros gisement d'économies réside dans les secteurs de la sidérurgie, du ciment ainsi que dans les secteurs chimiques et pétrochimiques (AIE, 2009b).

Pour faciliter la publication de données comparables, l'AIE a collaboré avec le Réseau ODYSSEE (Union européenne) et la Coopération économique Asie-Pacifique (APEC) afin d'élaborer un modèle standard d'indicateurs de l'efficacité énergétique. Ce modèle uniformise les contours du système, les définitions des données et les méthodologies spécifiques à la consommation d'énergie et aux données connexes. L'utilisation anticipée de ce modèle par certains pays a permis au secrétariat de l'AIE de définir une série d'indicateurs énergétiques désagrégés visant à collecter les données clés relatives à chaque grand secteur. Les informations recueillies par le biais du modèle sont utilisées pour développer des indicateurs de l'énergie et de l'efficacité énergétique expliquant l'évolution de la consommation d'énergie dans le temps. Les indicateurs clés de l'énergie et de l'efficacité destinés au secteur industriel, ainsi que leurs objectifs et leurs limites, sont présentés à titre d'exemple dans le tableau 4.2.

En général, ces indicateurs désagrégés vont plus en profondeur que les bilans énergétiques, car ils mettent l'accent sur les niveaux d'activité, les effets structurels, l'évolution de l'efficacité énergétique, et le potentiel d'économies d'énergie. Ils constituent un moyen beaucoup plus efficace de suivre l'évolution de la consommation d'énergie d'un pays et de mener des analyses comparatives. Ils peuvent contribuer à identifier les tendances émergentes et les facteurs sous-jacents dans les secteurs d'utilisation finale. Les indicateurs désagrégés peuvent également aider à repérer les possibilités d'amélioration de l'efficacité énergétique. Ainsi, ces indicateurs peuvent servir à la fois à définir les priorités des actions futures et à suivre les progrès réalisés.

En ce qui concerne le développement des indicateurs de suivi des progrès, le plus urgent est d'améliorer la disponibilité, l'actualité, la qualité et la comparabilité des données sous-jacentes. La situation est plus difficile dans les pays non membres de l'OCDE, la plupart d'entre eux n'ayant pratiquement pas de données disponibles. La qualité et la comparabilité des données doivent aussi être encore améliorées dans les pays membres de l'OCDE, notamment dans le secteur industriel.

Tableau 4.2. Indicateurs clés pour comprendre l'évolution de l'énergie et de l'efficacité énergétique dans l'industrie

| | Indicateur | Données requises | Objectifs | Limites |
|---|---|--|---|--|
| INDICATEURS DE L'ÉNERGIE ET DE L'ACTIVITÉ | Consommation énergétique totale de l'industrie par source d'énergie | Consommation énergétique totale de l'industrie par source d'énergie | Éclairer le rôle du bouquet énergétique final dans la consommation finale totale d'énergie. Éclairer l'évolution des émissions de CO ₂ . | <ul style="list-style-type: none"> L'évolution observée ne résulte pas nécessairement de l'amélioration (ou de la dégradation) de l'efficacité énergétique. Un élément, parmi de nombreux autres, influe sur l'évolution de la consommation d'énergie. Elle peut être attribuée à l'évolution des prix relatifs des combustibles, à des modifications de la structure et des processus industriels, et à la mise en œuvre d'une législation environnementale qui encourage l'utilisation de combustibles plus propres. |
| | Consommation énergétique par secteur industriel et par source d'énergie | Consommation énergétique par secteur industriel et par source d'énergie | Expliquer le rôle du bouquet énergétique dans l'évolution de la consommation énergétique de chaque secteur. Éclairer l'évolution des émissions de CO ₂ . Non influencée par la structure de l'industrie lorsque élaborée à un niveau très désagrégé. | <ul style="list-style-type: none"> L'évolution observée ne résulte pas nécessairement de l'amélioration (ou de la dégradation) de l'efficacité énergétique. Elle est influencée par l'évolution des prix relatifs des combustibles, l'évolution des processus industriels, et la mise en œuvre d'une législation environnementale. Elle est influencée par la structure industrielle si élaborée à un niveau agrégé (par ex., rubrique à deux chiffres de la Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique [CITI]). |
| | Composition de la valeur ajoutée industrielle (en monnaie constante) | Valeur ajoutée en monnaie constante par secteur industriel au niveau à deux chiffres de la CITI (ou plus détaillé) | Fournit des informations sur l'importance relative de chaque secteur. Éclaire l'impact de la structure industrielle sur la consommation d'énergie. Informations qualitatives contribuant à expliquer l'évolution de la consommation d'énergie. | <ul style="list-style-type: none"> La valeur ajoutée est influencée par un éventail d'effets sur les prix sans rapport avec l'évolution du niveau de production physique. La composition de la valeur ajoutée de l'industrie, au niveau à deux chiffres de la CITI, peut dissimuler une mutation structurelle importante au sein d'un secteur industriel. Ne donne pas d'informations sur le lien entre la valeur ajoutée et l'énergie, pourtant nécessaire pour quantifier l'impact du changement structurel. |
| | Consommation énergétique industrielle totale par unité de valeur ajoutée | Consommation énergétique totale de l'industrie Valeur ajoutée totale créée par l'industrie (en monnaie constante) | Refète l'évolution de la consommation totale d'énergie par rapport à la valeur ajoutée. Indique la relation générale entre la consommation d'énergie et le développement économique. | <ul style="list-style-type: none"> Influencée par des facteurs comme la géographie, le climat et la structure de l'économie. L'évolution dans le temps est influencée par des facteurs n'ayant pas forcément de rapport avec l'efficacité énergétique. |
| | Consommation d'énergie des secteurs industriels par unité de valeur ajoutée | Consommation d'énergie par secteur industriel Valeur ajoutée correspondante (en monnaie constante) | Indiquer la relation générale entre la consommation d'énergie et le développement économique. | <ul style="list-style-type: none"> Peut dissimuler une mutation structurelle importante au sein d'un secteur industriel (mais cet impact sera quelque peu compensé par l'utilisation de données plus détaillées sur l'énergie et la valeur ajoutée). La valeur ajoutée est influencée par un éventail d'effets sur les prix sans rapport avec l'évolution de la production physique sous-jacente. |

