

**Contribution du Groupe de travail III  
au quatrième Rapport d'évaluation  
du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat  
Bilan 2007 des changements climatiques: L'atténuation des changements climatiques**

---

## Résumé technique

---

### Auteurs

Terry Barker (Royaume-Uni), Igor Bashmakov (Russie), Lenny Bernstein (États-Unis d'Amérique), Jean E. Bogner (États-Unis d'Amérique), Peter Bosch (Pays-Bas), Ritu Dave (Pays-Bas), Ogunlade Davidson (Sierra Leone), Brian S Fisher (Australie), Sujata Gupta (Inde), Kirsten Halsnæs (Danemark), BertJan Heij (Pays-Bas), Suzana Kahn Ribeiro (Brésil), Shigeki Kobayashi (Japon), Mark D. Levine (États-Unis d'Amérique), Daniel L. Martino (Uruguay), Omar Masera (Mexique), Bert Metz (Pays-Bas), Leo Meyer (Pays-Bas), Gert-Jan Nabuurs (Pays-Bas), Adil Najam (Pakistan), Nebojsa Nakicenovic (Autriche / Monténégro), Hans-Holger Rogner (Allemagne), Joyashree Roy (Inde), Jayant Sathaye (États-Unis d'Amérique), Robert Schock (États-Unis d'Amérique), Priyadarshi Shukla (Inde), Ralph E. H. Sims (Nouvelle-Zélande), Pete Smith (Royaume-Uni), Dennis A. Tirpak (États-Unis d'Amérique), Diana Urge-Vorsatz (Hongrie), Dadi Zhou (Chine populaire)

### Editeur réviseur

Mukiri wa Githendu (Kenya)

### Référence bibliographique du présent Résumé technique

Barker T., I. Bashmakov, L. Bernstein, J. E. Bogner, P. R. Bosch, R. Dave, O. R. Davidson, B. S. Fisher, S. Gupta, K. Halsnæs, G.J. Heij, S. Kahn Ribeiro, S. Kobayashi, M. D. Levine, D. L. Martino, O. Masera, B. Metz, L. A. Meyer, G.-J. Nabuurs, A. Najam, N. Nakicenovic, H. -H. Rogner, J. Roy, J. Sathaye, R. Schock, P. Shukla, R. E. H. Sims, P. Smith, D. A. Tirpak, D. Urge-Vorsatz, D. Zhou, 2007: Résumé technique. In : Changement climatique 2007: L'atténuation. Contribution du Groupe de travail III du quatrième Rapport d'évaluation du Groupe de travail intergouvernemental sur l'évolution du climat [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (éd.)], Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, Etats-Unis.

## Table des matières

1	<b>INTRODUCTION</b> .....	29
2	<b>QUESTIONS DE CADRAGE</b> .....	36
3	<b>QUESTIONS LIEES A L'ATTENUATION A LONG TERME</b> .....	40
4	<b>APPROVISIONNEMENT ENERGETIQUE</b> .....	47
5	<b>TRANSPORTS ET INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT</b> .....	52
6	<b>CONSTRUCTIONS RESIDENTIELLES ET COMMERCIALES</b> .....	58
7	<b>SECTEUR INDUSTRIEL</b> .....	64
8	<b>AGRICULTURE</b> .....	69
9	<b>SECTEUR FORESTIER</b> .....	74
10	<b>GESTION DES DECHETS</b> .....	79
11	<b>OPTIONS D'ATTENUATION INTERSECTORIELLES</b> .....	84
12	<b>ATTENUATION ET DEVELOPPEMENT DURABLE</b> .....	90
13	<b>POLITIQUES PUBLIQUES, INSTRUMENTS ET ACCORDS DE COOPERATION</b> .....	96
14	<b>LACUNES DANS LES CONNAISSANCES</b> .....	102

## 1 Introduction

Structure du rapport, raisonnement sous-jacent, rôle des thèmes transversaux et questions de cadrage.

Le principal objectif du présent rapport est d'évaluer les options d'atténuation des changements climatiques. De nombreux aspects relient les changements climatiques aux problématiques du développement. Le présent rapport examine ces liens en détail, et illustre en quoi le changement climatique et le développement durable se renforcent l'un l'autre.

Les besoins du développement économique, les allocations de ressources et les capacités d'adaptation et d'atténuation diffèrent selon les régions. Il n'existe pas de solution unique en prêt-à-porter au problème du changement climatique, et il faut que les solutions soient différenciées région par région pour refléter les différentes conditions socio-économiques et, dans une moindre mesure, les différences géographiques. Bien que ce rapport ait une portée mondiale, il tente de différencier les évaluations des découvertes scientifiques et techniques des différentes régions.

Etant donné que les options d'atténuation peuvent varier significativement entre les différents secteurs économiques, il a été décidé d'utiliser ces secteurs économiques afin d'organiser le matériel rassemblé sur les options d'atténuation à court et à moyen terme. Contrairement à ce qui avait été fait pour le Troisième Rapport d'Évaluation, tous les aspects pertinents des options sectorielles d'atténuation, comme la technologie, les coûts, les politiques publiques, etc. ont été examinées ensemble, afin de fournir au lecteur l'examen le plus exhaustif possible des options sectorielles d'atténuation.

En conséquence, le rapport est composé de quatre parties. La partie A (chapitres 1 et 2) comprend l'introduction et met en place les cadres descriptifs de l'atténuation des changements climatiques dans le contexte des autres politiques publiques et des processus de décision. Elle introduit des concepts importants (p.ex. les risques et les incertitudes, la relation entre atténuation et adaptation, les aspects relatifs à la distribution et à l'équité ainsi qu'à l'intégration régionale) et définit les principaux éléments de terminologie utilisés à travers le rapport. La partie B (chapitre 3) évalue des objectifs de stabilisation à long terme, comment y parvenir et quels sont les coûts associés, en examinant les scénarios d'atténuation pour une série d'objectifs de stabilité. La relation entre l'adaptation, l'atténuation et les dégâts dus aux changements climatiques évités fait aussi l'objet d'un examen, à la lumière du processus de décision lié à la stabilisation (art. 2 CCNUCC). La partie C (chapitres 4 à 10) se concentre sur une description détaillée des différents secteurs responsables des émissions de gaz à effet de serre (GES), les alternatives d'atténuation à court et moyen terme et les coûts dans ces secteurs, les politiques publiques visant à accomplir l'atténuation, les obstacles qui s'y opposent et la relation avec l'adaptation et les autres politiques publiques qui affectent les émissions de GES. La partie D (chapitres 11 à 13) évalue les problèmes intersectoriels, le développement durable et les aspects nationaux et internationaux. Le chapitre 11 couvre le

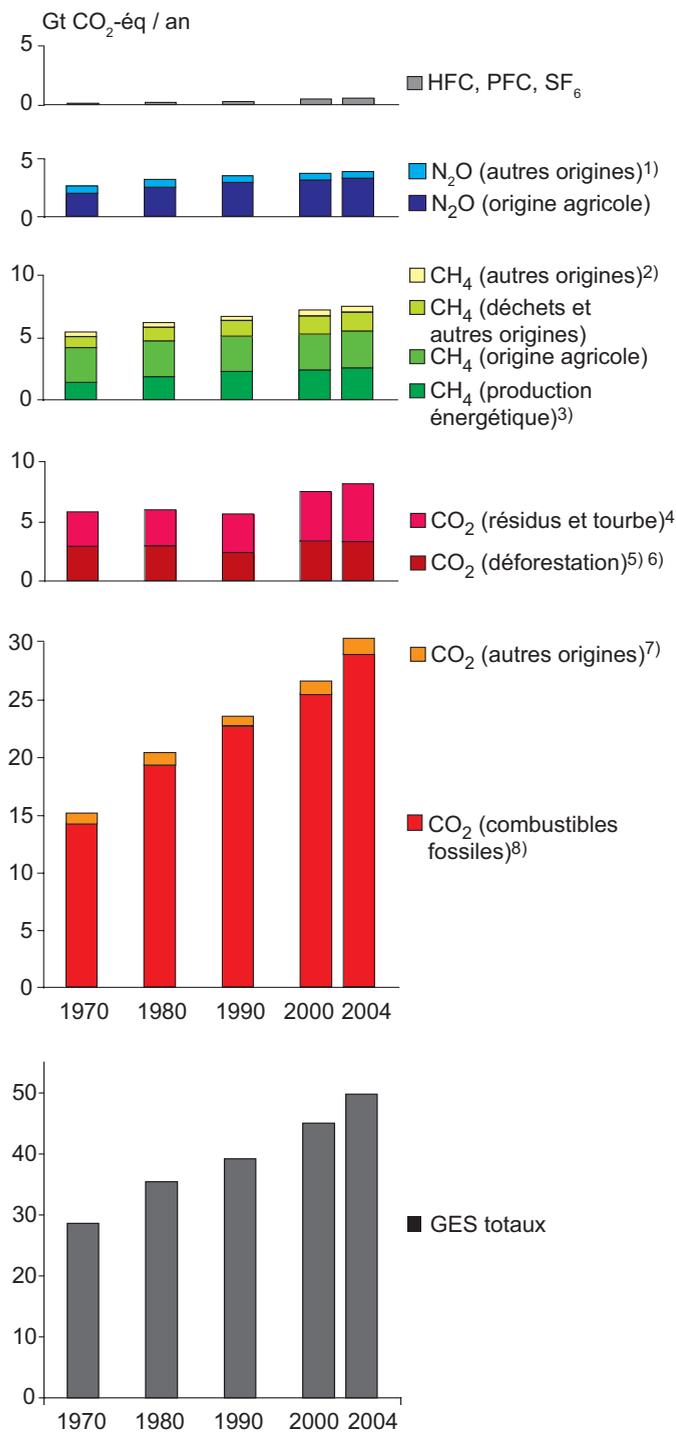
potentiel d'atténuation agrégé, les impacts macroéconomiques, le développement et le transfert de technologie, les synergies, et les effets de poids et contrepoids avec les autres politiques publiques ainsi que les influences transfrontalières (ou effets de déversement). Le chapitre 12 fait le lien entre l'atténuation climatique et le développement durable. Le chapitre 13 évalue les politiques climatiques internes et les différentes formes de coopération internationale. Le présent Rapport technique comporte en outre un chapitre 14, qui s'intéresse aux lacunes du savoir scientifique.

Le passé, le présent et l'avenir : les tendances à l'œuvre dans les émissions

Les émissions des GES couverts par le Protocole de Kyoto ont augmenté d'environ 70% (passant de 28,7 à 49,0 GtCO<sub>2</sub>-éq) entre 1970 et 2004 (de 24% entre 1990 et 2004), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) étant la principale source avec une augmentation d'environ 80% (v. Figure RT.1]. La majeure partie de la hausse d'émissions de CO<sub>2</sub> provient de la production énergétique et du transport routier. Les émissions de méthane (CH<sub>4</sub>) ont augmenté d'environ 40% par rapport à 1970, dont 85% proviennent de l'utilisation des combustibles fossiles. L'agriculture reste cependant la plus grande source d'émissions de CH<sub>4</sub>. Les émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) ont augmenté de 50% environ, principalement en raison de la recrudescence de l'usage d'engrais et de la croissance du secteur agricole. Les émissions de N<sub>2</sub>O issues de l'industrie ont baissé pendant cette période (*bon accord, mises en évidence nombreuses*) [1.3]

Les émissions de substances dégradant l'ozone (SDO) contrôlées par le Protocole de Montréal (qui comprennent les chlorofluorocarbures (CFC), qui sont un GES, les hydrochlorofluorocarbures (HCFC)) ont augmenté, passant d'un bas niveau en 1970 à environ 7,5 GtCO<sub>2</sub>-éq en 1990 (env. 20% du total des émissions de GES, ne sont pas reflétés dans la figure RT.1) mais ont ensuite baissé pour s'établir à 1,5 GtCO<sub>2</sub>-éq en 2004, et on projette qu'elles baisseront encore en raison de la fin de l'utilisation des CFC dans les pays en voie de développement. Les émissions de gaz fluorés (gaz-F) (hydrofluorocarbures (HFC), perfluorocarbures (PFC) et SF<sub>6</sub>) contrôlés par le Protocole de Kyoto ont augmenté rapidement (principalement les HFC) au cours des années 1990 au fur et à mesure qu'ils remplaçaient de façon significative les SDO et ont été estimées à environ 0,5 GtCO<sub>2</sub>-éq en 2004 (environ 1,1% du total des émissions sur la base du potentiel de réchauffement planétaire (PRP) sur 100 années (*bon accord, nombreuses mises en évidence*)). [1.3]

Les concentrations de CO<sub>2</sub> atmosphérique ont augmenté de presque 100 ppm depuis leur niveau préindustriel, atteignant 379 ppm en 2005, avec des taux d'augmentation annuels, dans la période 2000-2005, plus importants que dans les années 1990. La concentration totale en équivalents-CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>-éq) de tous les GES à longue durée de vie se situe approximativement à 455 CO<sub>2</sub>-éq actuellement. En y ajoutant, avec la même unité de mesure, les effets de refroidissement dus aux aérosols, les autres

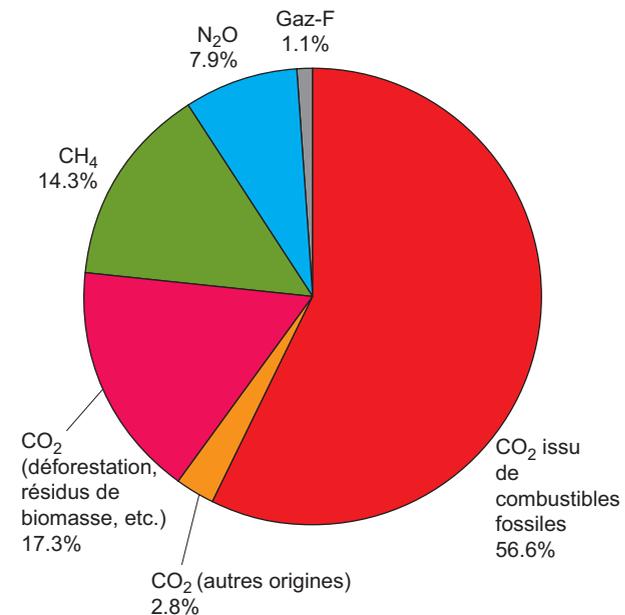


**Figure RT 1a :** émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique à l'échelle mondiale, 1970-2004 [Figure 1.1a].

Les Potentiels de réchauffement planétaire (PRP) sur cent années selon GIEC 1996 (PRE) ont été utilisés pour convertir les émissions en CO<sub>2</sub>-ék. (v. les lignes directrices pour le report des données d'inventaire de la CCNUCC). Les gaz ont été reportés à l'aide des lignes directrices de la CCNUCC. L'incertitude du graphique est assez grande pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O (de l'ordre de 30 à 50%) et plus grande encore pour le CO<sub>2</sub> d'origine agricole et forestière.

**Notes:**

- 1) Exemples d'autres processus liés au N<sub>2</sub>O : processus industriels, déforestation et feux de savanes, eaux usées, incinération des déchets.
- 2) "Autres" se réfère au CH<sub>4</sub> issu des processus industriels ou aux feux de savane.
- 3) Y compris les émissions issues de la production et de l'usage de bioénergie.
- 4) Émissions de CO<sub>2</sub> des résidus de la biomasse terrestre susvisée (décomposition) après exploitation forestière et déforestation, et CO<sub>2</sub> issu de la combustion de la tourbe et des résidus de tourbières drainées.
- 5) De même que l'usage traditionnel de biomasse, à 10% du total, postulant que 90% est issu de processus de production renouvelables. Corrigé pour tenir compte d'un résidu de biomasse dans le charbon de bois, après combustion, fixé à 10%.
- 6) Pour les incendies de biomasse à grande échelle dans les forêts et les maquis en données moyennes de 1997-2002, basées sur les données satellites de la Base de données mondiale sur les émissions d'incendie.
- 7) Cimenteries et torchères de gaz naturel.
- 8) L'usage de combustible fossile comprend les émissions des matières premières.



**Figure RT 1b :** Émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique à l'échelle mondiale en 2004 [Figure 1.1b].