Tableau 4.2 (suite) Indicateurs clés pour comprendre l'évolution de l'énergie et de l'efficacité énergétique dans l'industrie

| | Indicateur | Données requises | Objectifs | Limites |
|---|--|--|--|--|
| INDICATEURS DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE | Consommation d'énergie des secteurs industriels par unité de production matérielle | Consommation d'énergie par secteur industriel Unité physique de production correspondante | Souvent nommé « consommation spécifique » ou « consommation unitaire d'énergie ». Indique la relation entre la consommation d'énergie et la production physique. Au niveau désagrégé, peut donner une meilleure mesure de l'efficacité technique d'un processus de production particulier. | <ul style="list-style-type: none"> Il est impossible de comparer les indicateurs définis dans des unités différentes. Ne permet pas de donner un aperçu global de l'efficacité énergétique de l'industrie dans son ensemble. |
| | Décomposition de l'évolution de la consommation énergétique industrielle | Consommation énergétique par secteur industriel et source d'énergie Unité physique de production correspondante (si disponible) Valeur ajoutée correspondante (en monnaie constante) | Quantification des facteurs sous-tendant l'évolution de la consommation sur une période de temps définie. L'évolution de la consommation énergétique est décomposée selon l'effet sur la structure industrielle, l'effet sur le bouquet énergétique, et l'effet sur l'intensité spécifique (un indicateur de l'efficacité énergétique) Il s'agit du meilleur indicateur pouvant être développé pour l'ensemble de l'industrie à l'aide des données requises dans le modèle des indicateurs de l'efficacité énergétique de l'AIE. | <ul style="list-style-type: none"> Cet indicateur de l'efficacité énergétique inclut encore des effets sans rapport avec l'efficacité technique (comme l'impact des conditions climatiques et de l'évolution des processus mis en œuvre dans une installation). |

Source : Trudeau et Murray (2011), *Development of Energy Efficiency Indicators in Russia*.

L'accès à l'énergie en tant qu'indicateur de développement humain

En plus de mesurer l'amélioration des liens entre croissance économique et intégrité environnementale, les indicateurs de la croissance verte portent sur les gains qualitatifs dans chacune de ces deux dimensions, ainsi que dans le domaine du bien-être social. Dans les pays de l'OCDE, la voie à suivre consiste à découpler la croissance et la dégradation de l'environnement, tout en développant les biens et services respectueux de l'environnement et en améliorant le bien-être. Dans les pays en développement, il s'agit de définir des normes économiques et sociales nettement plus strictes sans excéder la capacité d'accueil de l'environnement. Le contrôle de l'accès à l'énergie est une mesure du progrès de ces pays.