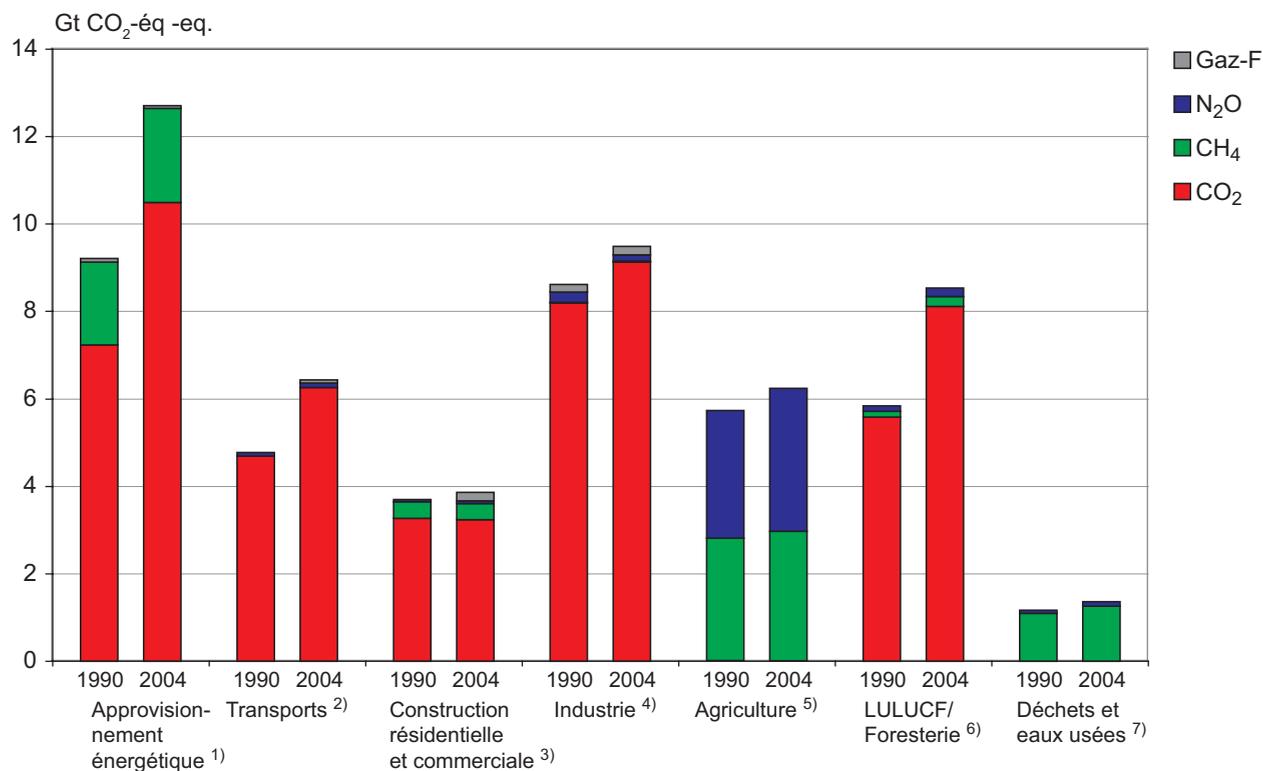
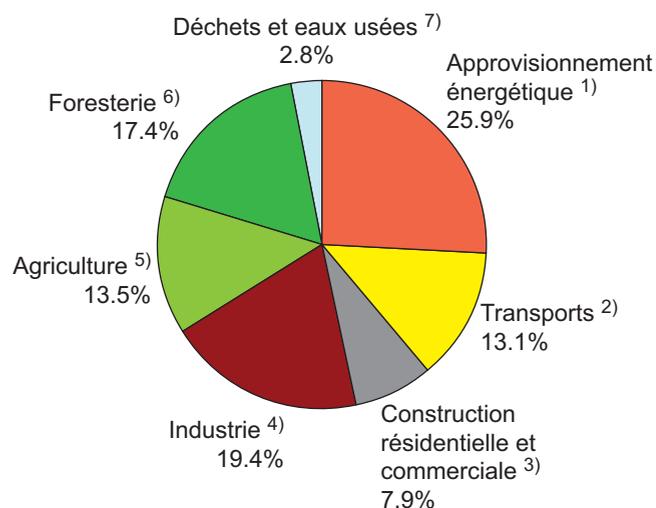


Figure RT 2a : Émissions de GES par secteur en 1990 et 2004 [Figure 1.3a].

Figure RT 2b : Émissions de GES par secteur en 2004 [Figure 1.3b].



**Notes des Figures RT 2a et 2b :** Les potentiels de réchauffement planétaire (PRP) sur cent années selon GIEC 1996 (PRE) ont été utilisés pour convertir les émissions en CO<sub>2</sub>-éq. L'incertitude du graphique est assez grande pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O (de l'ordre de 30 à 50%) et plus grande encore pour le CO<sub>2</sub> d'origine agricole et forestière. Pour les incendies de biomasse à grande échelle dans les forêts et maquis en données moyennes de 1997-2002, basées sur les données satellites de la Base de données mondiale sur les émissions d'incendie. Les émissions dues à la tourbe (combustion et résidus) se basent sur des données récentes du Groupe hydraulique de l'Université de Delft.

1. À l'exclusion des raffineries, des hauts fourneaux de coke, etc. qui font partie de l'industrie.
2. Y compris les transports internationaux (cargos) mais à l'exclusion des pêcheries. À l'exclusion des véhicules et des machines agricoles et forestières tout-terrain.
3. Y compris l'utilisation traditionnelle de la biomasse. Les émissions examinées dans le chapitre 6 sont aussi rapportées sur la base de l'allocation pour les utilisateurs finaux (y compris la part du secteur dans les émissions causées par la production électrique centralisée) de façon que le résultat des efforts d'atténuation du secteur, issus d'une moindre consommation d'électricité, soient portés au crédit du secteur.
4. Y compris l'incinération de déchets agricoles et les incendies de savane (non-CO<sub>2</sub>). Les émissions et/ou retraits de terres agricoles ne sont pas compris dans cette base de données.
5. Les données comprennent les émissions de CO<sub>2</sub> issues de la déforestation, les émissions de CO<sub>2</sub> issues des résidus (décomposition) de biomasse de surface qui reste après l'exploitation forestière et la déforestation et le CO<sub>2</sub> issu de la combustion de la tourbe et les résidus des tourbières drainées. Le chapitre 9 rapport les émissions issues de la déforestation seule.
6. Y compris les eaux usées de CH<sub>4</sub> provenant des décharges en surface et le N<sub>2</sub>O et le CO<sub>2</sub> issus de l'incinération des déchets (carbone fossile seul).

polluants atmosphériques et les gaz émis par les changements d'affectation des sols, la concentration effective de CO<sub>2</sub>-éq se situe entre 311 et 435 ppm (*convergence haute, nombreuses mises en évidence*).

De considérables incertitudes persistent autour des estimations relatives aux aérosols d'origine anthropique. Pour ce qui concerne les émissions globales de soufre, celles-ci semblent avoir baissé de 75 ± 10 MtS en 1990 à 55-62 MtS en 2000. Les données relatives aux aérosols non-sulfurés sont éparses et hautement spéculatives (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*).

En 2004, la production énergétique a généré environ 26% du total des émissions de GES, l'industrie 19%, les gaz émis par les changements d'affectation des sols et la foresterie 17%, l'agriculture 14%, les transports 13%, les secteurs résidentiel, commercial et des services 8% et les déchets 3% (v. Figure RT.2). Ces chiffres devraient être considérés comme indicatifs, car une certaine incertitude persiste, notamment pour ce qui concerne les émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O (la marge d'erreur est estimée entre 30 et 50%) et les émissions de CO<sub>2</sub> agricoles et forestières montrent une plage d'incertitude plus grande encore (*convergence haute, mises en évidence moyennement nombreuses*). [1.3].

La Figure RT.3 identifie les contributions individuelles aux émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie en fonction de la croissance démographique, du revenu par tête (produit intérieur brut (PIB) exprimé en termes de parité de pouvoir d'achat par personne

– PIB<sub>ppp</sub> / tête<sup>1</sup>), l'intensité énergétique (Approvisionnement total en énergie primaire (ATEP) / PIB<sub>ppp</sub>) et intensité carbone (CO<sub>2</sub> / ATEP). Certains de ces facteurs stimulent les émissions de CO (barres situées au-dessus de la ligne du zéro), tandis que d'autres les font baisser (barres situées au-dessous de la ligne du zéro). Les variations effectives dans les émissions par décennie figurent sous forme de lignes noires pointillées. Selon la Figure RT.3, la croissance démographique et la croissance du PIB<sub>ppp</sub> / tête (et, de ce fait, la baisse de la quantité d'énergie utilisée par tête) ont plus que contrebalancé, et continueront à plus que compenser la baisse de l'intensité énergétique (ATEP / PIB<sub>ppp</sub>) et à dissimuler le fait que les émissions de CO<sub>2</sub> par unité de PIB<sub>ppp</sub> sont aujourd'hui 40% plus basses qu'au début des années 1970 et qu'elles ont décliné plus rapidement que l'énergie primaire par unité de PIB<sub>ppp</sub> ou de CO<sub>2</sub> par unité d'énergie primaire. L'intensité carbone de l'approvisionnement énergétique (CO<sub>2</sub> / ATEP) a eu un effet compensatoire sur les émissions de CO<sub>2</sub> entre le milieu des années 1980 et 2000, mais il a, depuis, augmenté et aucun effet de ce type n'est projeté après 2010 (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [1.3].

En 2004, les pays de l'Annexe I comptaient 20% de la population mondiale, mais 46% des émissions mondiales de GES, et 80% des pays ne figurant pas dans l'Annexe I comptaient pour seulement 54% des émissions. Le contraste entre la région montrant les plus importantes émissions de GES par habitant (l'Amérique du Nord) et celle qui affichait le chiffre le plus bas (l'Asie du sud hors Annexe I) s'est encore accentué (v. Figure RT. 4a) : 5% de la population mondiale (l'Amérique du Nord) est responsable de 19,4% des émissions, tandis que 30,3% de

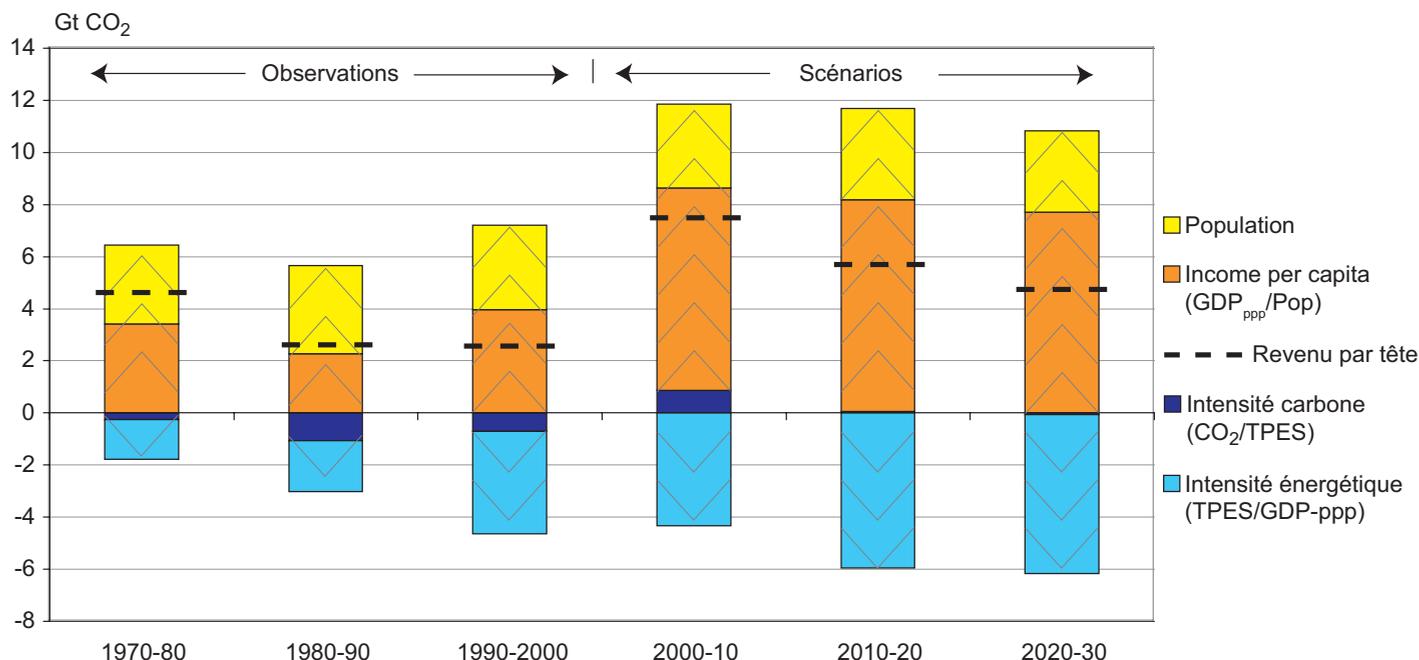
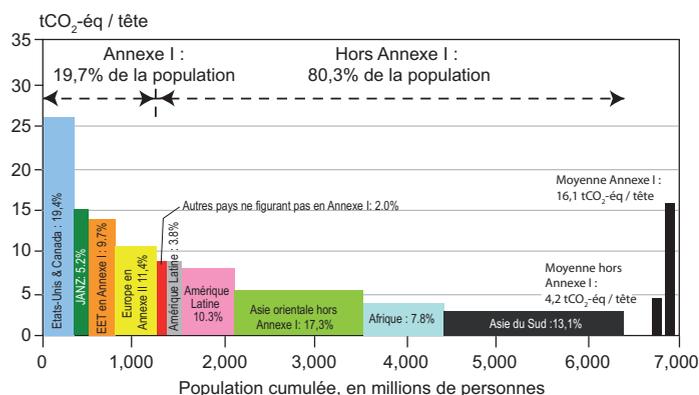


Figure RT 3 : Décomposition de la variation d'émissions de CO<sub>2</sub> liées au secteur de l'énergie au niveau mondial pour les trois dernières et les trois prochaines décennies [Figure 1.6].

<sup>1</sup> L'unité GDP<sub>ppp</sub> n'est utilisée qu'à des fins illustratives dans le présent rapport.

la population (l'Asie du sud hors Annexe I) est responsable de 13,1% des émissions. Un tableau différent ressort de l'utilisation des émissions de GES par unité de PIBppp (voir Figure RT. 4b). Selon ces termes-là, les pays de l'Annexe I ont généré 57% du produit mondial brut avec une intensité de production de GES de 0,68 kg CO<sub>2</sub>-éq par US\$ de PIBppp (pays hors Annexe I 1,06 CO<sub>2</sub>-éq par US\$ de PIBppp) (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [1.3].

L'usage et l'approvisionnement énergétiques mondiaux – les principaux facteurs d'émissions de GES – continueront à grandir, selon les projections, avec en particulier la poursuite de l'industrialisation des pays en voie de développement. Si les politiques publiques énergétiques restent les mêmes, le panier énergétique fourni pour faire tourner l'économie mondiale au cours de la période 2025-2030 restera essentiellement le même, avec plus de 80% d'approvisionnement énergétique à base de combustibles fossiles et les émissions de GES qui vont avec. Sur cette base, les émissions projetées de CO<sub>2</sub> issu



**Figure RT 4a :** Distribution des émissions de GES régionales par tête (tous les gaz définis par Kyoto y compris ceux qui proviennent de l'utilisation des terres) par rapport à la population de différents groupes de pays en 2004. Les pourcentages indiqués dans les barres indiquent la part d'une région dans les émissions globales de GES [Figure 1.4a].

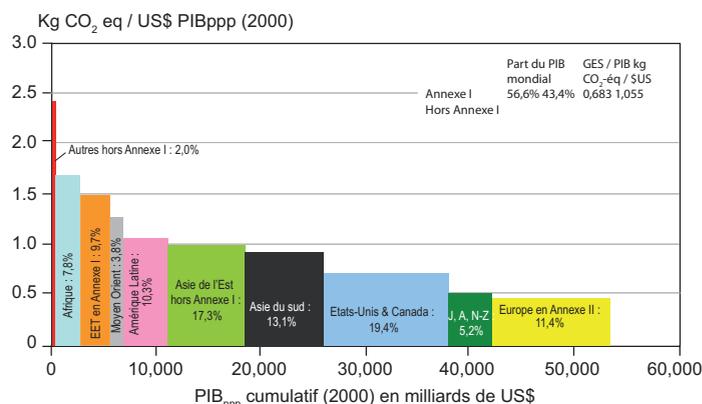
**Note :** les pays sont groupés selon la classification de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto : ce qui signifie que les pays qui, depuis, ont rejoint l'Union européenne figurent encore dans la liste des EET de l'Annexe I. Il n'existait pas de données pour l'intégralité des pays en 2004. Voici la liste des pays par groupement régional :