L'accès à des formes modernes d'énergie est nécessaire pour réduire la pauvreté, notamment par le biais de l'approvisionnement en eau potable, de l'assainissement et des soins de santé. Il apporte des avantages considérables en termes de développement en contribuant à la fiabilité et à l'efficacité de l'éclairage, du chauffage, des appareils de cuisson, de l'énergie mécanique, des transports et des services de télécommunication⁵.

Deux indicateurs de pauvreté énergétique — le manque d'accès à l'électricité et la dépendance à la biomasse pour cuisiner — sont révélateurs. Selon le *WEO-2011*, 1.3 milliard de personnes — plus de 20 % de la population mondiale — n'ont pas accès à l'électricité actuellement, et quelque 2.7 milliards — 40 % de la population mondiale — sont tributaires de formes traditionnelles d'exploitation de la biomasse pour cuisiner (AIE, 2011a). Les perspectives suggèrent que le problème persistera, voire s'aggravera dans certaines régions. L'AIE et l'Organisation mondiale de la santé estiment que la pollution atmosphérique liée à l'utilisation de la biomasse par les ménages dans des fourneaux inefficients pourrait provoquer plus de 4 000 décès prématurés par jour en 2030, soit davantage que les estimations de décès prématurés dus au paludisme, à la tuberculose ou au virus de l'immunodéficience humaine (VIH)/syndrome de l'immunodéficience acquise (SIDA) (AIE, 2011a).

L'Indice du développement énergétique (EDI) suit les progrès des pays en développement en matière d'accès aux énergies modernes (AIE, 2011b). Cet indice tente de mesurer la qualité des services énergétiques ainsi que leur quantité. Il est calculé de manière à refléter l'Indice du développement humain du Programme des Nations Unies pour le développement. Les actualisations annuelles de l'EDI visent à attirer l'attention de la communauté internationale sur la pauvreté énergétique et à aider les pays à suivre leurs progrès en matière d'accès aux énergies modernes.

Notes

- ¹ Le revenu disponible réel a été calculé à l'aide d'un déflateur de la consommation privée et est donc exprimé en équivalents biens et services de consommation. Le PIB en volume, quant à lui, correspond à la quantité (au « volume ») de biens et services de consommation, de biens d'investissement, de services publics et d'exportations et d'importations. Le revenu est en outre mesuré de préférence net d'amortissement pour tenir compte de l'utilisation des biens d'équipement dans la production.
- ² À noter qu'avant la mi-2011, la base de données sur les brevets de l'OCDE mettra à la disposition du public les données relatives aux brevets déposés dans une trentaine de domaines liés aux technologies énergétiques propres pour l'ensemble des pays à l'adresse suivante : <http://dx.doi.org/10.1787/data-00508-fr>.
- ³ Le Protocole de Kyoto est un protocole à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) signé en décembre 1997 et entré en vigueur en février 2005, en vertu duquel les pays participants se sont engagés à réduire leurs émissions de quatre gaz à effet de serre et de deux groupes de gaz.
- ⁴ Cette section s'appuie sur le travail approfondi mené par l'AIE sur les indicateurs énergétiques depuis 1997. Pour plus d'informations, consulter : www.iea.org/subjectqueries/keyresult.asp?KEYWORD_ID=4125.
- ⁵ Les services énergétiques modernes incluent l'électricité et les appareils de cuisson peu polluants (à savoir les combustibles et fourneaux de cuisson propres, les fourneaux à biomasse améliorés et les systèmes au biogaz). L'accès à l'électricité implique un raccordement au niveau du foyer. Le nombre de personnes tributaires de formes traditionnelles d'exploitation de la biomasse provient d'une étude et de sources nationales de données et désigne les ménages dont le principal combustible utilisé pour cuire les aliments est la biomasse.