- EET de l'Annexe I : Belarus, Bulgarie, Croatie, République tchèque, Hongrie, Lettonie, Lituanie, Pologne, Roumanie, Fédération de Russie, Slovaquie, Slovénie, Ukraine
- Annexe II en Europe et M&T\$ : Autriche, Belgique, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Grèce, Islande, Irlande, Italie, Liechtenstein, Luxembourg, Pays-Bas, Norvège, Portugal, Espagne, Suède, Suisse, Royaume-Uni, Monaco et Turquie.
- JANZ : Japon, Australie et Nouvelle-Zélande
- Moyen Orient : Bahreïn, République islamique d'Iran, Israël, Jordanie, Koweït Liban, Oman, Qatar, Arabie Saoudite, Syrie, Emirats Arabes Unis, Yémen.
- Amérique Latine & Caraïbes : Antigua & Barbuda, Argentine, Bahamas, Barbade, Belize, Bolivie, Brésil, Chili, Colombie, Costa Rica, Cuba, Dominique, République dominicaine, Equateur, Salvador, Grenade, Guatemala, Guyana, Haïti, Honduras, Jamaïque, Mexique, Nicaragua, Panama, Paraguay, Pérou, Sainte-Lucie, St. Kits-Nevis-Anguilla, Saint-Vincent-et-les-Grenadines, Surinam, Trinidad et Tobago, Uruguay, Venezuela.
- Asie de l'Est hors Annexe I : Cambodge, Chine, RPD de Corée, RDP du Laos, Mongolie, République de Corée, Vietnam.
- Asie du Sud : Afghanistan, Bangladesh, Bhoutan, Comores, Îles Cook, Fidji, Inde, Indonésie, Kiribati, Malaisie, Maldives, Îles Marshall, Micronésie (Etats fédérés de), Myanmar, Nauru, Niue, Népal, Pakistan, Palau, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Philippines, Samoa, Singapour, Îles Salomon, Sri Lanka, Thaïlande, Timor-Leste, Tonga, Tuvalu, Vanuatu.
- Amérique du Nord : Canada, Etats-Unis d'Amérique.
- Autres pays hors Annexe I : Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Bosnie-Herzégovine, Chypre, Géorgie, Kazakhstan, Kirghizistan, Malte, Moldavie, Saint-Marin, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ouzbékistan, République de Macédoine.
- Afrique : Algérie, Angola, Bénin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Cameroun, Cap-Vert, République Centrafricaine, Tchad, Congo, République Démocratique du Congo, Côte-d'Ivoire, Djibouti, Égypte, Guinée équatoriale, Érythrée, Ethiopie, Gabon, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Kenya, Lesotho, Libéria, Libye, Madagascar, Malawi, Mali, Mauritanie, Maurice, Maroc, Mozambique, Namibie, Niger, Nigéria, Rwanda, São Tome et Príncipe, Sénégal, Seychelles, Sierra Leone, Afrique du Sud, Soudan, Swaziland, Togo, Tunisie, Ouganda, République Unie de Tanzanie, Zambie, Zimbabwe.

de la production énergétique en 2030 sont entre 40 et 110% plus importante qu'en 2000, deux tiers à trois quarts de cette augmentation étant dus aux pays ne figurant pas dans l'Annexe I, bien que les émissions par tête dans les pays développés doivent rester substantiellement plus hautes, à hauteur de 9,6 à 15,1 tCO<sub>2</sub> / tête dans les régions de l'Annexe I versus 2,8 à 5,1 tCO<sub>2</sub> / tête dans les régions ne figurant pas en Annexe I (*bon accord, nombreuses mises en évidence*). [1.3]

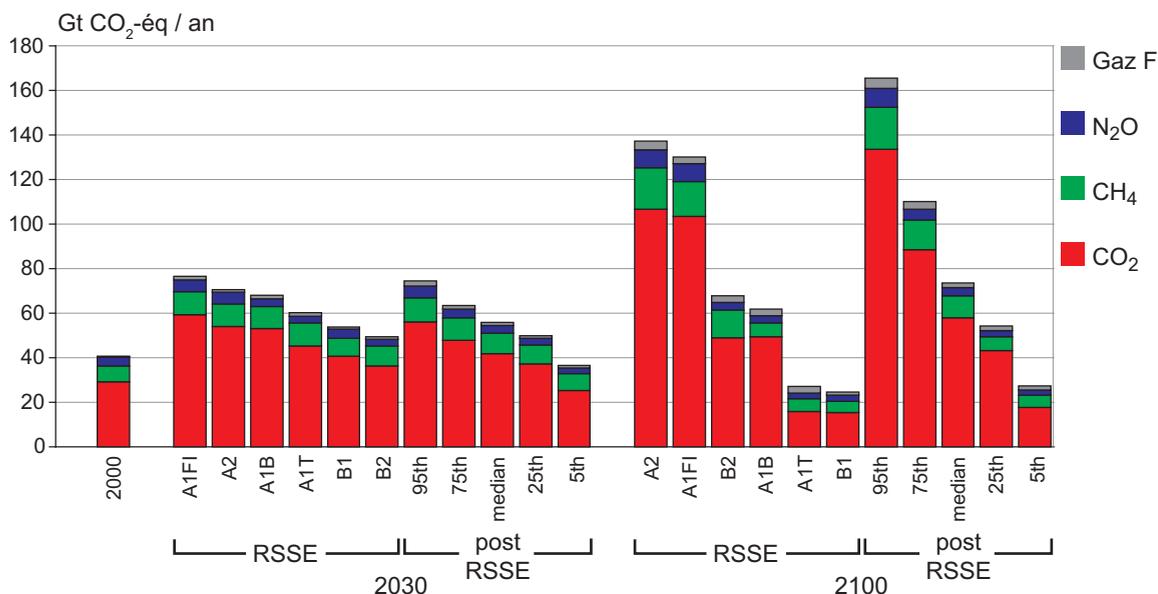
Pour 2030, les projections d'émissions de GES (gaz de Kyoto) augmentent constamment de 25 à 90% en base 2000, les plus récentes projections s'établissant plus haut que les plus anciennes (*bon accord, nombreuses mises en évidence*).

Pour 2100, les séries du RSSE<sup>2</sup> (d'une baisse de 40% à une augmentation de 250% par rapport à 2000) sont encore valables. Les projections les plus récentes ont tendance à montrer des chiffres plus élevés : une augmentation de 90 à 250% par rapport à 2000 (v. Figure RT. 5). Les scénarios qui prennent



**Figure RT 4b :** Distribution des émissions régionales de GES (tous les gaz définis par Kyoto y compris ceux qui proviennent de l'utilisation des terres) par US\$ de PIBppp par rapport au PIB des différents groupes de pays en 2004. Les pourcentages figurant dans les barres indiquent la part d'une région dans les émissions de GES mondiales [Figure 1.4b]

<sup>2</sup> RSSE fait référence aux scénarios décrits par le Rapport spécial sur les scénarios d'émissions du GIEC (GIEC, 2000b). La famille de scénarios A1 décrit un futur comportant une croissance économique très rapide, une faible croissance démographique et l'introduction à brève échéance de nouvelles technologies plus efficaces. B1 décrit un monde convergent, avec une population mondiale sans changement, qui atteint son apogée au milieu du siècle et décline après, avec des changements rapides dans les structures économiques. B2 décrit un monde « dans lequel l'accent est mis sur les solutions locales à la durabilité économique, sociale et environnementale. » Il a comme traits marquants une croissance démographique modérée, des niveaux de développement économique moyens, et une évolution technologique moins rapide et plus diversifiée que dans le scénario A1B.



**Figure RT 5 :** Émissions globales de GES pour 2000 et émissions de base projetées pour 2030 et 2100 selon les scénarios du RSSE et la littérature parue depuis le RSSE. La figure illustre les émissions pour les six scénarios d'illustration du RSSE. Elle illustre aussi la distribution de fréquence des émissions dans les scénarios post-RSSE (5<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, médian, 75<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> percentiles), tels que traités dans le chapitre 3. Les gaz F sont les HFC, les PFC et le SF6 [Figure 1.7].

en compte les politiques climatiques, dont la mise en place se discute actuellement, montrent aussi des émissions globales en augmentation pour plusieurs décennies.

Les pays en voie de développement (p.ex. le Brésil, la Chine, l'Inde et le Mexique) qui ont entrepris des efforts pour des raisons autres que le changement climatique ont réduit la croissance de leurs émissions, au cours des trois dernières décennies, à hauteur d'approximativement 500 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an ; à savoir davantage que les réductions exigées des pays de l'Annexe I par le Protocole de Kyoto. Beaucoup de ces efforts sont motivés par le développement économique et par la lutte contre la pauvreté, la sécurité énergétique et la protection de l'environnement à l'échelle locale. Les approches politiques les plus prometteuses, de ce fait, semblent être celles qui comptent sur les synergies naturelles entre la protection climatique et les priorités du développement pour avancer simultanément sur ces deux tableaux (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [1.3].

### Réponses internationales

La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) est le principal vecteur de promotion des réponses aux changements climatiques au niveau international. Elle est entrée en vigueur en mars 1994 et sa ratification est quasiment universelle – 189 des 194 Etats-membres des Nations unies (décembre 2006). Un Dialogue sur une action de coopération à long terme visant à faire face aux changements climatiques à travers l'amélioration de la mise en œuvre de la Convention a été mis sur pied par la CdP-

RdP-1<sup>3</sup> en 2005, et il a pris la forme d'un échange de vues et d'informations ouvert et sans engagement, afin d'améliorer la mise en place de la Convention.

Première adjonction au traité, le Protocole de Kyoto, adopté en 1997, est entré en vigueur en février 2005. En février 2007, 168 Etats et la Communauté Economique Européenne avaient ratifié le Protocole. Selon l'article 3.1. du Protocole de Kyoto, les Parties figurant dans l'Annexe I ont accepté de réduire leurs émissions agrégées de GES d'au moins 5% sous le niveau de 1990. L'entrée en force du Protocole de Kyoto a marqué une première étape, quoique modeste, en direction de l'accomplissement de l'objectif ultime de la CCNUCC : prévenir les interférences anthropiques dangereuses au sein du système climatique. Sa mise en place intégrale par tous les signataires du Protocole ne suffira toutefois pas, et de loin, à renverser les tendances mondiales d'émissions de GES. La force du Protocole de Kyoto est le fait qu'il a réservé, dans son architecture institutionnelle, une place aux instruments de marché tels que l'échange de bons d'émissions de GES. Une des faiblesses du Protocole est cependant la non-ratification par certains émetteurs lourds de GES. Un nouveau Groupe de travail ad hoc (GTA) sur les Engagements des Pays de l'Annexe I du Protocole de Kyoto après 2012 a été mis en place lors de la CdP/RdP-1, et ce Groupe a accepté, au cours de la CdP/RdP-2, que la seconde révision de l'Article 9 du Protocole de Kyoto ait lieu en 2008.

Il existe aussi des initiatives volontaires au niveau international pour développer et mettre en place de nouvelles technologies permettant de réduire les émissions de GES. Ces

<sup>3</sup> La Conférence des Parties (CdP) est l'organe suprême de la Convention. Elle fait aussi office de Réunion des Parties (RdP) pour le Protocole (CdP/RdP). La CdP/RdP-1 est la première réunion de la Conférence des Parties agissant comme Réunion des Parties du Protocole de Kyoto.

initiatives comprennent : le Forum directif pour la séquestration du Carbone (qui promeut le piégeage et le stockage du CO<sub>2</sub>) ; le Partenariat pour l'Hydrogène ; le Partenariat Méthane aux marchés, et le Partenariat Asie-Pacifique pour le Développement propre et le Climat (2005), qui compte dans ses rangs l'Australie, les Etats-Unis, le Japon, la Chine, l'Inde et la Corée du Sud. Le changement climatique est aussi devenu une préoccupation de plus en plus importante du G8 depuis sa réunion à Gleneagles en Ecosse en 2005. Lors de ce sommet, un plan d'action a été développé, donnant pour tâche à l'Agence internationale de l'Energie, à la Banque Mondiale et au Partenariat pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique de soutenir leur effort.

De plus, Gleneagles a créé un Plan d'action sur le changement climatique, l'énergie propre et le développement durable pour les émetteurs les plus importants. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) et la Banque Mondiale ont été chargées d'une mission de conseil dans ce processus de dialogue [1.4].

#### L'Article 2 de la Convention et l'atténuation

L'article 2 de la CCNUCC requiert que les interférences dangereuses avec le système climatique soient prévenues et ainsi la stabilisation des niveaux de concentration des GES atmosphériques dans un déroulement chronologique qui permette d'atteindre ces objectifs. Les critères de l'Article 2 qui spécifient les (risques de) changements climatiques dangereux d'origine anthropique comprennent : la sécurité alimentaire, la protection des écosystèmes et un développement économique durable. La mise en place de l'Article 2 implique de faire face à un certain nombre de questions complexes :

#### **À quel niveau le changement climatique est-il dangereux ?**

Les décisions prises en relation avec l'Article 2 détermineraient le niveau de changements climatiques considéré comme le but des politiques publiques, et auraient des implications fondamentales dans les cheminements de réduction des émissions de même que dans l'échelle d'adaptation qui serait requise. Le choix du niveau de stabilisation implique de mettre en balance les risques des changements climatiques (depuis les changements graduels et les événements extrêmes jusqu'aux changements irréversibles du climat, de la sécurité alimentaire, des écosystèmes et du développement durable) et les risques posés par les mesures prises en réponse, risques susceptibles de mettre en péril la durabilité économique. Bien que tout jugement sur les « dangereuses interférences » soit nécessairement un enjeu social et politique, dépendant du niveau de risque jugé acceptable, des réductions d'émissions importantes sont inévitables si le but est la stabilisation. Plus le niveau de stabilisation sera bas, plus les réductions à effectuer seront précoces (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [1.2].

#### **Développement durable.**

Les changements climatiques d'origine anthropique semblent devoir affecter négativement le développement

durable, les effets tendant à augmenter avec les concentrations de GES [GT II RE4, chapitre 19]. Les réponses au changement climatique proprement dites peuvent faire partie intégrante du développement durable et les deux peuvent se renforcer mutuellement. L'atténuation des changements climatiques peut conserver ou enrichir le capital naturel (les écosystèmes et l'environnement comme sources et absorbeurs d'activités économiques) et prévenir ou éviter les dommages aux systèmes humains et ainsi contribuer à la productivité générale du capital nécessaire au développement socio-économique, ce dernier englobant la capacité d'atténuation et d'adaptation. À leur tour, les processus de développement durable peuvent réduire la vulnérabilité aux changements climatiques et réduire les émissions de GES (*accord moyen, nombreuses mises en évidence*) [1.2].

#### **Questions de distribution.**

Les changements climatiques sont sujets à une distribution très asymétrique des émissions présentes et des impacts et vulnérabilités à venir. L'équité peut être définie en termes de distribution des coûts de l'atténuation ou de l'adaptation, de distribution des futurs droits d'émissions et d'établissement de procédures équitables. Parce que les nations industrialisées sont source de la plupart des émissions passées et actuelles, et qu'elles ont la capacité technique et financière d'agir, la Convention a placé le plus lourd fardeau des premières étapes de l'atténuation du changement climatique sur elles. Cela est gravé dans le principe des « responsabilités communes mais différenciées » (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [1.2].

#### **Déroulement chronologique.**

En raison de l'inertie aussi bien du système climatique que du système socio-économique, les retombées des actions d'atténuation lancées actuellement peuvent n'aboutir sur la prévention de changements climatiques significatifs que dans plusieurs décennies seulement. Cela signifie que les actions d'atténuation doivent être lancées dans le court terme de façon à en retirer des avantages à moyen et à long terme et pour éviter l'enfermement dans des technologies à haute intensité carbone (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [1.2].

#### **Atténuation et adaptation.**

L'adaptation et l'atténuation sont deux types de réponses politiques aux changements climatiques, qui peuvent être complémentaires, se substituer l'une à l'autre ou rester indépendantes l'une de l'autre. Sans égard pour l'échelle des mesures d'atténuation, des mesures d'adaptation seront de toute façon nécessaires, en raison de l'inertie du système climatique. Au cours des 20 prochaines années environ, même les plus entreprenantes des politiques climatiques ne pourront pas faire grand-chose pour prévenir le réchauffement d'ores et déjà « chargé » dans le système climatique. Les retombées de la prévention des changements climatiques ne se feront sentir qu'après ce délai. Sur de plus longues périodes, au-delà des quelques prochaines décennies, les investissements d'atténuation présentent un plus grand potentiel pour prévenir les dommages

des changements climatiques, et ce potentiel est plus important que ce que les options d'adaptation envisagées actuellement peuvent offrir (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [1.2].

### **Risques et incertitudes.**

L'un des aspects importants de l'entrée en force de l'Article 2 est l'incertitude qu'implique l'évaluation des risques et de l'ampleur des impacts des changements climatiques et l'évaluation du niveau des actions d'atténuation (et de leur coût) nécessaires pour réduire le risque. En fonction de cette incertitude, les processus de décision basés sur la mise en application de l'Article 2 tireraient profit de l'intégration de principes de gestion des risques. Une approche de gestion du risque basée sur les principes de précaution et d'anticipation intégrerait des mesures d'adaptation et d'atténuation basées sur les coûts et bénéfices des dommages dus au changement climatique évités, en prenant en compte la (petite) probabilité de l'hypothèse du pire (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [1.2].

## 2 Questions de cadrage

### L'atténuation des changements climatiques et le développement durable

La relation entre les changements climatiques et le développement est à deux voies. D'une part, la vulnérabilité aux changements climatiques est encadrée et fortement influencée par les schémas de développement et par les niveaux de revenu. Les décisions portant sur la technologie, les investissements, le commerce, les droits des communautés, les politiques sociales ou la gouvernance, qui peuvent sembler indépendantes des politiques climatiques, peuvent avoir des impacts profonds sur les émissions, l'étendue de l'atténuation nécessaire, et les coûts et bénéfices qui en résultent [2.21].

D'un autre côté, le changement climatique lui-même et les politiques d'adaptation et d'atténuation pourraient avoir des impacts positifs significatifs sur le développement dans ce sens que le développement peut être rendu plus durable. Ceci aboutit à la notion que les politiques liées aux changements climatiques peuvent être considérées (1) dans leur propre perspective (« le climat d'abord ») ou (2) en tant qu'élément faisant partie intégrante de politiques de développement durable (« le développement d'abord »). Considérer le débat comme lié au développement plutôt qu'à l'environnement seul peut permettre de mieux répondre aux demandes des pays, tout en reconnaissant que les forces à l'œuvre dans les émissions proviennent du processus de développement sous-jacent [2.2.3].