Références

- Bloomberg New Energy Finance (2011), *http://bnef.com*.
- Cleantech Group (2011), Cleantech Market Insight, *www.cleantech.com*.
- Haščič, I., N. Johnstone, F. Watson, et C. Kaminker (2010), « Climate Policy and Technological Innovation and Transfer: An Overview of Trends and Recent Empirical Results », *Documents de travail de la Direction de l'environnement de l'OCDE*, n° 30, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/5km33bnggcd0-en.
- AIE (2009a), « Towards a More Energy Efficient Future: Applying Indicators to Enhance Energy Policy », OCDE/AIE, Paris, disponible à l'adresse suivante : *www.iea.org/papers/2009/indicators_brochure2009.pdf*.
- AIE (2009b), *Energy Technology Transitions for Industry: Strategies for the Next Industrial Revolution*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264068612-en.
- AIE (2010), *CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2010*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264096134-en.
- AIE (2011a), *World Energy Outlook 2011 (WEO-2011)*, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/weo-2011-en.
- AIE (2011b), « Energy Development Index », disponible à l'adresse suivante *www.worldenergyoutlook.org/docs/poverty/EDI_WEO2010_publishing.htm*.
- OCDE (1993), « Indicators for the integration of environmental concerns into energy policies », *Monographies sur l'environnement*, n° 79, OCDE, Paris.
- OCDE (2011a), *Vers une croissance verte : Suivre les progrès : Les indicateurs de l'OCDE*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264111370-fr.
- OCDE (2011b), *Fostering Innovation for Green Growth*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/9789264119925-en.
- OCDE (2011b), *Invention et transfert de technologies environnementales*, Études de l'OCDE sur l'innovation environnementale, Éditions de l'OCDE (à paraître).
- OCDE (2012), *Energy and Climate Policies and Innovation*, Éditions de l'OCDE (à paraître).
- Trudeau, N. et I. Murray (2011), « Development of Energy Efficiency Indicators in Russia », *IEA Energy Papers*, n° 2011/01, Éditions de l'OCDE, doi : 10.1787/5kgk7w8v4dhl-en.

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements œuvrent ensemble pour relever les défis économiques, sociaux et environnementaux que pose la mondialisation. L'OCDE est aussi à l'avant-garde des efforts entrepris pour comprendre les évolutions du monde actuel et les préoccupations qu'elles font naître. Elle aide les gouvernements à faire face à des situations nouvelles en examinant des thèmes tels que le gouvernement d'entreprise, l'économie de l'information et les défis posés par le vieillissement de la population. L'Organisation offre aux gouvernements un cadre leur permettant de comparer leurs expériences en matière de politiques, de chercher des réponses à des problèmes communs, d'identifier les bonnes pratiques et de travailler à la coordination des politiques nationales et internationales.

Les pays membres de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Chili, la Corée, le Danemark, l'Espagne, l'Estonie, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, Israël, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Slovénie, la Suède, la Suisse et la Turquie. L'Union européenne participe aux travaux de l'OCDE.

Les Éditions OCDE assurent une large diffusion aux travaux de l'Organisation. Ces derniers comprennent les résultats de l'activité de collecte de statistiques, les travaux de recherche menés sur des questions économiques, sociales et environnementales, ainsi que les conventions, les principes directeurs et les modèles développés par les pays membres.

Études de l'OCDE sur la croissance verte

Énergie

La Stratégie de l'OCDE pour une croissance verte vise à formuler des recommandations concrètes et à fournir des instruments de mesure, notamment des indicateurs, qui aideront les pays à engendrer la croissance économique et le développement, tout en veillant à ce que les actifs naturels continuent de fournir les ressources et les services environnementaux sur lesquels repose notre bien-être. La Stratégie propose un cadre d'action adaptable selon les spécificités nationales et le stade de développement des pays. Cet ouvrage a été préparé avec l'Agence internationale de l'énergie.

Sommaire

- Chapitre 1. Transformer le secteur de l'énergie pour soutenir la croissance
 - La croissance verte nécessite un moteur vert
 - Faire face aux déséquilibres et aux risques systémiques
 - Les perspectives énergétiques mondiales
 - Conséquences de la poursuite des tendances actuelles
- Chapitre 2. Favoriser la transition vers une croissance verte
 - Croissance verte et énergie : les enjeux
 - Arbitrages potentiels et coûts d'ajustement
 - Croissance verte et énergies : technologies clés
 - Un cadre d'action pour l'écologisation de l'énergie
 - Les politiques de croissance verte dans certains secteurs énergétiques
- Chapitre 3. Mise en œuvre de l'énergie verte : refondre l'économie politique
 - Économie politique — mettre en œuvre le changement dans différents contextes nationaux
 - Ajustement structurel
 - Actifs échoués
 - Effets sur l'emploi
 - Effets redistributifs
- Chapitre 4. Suivre les progrès accomplis sur la voie de la croissance verte
 - Le cadre conceptuel de l'OCDE pour les indicateurs de la croissance verte
 - Indicateurs de la croissance verte liés à l'énergie

Merci de citer cet ouvrage comme suit :

OCDE (2012), *Énergie*, Études de l'OCDE sur la croissance verte, Éditions OCDE.

<http://dx.doi.org/10.1787/9789264168480-fr>

Cet ouvrage est publié sur *OECD iLibrary*, la bibliothèque en ligne de l'OCDE, qui regroupe tous les livres, périodiques et bases de données statistiques de l'Organisation. Rendez-vous sur le site www.oecd-ilibrary.org et n'hésitez pas à nous contacter pour plus d'informations.