Les processus de développement évoluent, en tant que résultat des transactions économiques et sociales, qui sont influencées par les politiques gouvernementales, les initiatives du secteur privé et par les préférences et les choix des consommateurs. Ces éléments comprennent un grand nombre

de politiques publiques liées à la conservation de la nature, les cadres légaux, les droits de propriété, les normes légales, les taxes et la réglementation, la production, la sécurité et la sûreté alimentaires, les schémas de consommation, les efforts de renforcement des capacités humaines et institutionnelles, la R&D, les architectures financières, les transferts de technologies, l'efficacité énergétique et les alternatives énergétiques. Ces politiques n'émergent généralement pas et ne sont pas mises en place dans le cadre de paniers de politiques de développement, mais elles sont généralement ciblées sur des objectifs plus spécifiques comme des standards de pollution de l'air, la sécurité alimentaire et sanitaire, la réduction des émissions de GES, la génération de revenu en faveur de groupes spécifiques, ou le développement d'industries liées aux technologies vertes. Cependant, des impacts significatifs peuvent provenir de ces politiques sur la durabilité et l'atténuation de l'effet de serre et les résultats de l'adaptation. La corrélation forte entre l'atténuation des changements climatiques et le développement est aussi bien à l'œuvre dans les pays en voie de développement que dans les pays industrialisés. Le chapitre 12, et dans une certaine mesure les chapitres 4 à 11 traitent de ces questions plus en détail [2.2.5; 2.2.7].

La littérature nouvelle a identifié des approches méthodologiques pour identifier, caractériser et analyser les interactions entre le développement durable et les réponses aux changements climatiques. Plusieurs auteurs ont suggéré que le développement durable peut être utilisé comme un cadre pour évaluer de façon conjointe les dimensions sociale, humaine, environnementale et économique. Une manière de traiter ces dimensions consiste à utiliser un certain nombre d'indicateurs économiques, environnementaux, humains et sociaux pour évaluer les impacts des politiques publiques liées au développement durable, en intégrant aussi bien des standards de mesure quantitatifs que qualitatifs (*bon accord, mises en évidence limitées*) [2.2.4].

### Processus de décision, risques et incertitudes

Les politiques d'atténuation se sont développées en réponse aux préoccupations issues des risques posés par les impacts des changements climatiques. Cependant, prendre la bonne décision en réponse à ces préoccupations implique de gérer les incertitudes. Le risque se réfère aux cas pour lesquels la probabilité de retombées et de leurs conséquences peut être posée, à l'aide de théories bien établies qui disposent de données fiables et complètes ; l'incertitude se réfère à des situations où les données pertinentes sont fragmentaires ou indisponibles. Les causes de l'incertitude comprennent des preuves insuffisantes ou contradictoires ainsi que le comportement humain. Les dimensions humaines de l'incertitude, en particulier les questions de coordination et de comportements stratégiques, constituent une part prédominante des incertitudes liées à l'atténuation des changements climatiques (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [2.3.3; 2.3.4].

Les analyses d'aide à la décision peuvent assister les

décideurs, en particulier s'il n'existe pas une politique optimale que tout le monde peut approuver. Pour ce faire, un certain nombre d'approches analytiques sont disponibles, chacune présentant ses propres forces et ses propres faiblesses, qui aident à maintenir le contenu informatif du problème du changement climatique dans les limites des capacités cognitives d'un grand nombre de décideurs et de soutenir un dialogue mieux informé et plus efficace entre les parties prenantes. Il existe toutefois des problèmes significatifs dans l'identification, la mesure et la quantification des nombreuses variables qui sont un apport important pour tout cadre d'analyse d'aide à la décision – particulièrement en ce qui concerne les impacts sur les systèmes naturels et sur la santé humaine qui n'ont pas de valeur marchande, et pour lesquelles toutes les approches sont des simplifications de la réalité (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [2.3.7].

Lorsque beaucoup de décideurs porteurs de systèmes de valeurs différents sont impliqués dans une décision, il est utile d'être aussi clair que possible sur les jugements de valeur qui sous-tendent tous les résultats analytiques sur lesquels on s'attend à ce qu'ils basent leur action. Cela peut être particulièrement difficile et subtil lorsque l'analyse a pour objectif de mettre en lumière des choix qui sont associés à de hauts niveaux d'incertitude et de risque (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [2.3.2; 2.3.7].

Les estimations intégrées peuvent informer les décideurs des corrélations entre les changements climatiques géophysiques, les prédictions des impacts liés au climat, les potentiels d'adaptation, le coût des réductions d'émissions et les bienfaits de la prévention des dommages climatiques. Les estimations ont des cadres de référence pour gérer les données incomplètes ou imprécises.

Pour communiquer sur les incertitudes impliquées, ce rapport utilise les termes figurant dans le Tableau RT. 1 pour décrire les niveaux relatifs de convergence entre les experts sur les affirmations en question à la lumière de la littérature existante (rangées horizontales) et le nombre et la qualité de sources indépendantes qualifiées, selon les règles du GIEC<sup>4</sup>, pour servir de base à une affirmation (colonnes). L'autre approche de « probabilité » ou de « confiance » n'est pas utilisée dans ce rapport car des choix humains sont en jeu, et qu'aucune des autres approches employées ne permet de caractériser suffisamment les incertitudes à l'œuvre dans le cadre de l'atténuation (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [2.4].

**Coûts, bénéfices et concepts intégrant les perspectives des coûts privés et sociaux et les corrélations avec d'autres cadres de prise de décision**

Il y a plusieurs façons différentes de définir le potentiel d'atténuation et c'est la raison pour laquelle il est important de spécifier de quel potentiel on parle. « Potentiel » est utilisé pour exprimer le degré de réduction des GES qui peut être accompli par une option d'atténuation, pour un certain coût par tonne de carbone évitée pendant une période donnée, en comparaison avec un cas de référence ou de base. La mesure est généralement exprimée en million(s) de tonnes de carbone ou d'équivalents-CO<sub>2</sub> évitées par comparaison avec les émissions de base [2.4.3].

**Le potentiel du marché** est le potentiel d'atténuation basé sur des coûts privés et des taux d'escompte privés<sup>6</sup> dont on peut attendre qu'ils se produisent sous certaines conditions de marché prédites, y compris les politiques publiques et les mesures actuellement en place, en prenant note que des obstacles peuvent limiter les absorptions effectives.

**Tableau RT 1:** Définition quantitative des incertitudes [Tableau 2.2]

↑ Niveau de cohérence sur une découverte en particulier	Bon accord, mises en évidence limitées	Bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses	Bon accord, nombreuses mises en évidence
	Accord moyen, mises en évidence limitées	Accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses	Accord moyen, nombreuses mises en évidence
	Faible accord, mises en évidence limitées	Faible accord, mises en évidence moyennement nombreuses	Faible accord, nombreuses mises en évidence
	Quantité de preuves (nombre et qualité de sources indépendantes) →		

**Note :** Ce tableau est basé sur deux dimensions de l'incertitude : la quantité de preuves<sup>5</sup> et le niveau de convergence. La quantité de preuves disponibles à propos d'une technologie donnée est estimée par l'examen du nombre et de la qualité de sources d'information indépendantes. Le niveau de convergence exprime la probabilité subjective que les résultats soient compris dans un certain domaine.

<sup>4</sup> Les règles du GIEC autorisent aussi bien la littérature soumise au jugement des pairs que celle qui ne l'est pas, pourvu que les auteurs en soient de qualité équivalente.

<sup>5</sup> Dans le présent rapport, on définit la « preuve » ou « mise en évidence » comme : information ou signes qui indiquent si une croyance ou une proposition est vraie ou valide. V. Glossaire.

<sup>6</sup> Les coûts et les taux d'escompte privés reflètent la perspective des consommateurs et des sociétés privés ; voir le Glossaire pour une description plus complète.

**Le potentiel économique** est le montant d'atténuation des GES qui prend en compte les coûts et les bénéfices sociaux et les taux d'escompte sociaux<sup>7</sup> en postulant que l'efficacité du marché est améliorée par les politiques publiques et les mesures et que les obstacles sont éliminés. Cependant les études ascendantes et descendantes actuelles du potentiel économique font montre de limitations dans la prise en compte des choix de style de vie et dans l'intégration de toutes les externalités, comme la pollution de l'air.

**Le potentiel technique** est le montant de réductions de GES possible par la mise en place de technologies ou de pratiques dont on a déjà démontré l'efficacité. Il n'y a ici aucune référence spécifique aux coûts, seulement aux « contraintes pratiques », bien que des considérations économiques implicites aient été prises en considération dans certains cas (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [2.4.3].

Les études du potentiel du marché peuvent être employées pour informer les décideurs politiques du potentiel d'atténuation compte tenu des politiques et des obstacles existants, tandis que les études traitant du potentiel économique montrent qu'il peut être accompli si de nouvelles politiques publiques complémentaires étaient mises en place pour éliminer les obstacles et intégrer les coûts et bénéfices sociaux. Le potentiel économique est ainsi généralement plus important que le potentiel du marché.

Le potentiel d'atténuation est estimé à l'aide de différents types d'approches. Il en existe deux classes assez larges – les approches « ascendantes » et « descendantes » (ou inductives et déductives) qui ont été utilisées en priorité pour estimer le potentiel économique :

- Les études ascendantes sont basées sur les estimations des alternatives d'atténuation, en mettant l'accent sur des technologies et des réglementations spécifiques. Il s'agit typiquement d'études sectorielles qui postulent la constance de la macroéconomie. Les estimations de secteurs ont été agrégées, comme dans le PRE, pour fournir une estimation du potentiel global d'atténuation au sein de la présente évaluation.
- Les études descendantes évaluent le potentiel des options d'atténuation à travers l'ensemble de l'économie. Elles utilisent des cadres cohérents au niveau global et des informations agrégées à propos des alternatives d'atténuation et prennent en compte les rétroactions macroéconomiques et celles du marché.

Les études ascendantes, en particulier, sont utiles dans l'évaluation d'options politiques spécifiques au niveau sectoriel, p.ex. les options disponibles pour améliorer l'efficacité énergétiques, tandis que les études descendantes sont utiles pour évaluer les politiques liées aux changements climatiques

au niveau de l'ensemble de l'économie, comme les taxes sur le carbone et les politiques de stabilisation. Les modèles ascendants et descendants se ressemblent de plus en plus, depuis le PRE, au fur et à mesure que les modèles descendants ont intégré davantage d'options d'atténuation technologiques (v. chapitre 22) et que les modèles ascendants ont intégré davantage de rétroactions macroéconomiques et du marché, de même que l'analyse des obstacles, dans leurs structures de modèle.

#### Corrélations entre atténuation et adaptation; capacités et politiques publiques

Climate change mitigation and adaptation have some common elements, they may be complementary, substitutable, independent or competitive in dealing with climate change, and also have very different characteristics and timescales [2.5].

L'atténuation des changements climatique et l'adaptation à ces derniers présentent des points communs, ils peuvent être complémentaires, substituables, indépendants ou en concurrence; elles sont aussi très différentes en termes de caractéristiques et d'échelle temporelle [2.5].

L'adaptation comme l'atténuation ont des exigences envers la capacité des sociétés, qui dépend en dernier ressort de leur développement économique et social. Les réponses aux changements climatiques sont fonction de l'exposition au risque climatique, des ressources naturelles et bâties par la main de l'homme, du capital humain, des institutions et du revenu. Cet ensemble définira les capacités d'adaptation et d'atténuation d'une société. Les politiques publiques qui soutiennent le développement et ceux qui améliorent ses capacités d'adaptation et d'atténuation peuvent avoir (mais n'ont pas nécessairement) beaucoup de points communs. Les politiques publiques peuvent être sélectionnées de façon à avoir des impacts synergétiques sur les systèmes naturel et socioéconomique mais il arrive qu'on ait à faire des choix difficiles. Les facteurs-clés qui déterminent la capacité de parties prenantes et de sociétés en particulier de mettre en place l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques intègrent : l'accès aux ressources est aux marchés; les finances; l'information, et un certain nombre de questions de gouvernance (*accord moyen, mises en évidence limitées*) [2.5.2].

#### Aspects liés à la distribution et à l'équité

Les décisions relatives aux changements climatiques ont des implications très importantes pour l'équité locale, nationale, interrégionale et intergénérationnelle, et l'application de différentes approches de l'équité a des implications majeures pour les recommandations politiques, de même que pour la distribution des coûts et des bénéfices des politiques climatiques [2.6].

<sup>7</sup> Les coûts sociaux et les taux d'escompte reflètent les perspectives de la société. Les taux d'escompte sociaux sont plus bas que ceux qui sont utilisés par les investisseurs privés; voir le Glossaire pour une description plus complète.

Différentes approches de la justice sociale peuvent être appliquées à l'évaluation des conséquences pour l'équité des politiques du changement climatique. Comme l'avait suggéré le Troisième rapport d'évaluation (TRE), compte tenu de fortes préférences subjectives pour certains principes d'équité parmi certaines des parties prenantes, il est plus efficace de rechercher des approches pratiques que des approches basées sur les droits. Une approche économique estimerait les pertes et les gains de bien-être sur différents groupes de la société au sens large, tandis qu'une approche basée sur les droits se concentrerait sur les droits, par exemple en termes d'émissions par tête ou par PNB autorisées pour tous les pays, sans égard pour les coûts de l'atténuation ou pour la capacité d'atténuation. La littérature embrasse aussi l'approche basée sur les capacités, mais cette dernière met l'accent sur les perspectives et sur la liberté, ce qui pourrait être interprété, en termes de politique climatique, comme la capacité d'atténuer ou de s'adapter ou d'éviter d'être vulnérable aux changements climatiques (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [2.6.3].

#### Recherche technologique, développement, déploiement, diffusion et transfert de technologie

L'allure et les coûts de toute réponse aux préoccupations au sujet des changements climatiques dépendront aussi de manière cruciale des coûts, des performances et de la disponibilité des technologies qui pourront faire baisser les émissions à l'avenir, bien que d'autres facteurs tel la croissance économique et démographique puissent être aussi très importants [2.7].

La technologie influence simultanément l'ampleur du problème des changements climatiques et le coût de la solution à ce problème. La technologie est un large panier de compétences et d'outils regroupant du savoir-faire, de l'expérience et de l'équipement, utilisés par les humains pour fournir des services et transformer des ressources. Le rôle principal de la technologie dans l'atténuation des émissions de GES se situe dans le contrôle du coût social de limitation des émissions. Beaucoup d'études ont montré la valeur économique significative des améliorations des technologies atténuant les émissions qui sont utilisées aujourd'hui, ainsi que la valeur du développement et du déploiement de technologies avancées d'atténuation des émissions (bon accord, nombreuses mises en évidence) [2.7.1].

On s'attend à ce qu'un large portefeuille de technologies jouent un rôle dans l'accomplissement de l'objectif de la CCNUCC et dans la gestion des risques liés aux changements climatiques, à cause du besoin de réductions d'émissions importantes, de l'importante variété des circonstances nationales et de l'incertitude des performances de chacune des alternatives. Les politiques publiques liées au climat ne sont pas le seul déterminant des changements technologiques. Cependant, une revue des scénarios à venir (v. chapitre 3) indique que le rythme général d'évolution technologique en l'absence de politiques climatiques pourrait être aussi important, sinon plus important, que les politiques climatiques elles-mêmes (bon accord, nombreuses mises en évidence) [2.7.1].

L'évolution technologique est particulièrement importante sur le long terme, caractéristique des changements climatiques. Des échelles temporelles s'étendant sur des décennies ou sur des siècles sont typiques des intervalles présents entre l'innovation technologique et sa diffusion sur une échelle significative, de même que les taux de circulation du capital qui sont caractéristiques de stocks et d'infrastructures énergétiques à longue durée de vie.

De nombreuses approches sont utilisées pour diviser le processus d'évolution technologique en phases distinctes. L'une d'entre elles consiste à considérer l'évolution technologique comme, en gros, un processus à deux phases : 1) conception, création et développement de nouvelles technologies, ou amélioration des technologies existantes – faire reculer « la frontière technologique »; 2) diffusion ou déploiement de ces technologies. Notre compréhension de la technologie et de son rôle dans la gestion des changements climatiques est en constante amélioration. Les processus qui commandent à la création, au développement, au déploiement et finalement au remplacement des technologies sont toutefois complexes (v. Figure RT. 6) et il n'existe aucune description simple de ces processus. Le développement et le déploiement technologiques sont caractérisés par deux problèmes liés aux biens communs. D'abord, le niveau de R&D est sub-optimal parce que les décideurs privés ne peuvent pas appréhender la pleine valeur des investissements privés. Ensuite, il existe un problème classique d'externalités environnementales, en ceci que les marchés privés ne reflètent pas le coût total des changements climatiques (bon accord, nombreuses mises en évidence) [2.7.2].

Three important sources of technological change are R&D, learning and spill-overs.

- La R&D recouvre un large éventail d'activités dans lesquelles les firmes, les gouvernements et d'autres entités investissent des ressources dans le but spécifique d'acquérir de nouvelles connaissances qui peuvent s'incarner en

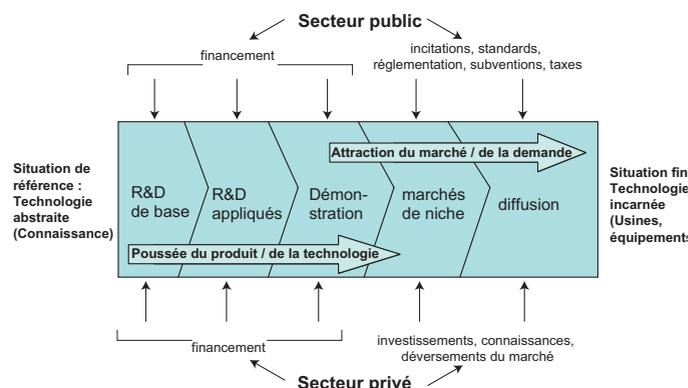


Figure RT 6 : le cycle du développement technologique et les principales forces à l'œuvre [Figure 2.3].

**Note :** il existe d'importantes zones de recouvrement et des rétroactions entre les phases stylisées du cycle de vie technologique illustrées ici. La figure ne suggère donc pas un modèle de l'innovation « linéaire ». Il est important de reconnaître le besoin de distinctions terminologiques plus fines en matière de « technologie », particulièrement lorsqu'on s'intéresse aux différentes options d'atténuation et d'adaptation.

de nouvelles technologies ou une amélioration de ces dernières.

- L'apprentissage est le résultat agrégé de complexes sources d'avancées technologiques sous-jacentes qui comprennent fréquemment des contributions de la R&D, des déversements et des économies d'échelle.
- Les déversements font référence au transfert de connaissance ou des bénéfices économiques liés à une forme d'innovation d'un individu, d'une firme, d'une industrie ou d'une autre entité d'une technologie à l'autre.

Dans l'ensemble, les preuves empiriques et théoriques laissent sérieusement à penser que chacun de ces trois éléments joue un rôle important dans l'avancée technologique, et qu'il n'y a aucune raison impérative de croire que l'une est largement plus importante que les autres. Comme les déversements issus des autres secteurs ont eu des effets énormes sur l'innovation dans le secteur énergétique, une base technologique robuste et large peut être tout aussi importante pour le développement de technologies pertinentes par rapport aux changements climatiques que des recherches explicitement liées au changement climatique ou à l'énergie. Un large portefeuille de recherches est nécessaire, parce qu'il n'est pas possible de définir les gagnants et les perdants ex ante. Les sources d'évolution technologique sont fréquemment additionnées sous l'étiquette générale des facteurs de « poussée de l'offre » (p.ex., via R&D) ou d'« attraction de la demande » (p.ex., via l'apprentissage). Ces derniers ne se substituent pas simplement l'un à l'autre, mais ils peuvent avoir des interactions très complémentaires (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [2.7.2].

Pour ce qui concerne le transfert de technologie, les principales découvertes du Rapport spécial du GIEC - Rapport spécial du GIEC sur les Questions méthodologiques et technologiques dans le transfert de technologie (2000) - restent valables : c'est-à-dire qu'il est nécessaire qu'un environnement adéquat et permettant la manifestation du transfert soit créé aussi bien dans les pays offreurs que dans les pays récipiendaires (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [2.7.3].

### Dimensions régionales

Les études portant sur les changements climatiques ont utilisé différentes définitions régionales, en fonction du caractère du problème considéré et des différences dans les approches méthodologiques. La multitude des représentations régionales possibles met à mal la comparabilité et le transfert d'informations entre les différents types d'études menées pour des régions et des échelles spécifiques. Ce rapport a largement choisi des méthodes pragmatiques pour analyser l'information régionale et pour présenter ses découvertes [2.8]

## 3 Questions liées à l'atténuation à long terme

### Facteurs affectant les scénarios basaux

Aujourd'hui, les projections démographiques sont généralement moins élevées que dans le Rapport spécial du GIEC sur les scénarios d'émissions (RSSE). Ces projections sont basées sur de nouvelles données indiquant que les taux de fécondité dans de nombreuses régions du globe brutalement baissé. Jusqu'à aujourd'hui, ces nouvelles projections démographiques n'ont pas été intégrées dans une grande partie des scénarios d'émissions utilisés dans la littérature. Les études qui les ont intégrées aboutissent à plus ou moins les mêmes niveaux généraux d'émissions, en raison des variations d'autres facteurs à l'œuvre, comme la croissance économique. (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [3.2.1].

Les perspectives de croissance économique n'ont pas beaucoup changé. Il y a un recoupement considérable dans les chiffres publiés de PNB, avec un léger glissement vers le bas de la médiane des nouveaux scénarios, de 7% environ par rapport à la médiane présente dans la littérature des scénarios pré-RSSE. Les données laissent à penser qu'il n'y aura pas de changement appréciable dans la distribution des projections du PNB. Les projections de croissance économique pour l'Afrique, l'Amérique Latine et le Moyen Orient sont plus basses que dans les scénarios du RSSE. (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [3.2.1].

### Scénarios d'émissions basaux (tous gaz, tous secteurs)

L'amplitude des émissions de CO<sub>2</sub> énergétiques et industrielles en 2100 obtenues par les projections à travers les scénarios basaux, est très large dans la littérature post-RSSE, allant de 17 à environ 135 Gt CO<sub>2</sub>-éq (4,6 à 36,8 GtC)<sup>8</sup>, ce qui est à peu près la même amplitude que dans la série RSSE (Figure Rt.7). Différentes raisons peuvent avoir contribué à ce que les émissions n'ont pas décliné malgré une révision assez baissière des projections démographiques et du PNB. Tous les autres facteurs étant égaux, des projections démographiques plus basses aboutiraient à une réduction des émissions. Dans les scénarios qui utilisent des projections plus basses, cependant, la variation d'autres facteurs d'émissions ont partiellement compensé les conséquences de la baisse du chiffre de la population. Très peu d'études ont intégré les projections démographiques révisées à la baisse, mais lorsqu'elles l'ont fait, elles ont mis en évidence qu'une population moins nombreuse est compensée par des taux de croissance économique plus hauts et/ou par un déplacement en direction d'un système énergétique plus intense en carbone, comme un recours au charbon à cause de la hausse du prix du pétrole et du

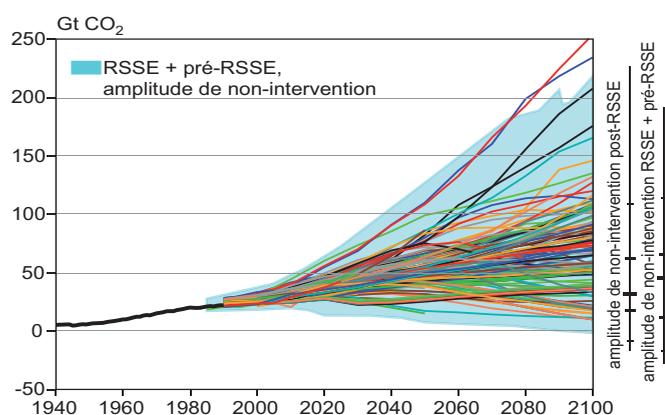
<sup>8</sup> Ce chiffre est la plage de la distribution comprise entre le 5<sup>e</sup> et le 95<sup>e</sup> centile.

gaz. La majorité des scénarios indiquent une augmentation des émissions pendant la plus grande partie du siècle. Cependant, certains scénarios basaux (scénarios de référence) de l'ancienne comme de la nouvelle littérature montrent un pic d'émissions puis un déclin (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [3.2.2].

Les émissions de référence de GES liées à la terre baisseront, selon les projections, avec la croissance de la demande de terres dédiées aux cultures, mais à un rythme moindre que les émissions liées à la production d'énergie. Pour ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub> issues du changement d'affectation des sols (la déforestation, principalement), les scénarios post-RSSE mettent en évidence une tendance similaire à celles du RSSE : un déclin lent, aboutissant possiblement à zéro émission nette à la fin du siècle.

Les émissions de GES qui ne sont pas du CO<sub>2</sub>, tous ensemble (provenant essentiellement de l'agriculture) augmenteront, selon les projections, mais quelque peu moins vite que les émissions de CO<sub>2</sub>, parce que les sources de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O les plus importantes sont les activités agricoles, et que l'agriculture croît moins que l'usage de l'énergie. Les projections d'émissions de la littérature récente sont similaires à celles du RSSE. Les scénarios basaux d'émissions de GES non-CO<sub>2</sub> suggèrent que les émissions agricoles de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O augmenteront jusqu'à la fin de ce siècle, en doublant potentiellement dans certaines bases. Alors que les émissions de certains composés fluorés baisseront, selon les projections, on s'attend aussi à ce que beaucoup d'autres d'entre elles augmentent substantiellement, à cause des rapides taux de croissances de certaines industries émettrices et du remplacement des SDO par des HFC (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [3.2.2].

Des changements perceptibles se sont produits dans les projections d'émissions des précurseurs d'aérosols SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>,



**Note :** Deux barres verticales à droite s'étendent du minimum au maximum de l'amplitude de distribution des scénarios et indiquent les 5<sup>e</sup>, 25<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup>, 75<sup>e</sup> et 95<sup>e</sup> percentiles des distributions vers 2100.

depuis le RSSE. La littérature récente montre une croissance de court terme plus lente pour ces émissions que dans le RSSE. En conséquence, les distributions à long terme de ces deux sources sont aussi plus basses dans la littérature récente. Des scénarios récents projettent que les émissions soufrées atteindront leur apogée plus tôt et à un niveau plus bas que dans le RSSE. Un petit nombre de nouveaux scénarios ont commencé à explorer les cheminements d'émissions pour le carbone noir et le carbone organique (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [3.2.2].

En général, la comparaison du RSSE et des nouveaux scénarios de la littérature montre que l'amplitude des principales forces et des émissions n'ont pas beaucoup changé.

### Unités de mesure du PIB

Pour les scénarios à long terme, la croissance économique est généralement reportée sous la forme de croissance du PNB ou du PIB. Pour dégager une comparaison sensée de la taille réelle des activités économiques à travers le temps et les différentes nations, le PIB est indiqué en prix constants sur la base d'une année de référence.

Le choix d'un facteur de conversion, Taux de change du marché (TCM) ou Parité du pouvoir d'achat (PPP), dépend du type d'analyse qu'on souhaite entreprendre. Cependant, lorsqu'il s'agit de calculer les émissions (ou d'autres mesures physiques comme l'énergie), le choix entre des représentations du PIB basées sur le TCM ou sur la PPP ne devrait pas avoir de poids, puisque l'intensité des émissions changera (en manière de compensation) lorsque les chiffres du PIB changeront. Ainsi, si une série de mesures cohérente est employée, le choix de l'unité de mesure ne devrait pas affecter le niveau d'émissions final de façon significative. Un certain nombre de nouvelles études de la littérature aboutissent ensemble à la conclusion que les choix effectifs de taux de change n'ont pas d'effet discernable en soi sur les projections d'émissions à long terme. Dans le cas du RSSE, les trajectoires d'émissions sont les mêmes, que les activités économiques dans les quatre familles de scénarios soient mesurées par le TCM ou par la PPP.

Il y a des études qui ont trouvé des différences dans les niveaux d'émissions selon que la PPP ou le TCM était employé pour les estimations. Ce résultat provient du fait, entre autres choses, que ces études dépendent étroitement de postulats de convergence [\$\$ tels qu'ils sont décrits dans les scénarios] Dans certains scénarios de court terme (horizon 2030) une approche ascendante est employée là où les postulats sur la croissance de la productivité et les décisions d'investissement et d'épargne sont les principaux facteurs de croissance au sein des modèles. Dans les scénarios de long terme, une approche descendante est plus communément utilisée là où les taux de croissance effectifs sont plus directement prescrits sur la base de la convergence ou d'autres postulats portant sur le potentiel de croissance à long terme. Différents résultats peuvent aussi provenir d'incohérences dans l'ajustement des unités de mesures de l'amélioration de l'efficacité énergétique lorsqu'on

passé d'un calcul basé sur le TCM à un calcul basé sur la PPP.

Les preuves issues du nombre limité de nouvelles études basées sur la PPP indiquent que le choix de l'unité de mesure pour le PIB (TCM ou PPP) n'affecte pas de façon discernable les émissions projetées, lorsque les unités de mesures sont utilisées avec cohérence. Ces différences, s'il y en a, sont petites en comparaison des incertitudes causées par les postulats en ce qui concerne d'autres paramètres, par exemple l'évolution technologique. Le débat montre toutefois clairement qu'il y a une nécessité pour les modélisateurs d'être plus transparents dans leur explication des facteurs de conversion de même que dans le soin mis à partir de postulats liés aux facteurs exogènes (*bon accord, nombreuses mises en évidence*). [3.2.1].

### Scénarios de stabilisation

Un objectif couramment rencontré dans la littérature est la stabilisation de la concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Si plus d'un GES est étudié, une alternative utile consiste à formuler les cibles de concentrations de GES en termes de concentration ou de forçage radiatif en équivalents- CO<sub>2</sub>, pondérant ainsi la concentration des différents gaz en fonction de leurs propriétés radiatives. Une alternative consiste à postuler comme objectif la stabilisation de la température moyenne mondiale. L'avantage des cibles exprimées en termes de forçage radiatif sur les cibles de température est que le calcul du forçage radiatif ne dépend pas de la sensibilité climatique. Le désavantage en est qu'une large série d'impacts de température est possible pour chaque niveau de forçage radiatif. Les objectifs en termes de température, par ailleurs, ont l'avantage non négligeable de pouvoir être plus directement reliés aux impacts des changements climatiques. Une autre approche consiste à calculer les risques ou la probabilité de dépasser des valeurs particulières d'augmentation annuelle mondiale de températures moyennes depuis l'ère préindustrielle

pour certains objectifs spécifiques de stabilisation ou de forçage radiatif.

Il y a une corrélation claire et forte entre elles vers 2100 dans les études publiées, en raison du fait que le CO<sub>2</sub> est le contributeur le plus important du forçage radiatif. En se basant sur cette corrélation, pour faciliter la comparaison et l'évaluation des scénarios, des scénarios de stabilisation (aussi bien les études multi-gaz que les études traitant du CO<sub>2</sub> seul) ont été groupées en différentes catégories dont la sévérité des objectifs varie [Tableau RT 2].

Essentiellement, toute concentration spécifique ou tout objectif de forçage radiatif implique que les émissions tombent à un niveau très bas tandis que les processus de piégeages terrestres et océaniques arrivent à saturation. Des cibles de stabilisation plus élevées repoussent nécessairement leur accomplissement au-delà de l'année 2100. Cependant, pour atteindre une cible de stabilisation donnée, les émissions doivent être réduites, à la fin, bien au-dessous de leurs niveaux actuels. Pour atteindre les catégories de stabilisation I et II, des émissions négatives nettes sont nécessaires avant la fin de ce siècle dans beaucoup de scénarios considérés (Figure RT 8) (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [3.3.5].

Le déroulement des réductions d'émissions dépend de la sévérité de la cible de stabilisation. Les cibles astreignantes nécessitent que le pic des émissions de CO<sub>2</sub> soit atteint plus tôt (voir Figure RT 8). Dans la majorité des scénarios liés à la catégorie de stabilisation la plus astreignante (I), il est indispensable que les émissions déclinent avant 2015 et poursuivent leur baisse pour aboutir à moins de 50% des émissions actuelles vers 2050. Pour la catégorie III, les émissions globales prévues par les scénarios arrivent en général à leur apogée entre 2010 et 2030, avant un retour à leurs niveaux de 2000, en moyenne en 2040.

**Tableau RT 2 :** Classification de scénarios de stabilisation récents (post-TRE) suivant leurs différents objectifs de stabilisation et les unités de mesures alternatives de la stabilisation [Tableau 3.5]

Catégorie	Forçage radiatif supplémentaire	Concentration en CO <sub>2</sub>	Concentration en CO <sub>2</sub> -éq	Augmentation de la température mondiale au-dessus de son niveau préindustriel à l'équilibre, à l'aide des « meilleures estimations » de sensibilité climatique <sup>a, b</sup>	Pic d'émissions de CO <sub>2</sub> <sup>c</sup>	Changement dans les émissions globales de CO <sub>2</sub> en 2050 (% des émissions de 2000) <sup>c</sup>	Nombre de scénarios évalués
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000 - 2015	-85 à -50	6
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000 - 2020	-60 à -30	18
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010 - 2030	-30 à +5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020 - 2060	+10 à +60	118
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050 - 2080	+25 à +85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060 - 2090	+90 à +140	5
Total							177

#### Notes :

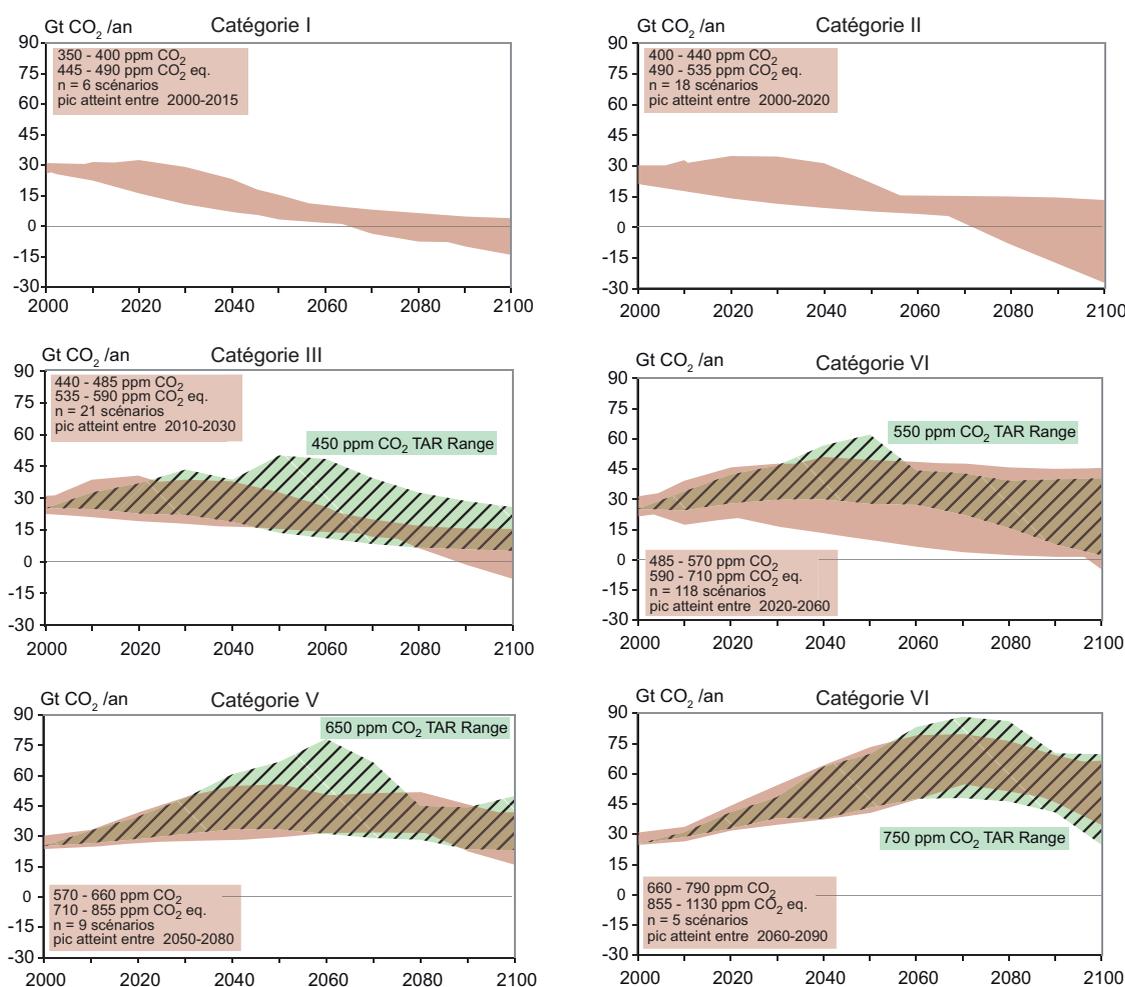
- <sup>a)</sup> Il faut souligner que la température moyenne mondiale à l'équilibre est différente des températures mondiales moyennes en 2100 en raison de l'inertie du système climatique.
- <sup>b)</sup> On utilise des corrélations simples  $T_{eq} = T_{2xCO_2} \times \ln([CO_2]/278)/\ln(2)$  et  $\Delta Q = 5.35 \times \ln([CO_2]/278)$ . Les non-linéarités dans les rétroactions (y compris p.ex. la couverture de glaces et le cycle du carbone) peuvent être causes de dépendances temporelles de la sensibilité climatique effective, et peuvent aussi aboutir à des incertitudes plus importantes à des niveaux de réchauffement supérieurs. Les meilleures estimations de la sensibilité climatique (3C) se réfèrent à la valeur la plus probable, c'est-à-dire le mode de la sensibilité climatique selon une FDP cohérente avec les estimations du GT I RE4.
- <sup>c)</sup> Les distributions correspondent aux 15e et 85e percentiles de la distribution des scénarios post-Troisième Rapport d'évaluation (TRE). Les émissions de CO<sub>2</sub> figurent, les scénarios multi-gaz peuvent donc être comparés avec les scénarios du CO<sub>2</sub> seul.

Pour la catégorie IV, les émissions médianes atteignent leur apogée vers 2040 (Figure RT 9) (*bon accord, nombreuses mises en évidence*).

Les coûts de la stabilisation dépendent de l'objectif de stabilisation et du niveau de celui-ci, de la situation de référence et du portefeuille de technologies considérées, de même que du rythme du progrès technologique. Les coûts globaux d'atténuation<sup>9</sup> augmentent en proportion inverse du niveau de stabilisation et en proportion directe des émissions de référence. Les coûts, en 2050, pour une stabilisation multi-gaz à 650 ppm CO<sub>2</sub>-éq (catégorie IV) sont entre une perte de 2% et une augmentation d'un point<sup>10</sup> du PIB en 2050. Pour 550 ppm de CO<sub>2</sub>-éq (catégorie III), ces coûts vont d'une toute petite augmentation à une perte de 4% du PIB.<sup>11</sup> Pour des niveaux de

stabilisation situés entre 445 et 535 ppm CO<sub>2</sub>-éq, les coûts sont inférieurs à une perte de 5,5% du PIB, mais le nombre d'études est limité et les études se basent généralement sur des situations de référence basses.

Une approche multi-gaz et l'intégration des puits de carbone réduisent généralement les coûts de manière substantielle, en comparaison avec la prise en compte du CO<sub>2</sub> seul. Les coûts moyens globaux de la stabilisation sont incertains, parce que les postulats portant sur la situation de référence ou sur les options d'atténuation dans les modèles varient beaucoup et qu'elles ont un impact de première importance. Pour certains pays, secteurs ou pour certaines échelles temporelles moins importantes, les coûts varieraient considérablement de la moyenne mondiale à long terme (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [3.3.5]

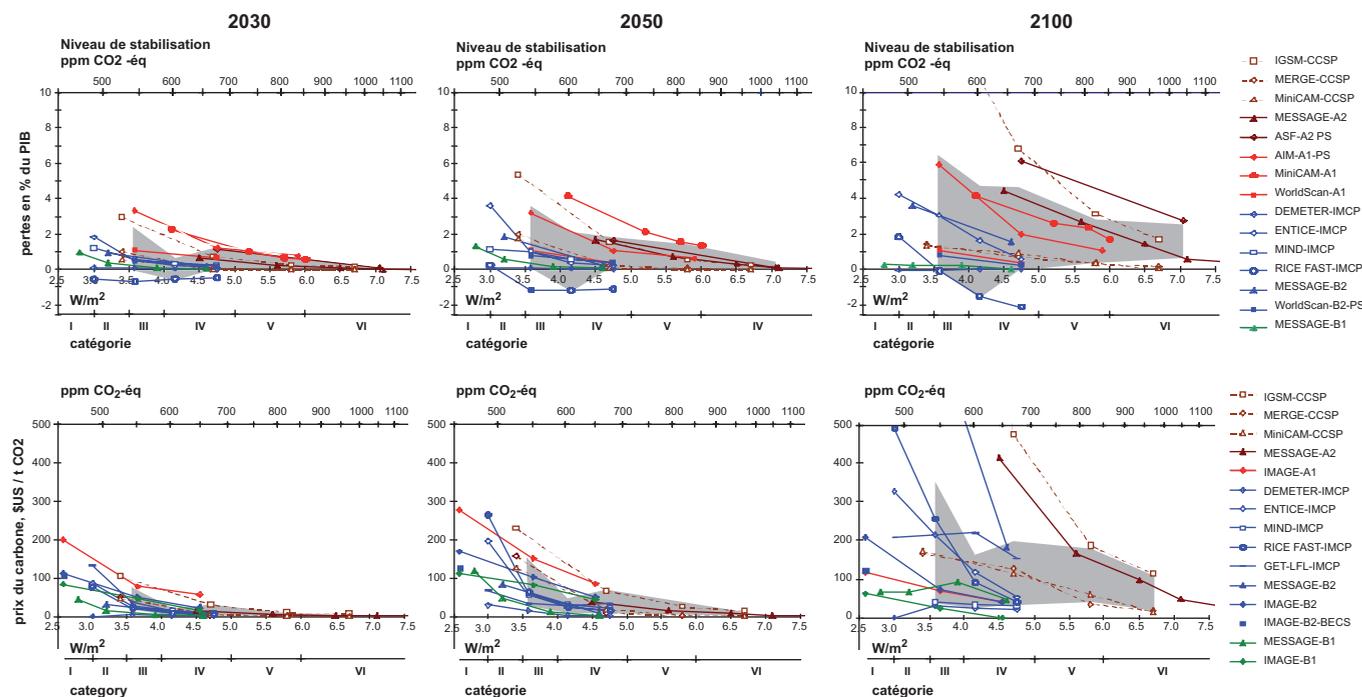


**Figure RT 8 :** déroulement des émissions selon les scénarios d'atténuation pour les différentes catégories d'objectifs de stabilisation (Catégories I à VII, comme rappelé dans chaque cadre de la figure). Les aires colorées en brun clair donnent les émissions de CO<sub>2</sub> pour les scénarios d'atténuation récents, développés après le TRE. Les aires vertes illustrent la répartition de plus de 80 scénarios du TRE (Morita et al., 2000). Les scénarios de Catégorie I et de Catégorie II traitent d'objectifs de stabilisations situés en-dessous des objectifs les plus bas du TRE. Les émissions de l'année de base peuvent différer selon les modèles en raison des différences de couverture en termes d'industries et de secteurs. Pour atteindre les niveaux de stabilisation les plus bas, certains scénarios font appel au captage de CO<sub>2</sub> atmosphérique (émissions négatives) à l'aide de technologies telles que la production de biomasse énergétique piégeant et stockant du carbone [Figure 3.17].

<sup>9</sup> Les études portant sur les paniers d'atténuation et sur les coûts macro-économiques évaluées dans le présent rapport sont basées sur une approche globale du moindre coût, comprenant des portefeuilles de mesures d'atténuation et sans allocation de permis d'émissions aux régions. Si des régions sont exclues, ou si des portefeuilles sub-optimaux sont sélectionnés, les coûts globaux monteront. La variation des portefeuilles d'atténuation et leurs coûts pour un niveau de stabilisation donné sont causées par la différence de postulats, comme par exemple la situation de référence (une situation de référence plus basse aboutira à des coûts plus bas), les GES et les options d'atténuation pris en considération (davantage de gaz couverts, davantage de mesures d'atténuation envisagées aboutissent à davantage de coûts), les courbes de coût pour les options d'atténuation et le taux d'innovation technologique.

<sup>10</sup> Figurent ici la médiane et la plage 10e-90e centile des données analysées.

<sup>11</sup> Une perte de PIB de 4% en 2050 correspond à une réduction de la croissance annuelle du PIB d'environ 0,1 point.



**Figure RT 9 :** corrélation entre le coût de l'atténuation et les objectifs de stabilisation à long terme (forçage radiatif comparé aux niveaux préindustriels,  $W/m^2$  et concentrations en  $CO_2$ -éq) [Figure 3.25].

**Notes :** les différents panneaux indiquent les coûts mesurés en pertes de PIB, en % (en haut) et en prix du carbone (en bas). Les panneaux de gauche se réfèrent à 2030, ceux du milieu à 2050 et ceux de droite à 2100. Les différentes courbes colorées indiquent des études sélectionnées qui font état de dynamiques de coûts représentatives, allant d'estimations très élevées à des estimations très faibles. Les scénarios issus de modèles qui partagent des postulats similaires sont indiqués dans la même couleur. L'aire grise représente le 80e percentile des scénarios TRE et post-TRE. Les courbes continues illustrent les scénarios représentatifs en tenant compte de tous les gaz actifs dans les phénomènes radiatifs. Les lignes pointillées représentent les scénarios multi-gaz, où la cible est définie par les six gaz de Kyoto (d'autres scénarios multi-gaz prennent en considération tous les gaz à impact radiatif). Les scénarios de stabilisation du  $CO_2$  ont été ajoutés en se basant sur la corrélation entre la concentration en  $CO_2$  et les cibles de forçage radiatif données par la Figure 3.16.

Des études récentes portant sur la stabilisation ont mis au jour le fait que les options d'atténuation basées sur l'affectation des sols (aussi bien pour le  $CO_2$  que pour les autres) permettent d'obtenir une certaine flexibilité dans la réduction des coûts pour atteindre les objectifs de stabilisation de 2100. Dans certains scénarios, une augmentation relative de l'énergie issue de la biomasse (combustibles solides et liquides) commercialisée a un impact significatif sur la stabilisation, fournissant entre 5 et 30% de la réduction cumulée et, potentiellement, 10 à 25% de l'énergie primaire totale au cours du siècle, particulièrement en tant que stratégie d'émissions négatives combinant l'énergie issue de la biomasse avec le piégeage et le stockage du  $CO_2$ .

Le choix de la situation de référence est crucial pour déterminer la nature et les coûts de la stabilisation. Cette influence est principalement due aux différents postulats sur les progrès technologiques dans les scénarios basaux.

#### Le rôle des technologies

Pratiquement tous les scénarios postulent que des changements technologiques et structurels se produiront au cours de ce siècle, aboutissant à une réduction relative des émissions en comparaison avec le cas hypothétique où les intensités d'émissions du PIB et des structures économiques resteraient les mêmes qu'aujourd'hui [v. Chapitre 2, section

#### 2.9.1.3].

Les scénarios basaux postulent généralement un changement technologique significatif et la diffusion de nouvelles technologies plus avancées. Dans les scénarios d'atténuation, un progrès technologique supplémentaire est « induit » par le truchement de différentes politiques et de différentes mesures. Les scénarios de stabilisation à long terme soulignent l'importance des progrès technologiques, des technologies avancées, de l'apprentissage par l'essai et du changement technologique endogène aussi bien pour atteindre les cibles de stabilisation que pour réduire les coûts (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [3.4.).

Les différentes catégories de scénarios reflètent aussi les différentes contributions aux mesures d'atténuation. Cependant, tous les scénarios de stabilisation aboutissent à la conclusion que 60 à 80% de toutes les réductions proviendront des secteurs énergétique et industriel. Les gaz non- $CO_2$  et l'affectation des sols contribueraient aux 30 à 40% résiduels (voir, pour des exemples alternatifs, la Figure RT 10). De nouvelles études explorant des niveaux de stabilisation plus exigeants indiquent qu'un portefeuille de technologies plus large est nécessaire. Celles-ci pourraient inclure l'énergie nucléaire, le captage et le stockage du carbone (CSC) et la bioénergie avec capture et stockage géologique du carbone

(CSGC) (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [3.3.5].

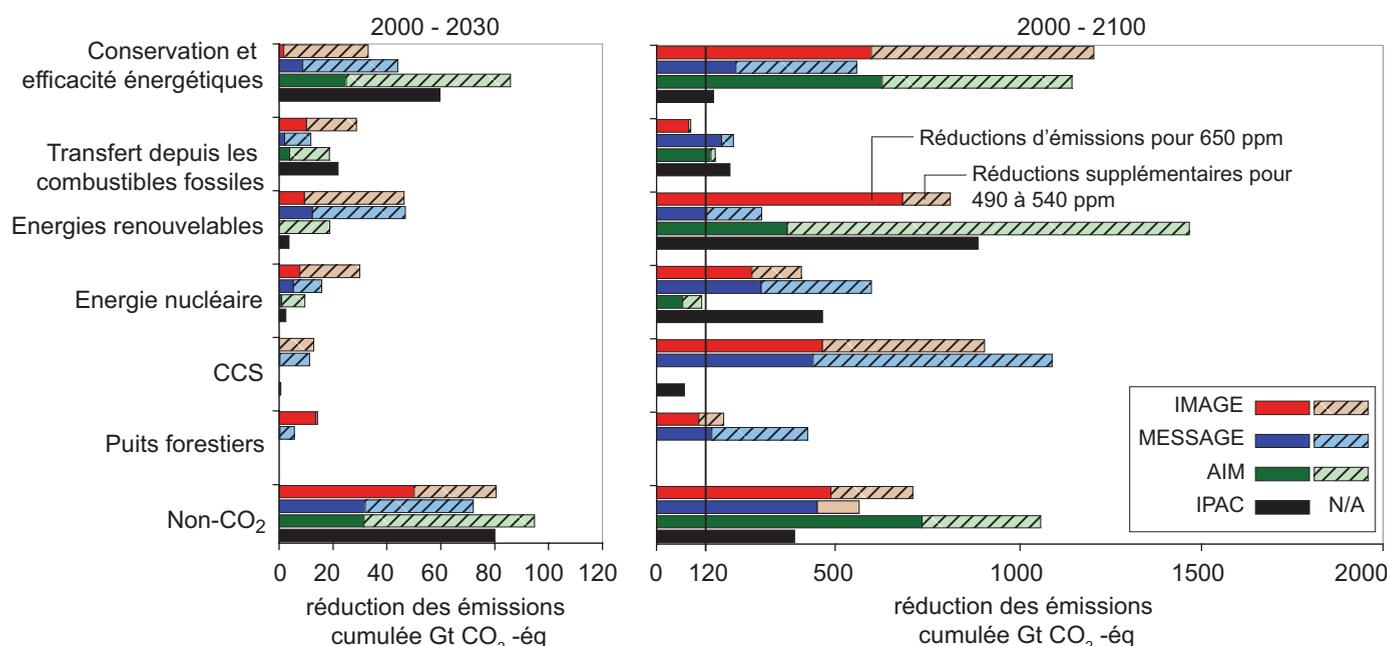
L'atténuation et l'adaptation à la lumière des impacts des changements climatiques et de la prise de décision sous incertitudes

Les préoccupations concernant les vulnérabilités-clés et la notion de ce que c'est qu'un changement climatique dangereux affecteront les décisions relatives aux objectifs des changements climatiques à long terme et, de ce fait, les cheminements d'atténuation. Les vulnérabilités-clés traversent la plupart des systèmes humains et naturels et elles existent à différents niveaux de changements de température. Les scénarios de stabilisation plus astreignants atteignent des objectifs climatiques plus exigeants et abaissent le risque de déclencher des vulnérabilités-clés liées aux changements climatiques. En utilisant la « meilleure-estimation » de sensibilité climatique<sup>12</sup>, les scénarios les plus astreignants (stabilisation autour de 445-490 ppm CO<sub>2</sub>-éq) pourraient limiter l'augmentation de température mondiale moyenne à 2-2,4C au-dessus des niveaux préindustriels, à l'équilibre, ce qui rend nécessaire que les émissions atteignent leur apogée dans les 15 ans à venir et qu'elles redescendent à environ 50% des niveaux actuels vers 2050. Les scénarios se stabilisant à 535-590 ppm CO<sub>2</sub>-éq pourraient limiter l'augmentation de température à 2,8 – 3,2 C au-dessus du niveau préindustriel et ceux qui se stabilisent à 590-710 ppm CO<sub>2</sub>-éq à 3,2-4C, ce qui rend nécessaire que les émissions atteignent

leur pic dans les 25 et 55 ans, respectivement (v. Figure RT 11) [3.3., 3.5].

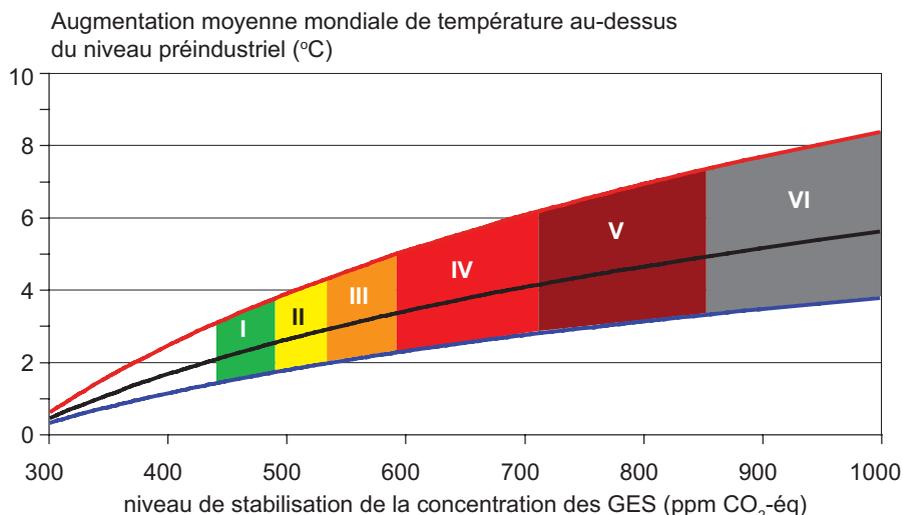
Le risque de sensibilités climatiques plus élevées augmente la probabilité de dépasser chacun des seuils relatifs à certaines vulnérabilités-clés. Les scénarios d'émissions qui mènent à un dépassement temporaire de plafonds de concentration peuvent mener à des rythmes de changements climatiques plus rapides au cours du siècle et faire monter la probabilité de passer les seuils de vulnérabilités-clés. Les résultats des études qui se sont penchées sur les effets de la rétroaction du cycle du carbone et du climat indiquent que les niveaux de concentrations mentionnés ci-dessus et du réchauffement associé au sein d'un scénario d'émissions donné pourraient se révéler sous-estimés. Avec une sensibilité climatique plus haute, des mesures d'atténuation plus précoces et plus appuyées sont nécessaires pour aboutir au même niveau de concentration.

La prise de décision sur le niveau d'atténuation approprié est un processus itératif de gestion du risque qui prend en compte les investissements dans l'atténuation et l'adaptation, les avantages associés des décisions prises par rapport au changement climatique et les dommages dus aux changements climatiques. Elle est très fortement liée aux décisions prises dans les domaines de la durabilité, de l'équité et des processus de développement. L'analyse coût-bénéfice, l'un des outils à disposition, tente de quantifier les dommages des changements climatiques en



**Figure RT 10 :** Réductions cumulées d'émissions pour des mesures alternatives d'atténuation, 2000-2030 (panneau de gauche) et pour 2000-2100 (panneau de droite). La figure montre les scénarios illustratifs issus de quatre modèles (AIM, IMAGE, IPAC et MESSAGE) visant à la stabilisation à des niveaux bas (490 à 540 ppm CO<sub>2</sub>-éq) et intermédiaires (650 ppm CO<sub>2</sub>-éq) respectivement. Les barres sombres dénotent les réductions dans le cadre d'un objectif à 650 ppm CO<sub>2</sub>-éq et les barres rouges les réductions supplémentaires pour atteindre 490 à 540 ppm CO<sub>2</sub>-éq. Il faut souligner que certains modèles ne considèrent pas l'atténuation via l'amélioration des puits de carbone forestiers (AIM et IPAC) ou le CSC (AIM) et que la part des alternatives énergétiques peu intensives en carbone dans l'approvisionnement énergétique total est aussi déterminée par l'inclusion de ces alternatives dans la situation de référence. Le CSC comprend la capture et le stockage du carbone issu de la biomasse. Les puits forestiers comprennent la réduction des émissions issue de la déforestation. [figure 3.23].

<sup>12</sup> La sensibilité climatique à l'équilibre est une mesure de la réponse du système climatique à un forçage radiatif continu. Ce n'est pas une projection, on la définit comme le réchauffement de surface mondial moyen qui suivrait un doublement des concentrations de dioxyde de carbone [RE4 GTI RID].



**Figure RT 11 :** Catégories de scénarios de stabilisation comme reportées dans la figure RT 8 (bandes colorées) et leur corrélation avec la variation moyenne mondiale de température à l'équilibre, au-dessus des niveaux préindustriels de température [figure 3.38].

**Notes :** courbe noire au milieu – « meilleure estimation » de sensibilité climatique à 3°C ; ligne rouge du haut : limite supérieure de la distribution probable de sensibilité climatique, à 4,5°C ; bande bleue en bas : limite inférieure de la distribution probable de sensibilité climatique, à 2°C. Les ombrages colorés illustrent la bande de concentration pour la stabilisation des GES atmosphériques, correspondant aux catégories des scénarios de stabilisation I à VI, comme indiqué dans le Tableau RT 2.

termes monétaires (en tant que coût social du carbone, CSC, ou en tant que dommages en termes escomptés). En raison des grandes incertitudes et des difficultés liées à la quantification des dommages hors-marché, il est encore difficile d'estimer le CSC avec confiance. Les résultats dépendent d'un grand nombre de postulats normatifs et empiriques qu'on ne connaît pas encore avec certitude. Des résultats limités et précoces issus d'analyses intégrées des coûts et bénéfices de l'atténuation indiquent qu'ils seront largement comparables quant à l'ampleur, mais ils ne permettent pas à ce jour une détermination univoque d'un cheminement d'émissions ou d'un niveau de stabilisation où les bénéfices dépassent les coûts. Les estimations intégrées des coûts et des bénéfices économiques de différents cheminements d'atténuation montrent que le déroulement chronologique et le niveau de stabilisation optimaux économiquement parlant, dépendent de la forme et de la caractérisation encore incertaines de la courbe des coûts dus aux changements climatiques telle qu'elle est postulée. Pour illustrer cette dépendance :

- Si la courbe de coût des dommages dus aux changements climatiques augmente lentement et régulièrement, on dispose d'une bonne capacité de prédiction (ce qui augmente le potentiel d'adaptation à temps), une atténuation plus tardive et moins astreignante est économiquement justifiée ;
- Si, au contraire, la courbe de coût des dommages dus aux changements climatique montre une pente très forte ou qu'elle contient des non-linéarités (p.ex. des seuils de vulnérabilité ou des probabilités, même faibles, d'événements catastrophiques), une atténuation plus précoce et plus astreignante est économiquement justifiée (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [3.6.1].

#### Liens entre le court terme et le long terme

Pour chacun des objectifs de stabilisation des GES, les décisions à court terme peuvent être prises par rapport à l'opportunité de mesures d'atténuation, pour assurer une trajectoire d'émissions cohérente au sein d'une série d'objectifs de stabilisation à long terme. Une modélisation à l'échelle de l'économie de cibles de stabilisation globales peut être utile dans la formulation de choix d'atténuation à court terme. Une compilation des résultats tirés de modèles de court et de long terme utilisant des scénarios comportant des objectifs de stabilisations situés entre 3 et 5 W/m<sup>2</sup> (Catégories II et III) a révélé qu'en 2030, pour des prix du carbone inférieurs à 20 US\$ / t CO<sub>2</sub>-éq, des réductions d'émissions de l'ordre de 9 à 18 Gt CO<sub>2</sub>-éq / an, pour tous les GES, peuvent être attendues. Pour des prix du carbone inférieurs à 50 US\$ / t CO<sub>2</sub>-éq cet intervalle se situe entre 14 et 23 Gt CO<sub>2</sub>-éq / an et pour des prix du carbone inférieurs à 100 US\$ / t CO<sub>2</sub>-éq il se situe à 17-26 Gt CO<sub>2</sub>-éq / an (*bon accord, nombreuses mises en évidence*).

Il faut se rappeler trois considérations importantes pour ce qui concerne les coûts marginaux rapportés. D'abord, ces scénarios d'atténuation postulent une flexibilité complète pour ce qui concerne le « quoi » et le « où » ; c'est-à-dire qu'il y a une substitution complète entre les GES, et que les réductions ont lieu partout dans le monde dès que les modèles commencent à faire leurs analyses. En second lieu, les coûts marginaux de la réalisation de ces niveaux d'atténuation augmentent dans l'horizon temporel au-delà de 2030. En troisième lieu, au niveau du secteur économique, le potentiel de réduction des émissions pour tous les GES varie significativement à travers les différents scénarios modélisés (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [3.6.2].

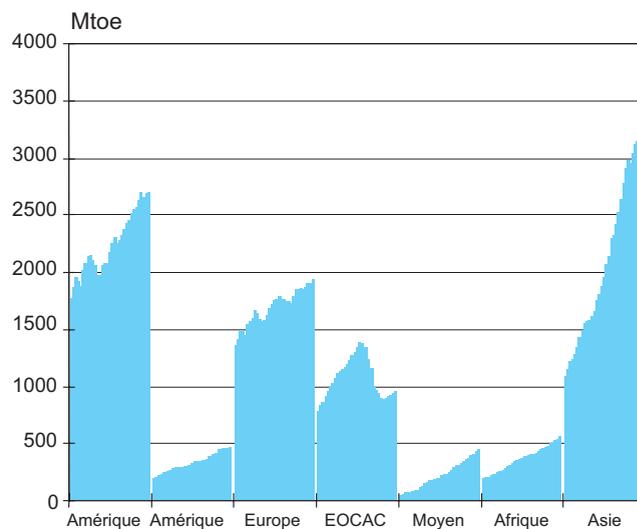
Une approche de gestion du risque ou de couverture peut aider les décideurs politiques à avancer des décisions d'atténuation en l'absence d'objectif de long terme et en faisant face aux grandes incertitudes liées aux coûts de l'atténuation, à l'efficacité de l'adaptation et aux impacts négatifs des changements climatiques. L'étendue et le déroulement chronologique de la stratégie de couverture désirable dépendra des enjeux, du hasard et des attitudes adoptées par la société par rapport aux risques, par exemple, pour ce qui concerne les risques de changements abrupts dans les systèmes géophysiques et d'autres vulnérabilités-clés. Une variété d'approches intégrées des estimations existe pour évaluer les bénéfices de l'atténuation dans le contexte de décisions politiques liées à de tels objectifs climatiques de long terme. Il y aura d'amples occasions d'apprendre et d'apporter des corrections en cours de route au fur et à mesure que les informations seront disponibles. Cependant, les actions entreprises dans le court terme détermineront largement les températures moyennes mondiales de long terme et, ainsi, ceux des dommages issus des changements climatiques qui pourront être évités. Un retard apporté aux réductions d'émissions aboutit à des investissements qui verrouillent des infrastructures et des processus de développement plus intensifs en émissions. Cela réduit significativement les perspectives d'atteindre des niveaux de stabilisation inférieurs et augmente le risque d'impacts climatiques plus sévères. Il s'ensuit que l'analyse des décisions de court terme ne devrait pas être découplée de l'analyse qui considère les résultats des changements climatiques sur le long terme (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [3.6 ; 3.5.2].

## 4 Approvisionnement énergétique

### Situation du secteur et développements jusqu'en 2030

La demande énergétique mondiale continue à augmenter, mais avec des différences régionales. La croissance annuelle moyenne de la consommation globale d'énergie primaire se montait à 1,4% pour la période 1990-2004. Ce chiffre est inférieur à ceux des deux décennies précédentes en raison de la transition économique en Europe orientale, dans le Caucase et en Asie Centrale, mais la consommation énergétique dans cette région augmente à nouveau (Figure RT 12) (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [4.2.1].

Une croissance rapide de la consommation énergétique par tête prend place dans beaucoup de pays en voie de développement. L'Afrique est la région qui montre la consommation par tête la moins élevée. La hausse des prix du pétrole et du gaz compromettent l'accès à l'énergie, l'équité et le développement durable dans les pays les plus pauvres et interfère avec le progrès vers les objectifs de réduction de la pauvreté qui, à leur tour, impliqueraient un meilleur accès à l'électricité, aux moyens modernes de chauffer la nourriture et à de meilleurs combustibles de chauffage et de transports (*bon*

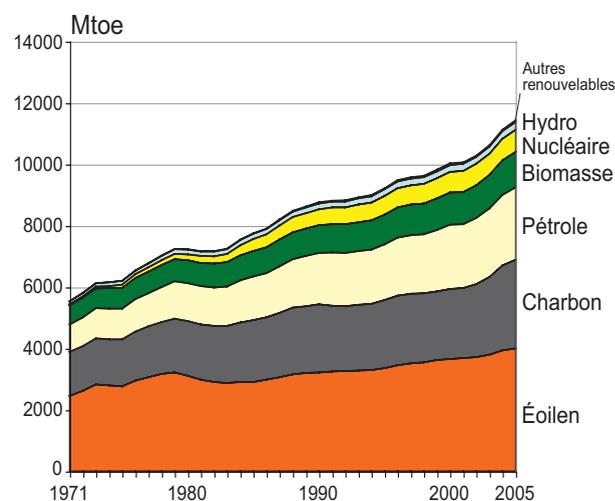


**Figure RT 12** : consommation annuelle d'énergie primaire, y compris la biomasse traditionnelle, 1971-2003 [figure 4.2]. Note : EOCAC: pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie Centrale. 1000 Mtoe = 42 EJ

*accord, nombreuses mises en évidence*) [4.2.4].

La consommation totale de combustibles fossiles a augmenté constamment au cours des trois dernières décennies. La consommation d'énergie nucléaire a continué d'augmenter, bien qu'à un rythme moindre que dans les années 1980. Les ordres de grandeur d'énergie hydroélectrique et géothermique sont relativement statiques. Entre 1970 et 2004, la part des combustibles fossiles est passée de 86% à 81%. Les énergies éoliennes et solaires sont celles qui se développent le plus vite, mais en partant d'une base très faible (Figure RT 13) (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [4.2].

La plupart des scénarios « la machine continue de tourner » (business-as-usual, BAU) prennent en compte une poursuite de



**Figure RT 13** : consommation mondiale d'énergie primaire par type de combustible [figure 4.5]

la croissance démographique mondiale (bien qu'à un rythme moindre qu'on le pensait il y a quelques décennies) et une croissance du PIB, aboutissant à une augmentation significative de la demande énergétique. Des taux de croissance importants de la demande énergétique en Asie (3,2% par an entre 1990 et 2004) continueront, selon les projections, d'être alimentés principalement par des carburants fossiles (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [4.2].

La pénurie absolue de carburants fossiles à l'échelle mondiale n'est pas un facteur significatif dans la considération de l'atténuation des changements climatiques. La production pétrolière conventionnelle finira par atteindre son pic, mais la détermination de quand et ce qu'en seront les répercussions est incertaine. L'énergie contenue dans le gaz naturel conventionnel est plus abondante que celle qui est enfermée dans le pétrole mais, comme pour le pétrole, le gaz n'est pas distribué de façon égalitaire dans le monde. Dans l'avenir, le manque de sécurité de l'approvisionnement en pétrole et en gaz pour les nations consommatrices pourrait générer un déplacement vers le charbon, l'énergie nucléaire et / ou les énergies renouvelables. Il y a aussi une tendance vers les conteneurs énergétiques les plus efficaces et les plus pratiques (l'électricité, les carburants liquides et gazeux) en lieu en place de combustibles solides (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [4.3.1].

Dans toutes les régions du monde, l'accent sur la sécurité des approvisionnements a augmenté depuis le Troisième Rapport d'évaluation (TRE). Cette situation est couplée avec une baisse des investissements dans les infrastructures, une demande globale en augmentation, une instabilité politique dans les zones-clés et des menaces de conflits, de terrorisme et d'événements météorologiques extrêmes. De nouveaux investissements en infrastructures énergétiques dans les pays en voie de développement et la mise à jour des capacités dans les pays industrialisés ouvre une fenêtre d'opportunité pour l'exploitation des avantages associés des choix faits dans le panier énergétiques afin de faire baisser les émissions d'GES par rapport à ce qu'ils seraient sinon (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [4.2.4 ; 4.1].

Le casse-tête de nombreux gouvernements est devenu aujourd'hui de savoir comment satisfaire une demande croissante pour des services énergétiques fiables tout en limitant les coûts économiques de leurs éléments constitutifs, d'assurer la sécurité énergétique, de réduire la dépendance aux sources d'énergie importées, et de minimiser les émissions des GES associés et d'autres polluants. La sélection de systèmes d'approvisionnement énergétique pour chaque région du monde dépendra de leur développement, des infrastructures existantes et des coûts comparatifs locaux des sources d'énergie disponibles (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [4.1].

Si les prix des combustibles fossiles restent élevés, il est possible que la demande baisse temporairement jusqu'à ce que les réserves d'hydrocarbures sous forme de sables et schistes bitumineux, de charbon liquéfié, de gaz liquéfié etc. soient

commerciallement viables. Si cela se produisait, les émissions augmenteraient encore avec l'intensité carbone, à moins que le captage et stockage du carbone (CSC) ne soit appliqué. En raison de préoccupations croissantes liées à la sécurité énergétique et des augmentations récentes du prix du gaz, un intérêt croissant se manifeste pour les nouvelles usines de production énergétique à charbon, plus efficaces que par le passé. Une question cruciale pour les émissions de GES à venir est de savoir à quel rythme les usines à charbon seront équipées de technologie de CSC, qui fera monter le coût de l'électricité. Il restera à déterminer si la construction de centrales « prêtes au piégeage » sera plus rentable que de rénover les usines existantes ou de construire une nouvelle centrale intégrée avec le CSC. La réponse dépendra des postulats économiques et techniques du moment. Des prix de combustibles fossiles demeurant élevés pourraient aussi aboutir sur davantage d'énergie nucléaire et / ou renouvelable, bien que la volatilité des prix puisse décourager les investisseurs. Les préoccupations liées à la sécurité, à la prolifération des armements et des déchets restent des contraintes liées à l'énergie nucléaire. L'hydrogène pourrait être, à terme, mis à contribution comme conteneur d'énergie à faible émission de carbone, en fonction de la source de la production d'hydrogène et du succès des équipements de CSC appliqués à la production d'hydrogène à partir de charbon ou de gaz. Pour ce qui concerne les énergies renouvelables, soit elles devront être utilisées de manière distribuée, soit elles devront être concentrées pour remplir la demande intensive des villes et des industries car, contrairement aux combustibles fossiles, les sources d'énergie renouvelable sont largement répandues, avec un retour énergétique faible par zone d'exploitation (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [4.3].

Si la demande énergétique continue à croître le long de sa trajectoire actuelle, un système d'infrastructures et de conversion amélioré nécessitera vers 2030 un investissement cumulé de plus de 20 billions de US\$2005 (20 x 1012). En comparaison, l'investissement en capital total de l'industrie énergétique mondiale se monte actuellement à 300 milliards de US\$ par année (300 x 109) (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [4.1].

#### Tendances dans les émissions globales et régionales

À l'exception des pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie Centrale (où les émissions ont baissé après 1990 mais augmentent à nouveau) et d'Europe (actuellement stable), les émissions de carbone ont continué à augmenter. Les émissions de gestion-des-affaires-courantes en 2030 augmenteront significativement. Sans actions politiques efficaces, les émissions de CO<sub>2</sub> globales issues de combustibles fossiles augmenteront, selon les prédictions, d'un minimum de 40%, passant d'environ 25 GtCO<sub>2</sub>-éq / an (6,6 GtC-éq) en 2000 à 27-53 GtCO<sub>2</sub>-éq / an (10-14 GtC-éq) en 2030 [4.2.3].

En 2004, les émissions issues de la production énergétique et de la fourniture de chaleur se sont montées à 12,7 GtCO<sub>2</sub>-éq (26% du total des émissions), y compris 2,2 GtCO<sub>2</sub>-éq de

CH<sub>4</sub>. En 2030, selon la situation de référence du World Energy Outlook 2006, elles auront augmenté jusqu'à 17,7 GtCO<sub>2</sub>-éq (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [4.2.2].

#### Description et évaluation des technologies, des pratiques, des potentiels et des coûts de l'atténuation dans le secteur de la production d'électricité

Le secteur de l'électricité dispose d'un potentiel d'atténuation significatif en utilisant une série de technologies [Tableau RT.3]. Le potentiel économique d'atténuation de chaque technologie prise isolément est présentée comme si tout l'effort était concentré vers elle, mais en tenant compte de certaines contraintes dans le taux de captation, l'acceptation par l'opinion, le renforcement des capacités et la commercialisation. La concurrence entre les alternatives, l'influence de la conservation de l'énergie utilisée en dernier lieu et l'amélioration de l'efficacité ne sont pas prises en compte [4.4].

Il existe une large palette d'options d'atténuation de l'approvisionnement énergétique qui sont rentables pour des prix du carbone de <US\$20/tCO<sub>2</sub>, y compris le changement de combustible et l'amélioration de l'efficacité des centrales, l'énergie nucléaire et les systèmes d'énergies renouvelables. Le PCS sera plus rentable avec la hausse du prix du carbone. D'autres alternatives sont encore en phase de développement, comme l'énergie nucléaire avancée, les énergies renouvelables avancées, les biocarburants de deuxième génération et, à plus long terme, la possible utilisation de l'hydrogène comme conteneur énergétique (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [4.3, 4.4].

Comme les estimations relevées dans le Tableau RT 3 reflètent les potentiels d'atténuation des options considérées isolément sans égard pour le mélange actuel de l'offre, elles ne peuvent pas être additionnées. Une analyse complémentaire du mélange de l'offre permettant d'éviter les doublons a donc été effectuée. Pour cette analyse, on a postulé que la capacité de production d'électricité thermique serait progressivement remplacée et que de nouvelles centrales seraient construites pour satisfaire la demande, sous les conditions suivantes :

- 1) On a postulé le remplacement du charbon par le gaz dans 20% des centrales à charbon, car il s'agit de l'option la meilleur marché ;
- 2) Le remplacement des centrales existantes à carburant et la construction, vers 2030, de nouvelles centrales permettant de satisfaire la demande sont répartis entre des centrales efficaces à combustibles fossiles, des centrales à énergies renouvelables à énergie nucléaire et à gaz équipées en PCS. On n'a pas postulé la désaffectation de centrales ou de dispositifs devenus inutilisables.
- 3) Des technologies à carbone nul ou bas ont été employées en proportion de leur part maximum estimée dans la production électrique en 2030. Cette proportion est basée sur la littérature, en tenant compte de la disponibilité de la ressource, des coûts relatifs et de la variabilité de l'offre en liaison avec les

questions d'intermittence de la puissance, et en les différenciant en fonction du coût du carbone.

Le potentiel économique d'atténuation qui en résulte pour le secteur de production énergétique, entre l'amélioration de l'efficacité des centrales thermiques, le changement de combustible et la mise en place de davantage d'énergie nucléaire, d'énergies renouvelables, de changements de combustibles et de PCS pour satisfaire la demande croissante se situe aux alentours de 7,2 GtCO<sub>2</sub>-éq pour un prix du carbone <100 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq. Pour un prix du carbone <20 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq le potentiel de réduction est estimé à 3,9 GtCO<sub>2</sub>-éq [Tableau RT 4]. À ce niveau de prix du carbone, la part des énergies renouvelables dans la production énergétique augmenterait de 20% en 2010 à 30% en 2030 environ. Pour des prix du carbone <50 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq, la part augmenterait pour se fixer à 35% de la production totale d'électricité. La part de l'énergie nucléaire serait d'environ 18% en 2030 pour un prix du carbone de <50 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq, et ne changerait pas beaucoup si les prix sont plus élevés en raison du fait que les autres technologies seraient plus compétitives.

Pour évaluer le potentiel économique, on a postulé la plus grande part technique possible pour l'emploi de technologies à carbone nul ou faible et l'estimation est, pour cette raison, à la limite supérieure de la grande amplitude trouvée dans la littérature. Si, par exemple, seulement 70% de la part postulée est atteinte, le potentiel d'atténuation pour des prix du carbone <100 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq serait quasiment divisé par deux. Les économies potentielles dans la demande énergétique des secteurs utilisateurs finaux réduisent la nécessité de mesures d'atténuation dans le secteur énergétique. Si l'impact des mesures d'atténuation dans les secteurs de la construction et de l'industrie en termes de demande d'électricité [traité dans le chapitre 11] est pris en compte, un potentiel d'atténuation moins élevé que le chiffre isolé reporté ici pour le secteur énergétique en résulte (*accord moyen, mises en évidence limitées*) [4.4].

#### Interactions des options d'atténuation avec la vulnérabilité et l'adaptation

Beaucoup de systèmes énergétiques sont eux-mêmes vulnérables aux changements climatiques. Les combustibles fossiles offshore et les systèmes d'extraction du gaz et du pétrole situés en zone côtière sont vulnérables aux événements météorologiques extrêmes. Le refroidissement des centrales conventionnelles et nucléaire peut devenir problématique si l'eau des rivières se réchauffe. Les ressources énergétiques renouvelables peuvent aussi être affectées négativement par les changements climatiques (comme les systèmes de production solaire impactés par des variations de la couverture nuageuse ; la production hydroélectrique influencée par des variations de niveau de l'eau, par la fonte de la neige et des glaciers ; l'énergie éolienne influencée par le changement de la vitesse du vent ; et le rendement des cultures affecté par des sécheresses et la hausse des températures). Certaines mesures d'adaptation aux changements climatiques, comme l'air conditionné et les

**Tableau RT 3 :** Potentiel de prévention d'émissions de GES vers 2030 pour des technologies sélectionnées d'atténuation dans la production électrique (au-delà de la référence de référence de l'AIE selon le World Energy Outlook de 2004) employées isolément, avec les parts estimées du potentiel d'atténuation à travers chaque intervalle de coût (2006 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq) [Tableau 4.19].

	Groupements régionaux	Potentiel d'atténuation: Total des émissions économisées en 2030 (GtCO <sub>2</sub> -éq)	Potentiel d'atténuation (%) pour des intervalles de prix du carbone spécifiques (US\$/tCO <sub>2</sub> -éq évités)				
			<0	0-20	20-50	50-100	>100
Changement de combustible et efficacité des centrales	OCDE <sup>a</sup>	0.39		100			
	EET <sup>b</sup>	0.04		100			
	Hors OCDE	0.64		100			
	Monde	1.07					
Nucléaire	OCDE	0.93	50	50			
	EET	0.23	50	50			
	Hors OCDE	0.72	50	50			
	Monde	1.88					
Hydro	OCDE	0.39	85	15			
	EET	0.00					
	Hors OCDE	0.48	25	35	40		
	Monde	0.87					
Éolien	OCDE	0.45	35	40	25		
	EET	0.06	35	45	20		
	Hors OCDE	0.42	35	50	15		
	Monde	0.93					
Bioénergie	OCDE	0.20	20	25	40	15	
	EET	0.07	20	25	40	15	
	Hors OCDE	0.95	20	30	45	5	
	Monde	1.22					
Géothermie	OCDE	0.09	35	40	25		
	EET	0.03	35	45	20		
	Hors OCDE	0.31	35	50	15		
	Monde	0.43					
Solaire PV et énergie solaire concentrée	OCDE	0.03				20	80
	EET	0.01				20	80
	Hors OCDE	0.21				25	75
	Monde	0.25					
PCS + charbon	OCDE	0.28			100		
	EET	0.01			100		
	Hors OCDE	0.20			100		
	Monde	0.49					
PCS + gaz	OCDE	0.09			30	100	
	EET	0.04				70	
	Hors OCDE	0.09				100	
	Monde	0.22					

**Notes :**

- a) Organisation de coopération et de développement économique  
 b) Economies en transition

pompes à eau utilisent de l'énergie et peuvent contribuer à des émissions de CO<sub>2</sub> encore plus hautes, et nécessiter ainsi encore plus d'atténuation (*bon accord, mises en évidence limitées*) [4.5.5].

Efficacité et expérience des politiques climatiques, des questions de potentiel, d'obstacles, d'opportunité et de mise en place

La nécessité d'une action immédiate de court terme, indispensable pour avoir un impact significatif sur le long terme est devenue visible, tout comme la nécessité d'appliquer tout le spectre des instruments politiques, puisque aucun instrument ne permettra une transition à grande échelle dans les systèmes d'approvisionnement énergétique à l'échelle du globe. Les technologies de conversion énergétique à grande échelle ont

une vie de plusieurs décennies et donc un roulement limité à 1 à 3% par an. Cela signifie que les décisions politiques prises aujourd'hui affecteront le rythme de déploiement de technologies émettrices de carbone pendant plusieurs décennies. Elles auront des conséquences en profondeur sur les processus de développement, en particulier dans un monde en développement rapide [4.1].

Les instruments économiques et réglementaires ont été utilisés. Des approches encourageant la mise en place plus fréquente de systèmes d'approvisionnement énergétiques faibles en carbone comprennent la baisse des subventions pour les combustibles fossiles et la stimulation des pionniers pour des technologies spécifiques en impliquant activement le gouvernement dans la création d'un marché (comme au Danemark pour l'énergie éolienne et au Japon pour le solaire photovoltaïque (PV)).

**Tableau RT 4 :** Augmentation projetée de la demande énergétique de 2010 à 2030 remplie par de nouvelles centrales plus efficaces et par des centrales de remplacement, et potentiel d'atténuation consécutif, au-dessus du niveau de référence du World Energy Outlook 2004 [Tableau 4.20].

	Efficacité des centrales vers 2030 (base AIE 2004 <sup>a)</sup> )	Panier actuel de production énergétique en 2010	Production de nouvelles centrales supplémentaires vers 2030	Production de nouvelles centrales en 2030 remplaçant les anciennes existant en 2010	Part du panier de production de toutes les centrales nouvelles et de remplacement bâties vers 2030, y compris le PCS, à différents prix du carbone (US\$/tCO <sub>2</sub> -éq) <sup>b)</sup>			Nombre total de GtCO <sub>2</sub> -éq évitées par substitution de combustible, CPS et remplacement de certaines productions basées sur les combustibles fossiles par des options à carbone bas, options éolienne, solaire, géothermique, hydroélectrique, nucléaire et issue de la biomasse		
					<20 US\$/TWh	<50 US\$/TWh	<100 US\$/TWh	<20 US\$/t	<50 US\$/t	<100 US\$/t
					7463			1.58	2.58	2.66
OCDE		11,302	2942	4521	7463			1.58	2.58	2.66
Charbon	41	4079	657	1632	899	121	0	0.32	0.42	0.49
Pétrole	40	472	-163C	189	13	2	0			
Gaz	48	2374	1771	950	1793	637	458			
Nucléaire	33	2462	-325	985	2084	2084	1777			
Hydro	100	1402	127	561	1295	1295	1111			
Biomasse	28	237	168	95	263	499	509			
Autres énergies renouvelables	63	276	707	110	1116	1544	1526			
CCS					0	1282	2082			
Economies en Transition (EET)		1746	722	698	1420					
Charbon	32	381	13	152	72	46	29	2.06	3.44	4.08
Pétrole	29	69	-8	28	11	7	4			
Gaz	39	652	672	261	537	357	240			
Nucléaire	33	292	-20	117	442	442	442			
Hydro	100	338	35	135	170	170	170			
Biomasse	48	4	7	2	47	109	121			
Autres énergies renouvelables	36	10	23	4	142	167	191			
CCS					0	123	222			
Hors OCDE / EET		7137	7807	2855	10662					
Charbon	38	3232	3729	1293	2807	1697	1133	3.95	6.44	7.22
Pétrole	38	646	166	258	297	179	120			
Gaz	46	1401	2459	560	3114	2279	1856			
Nucléaire	33	231	289	92	1356	1356	1356			
Hydro	100	1472	874	589	1463	2106	2106			
Biomasse	19	85	126	34	621	1294	1443			
Autres énergies renouvelables	28	70	164	28	1004	1154	1303			
CCS					0	596	1345			
TOTAL		20185	11471	8074	19545					

**Notes :**

- a) L'efficacité impliquée est calculée sur la base du WEO 2004 (AIE, 2004b) = production d'énergie (EJ) / apport estimé d'énergie (EJ). V. Appendice, chapitre 11.
- b) A un prix du carbone plus élevé, la production basée sur le charbon, le gaz et le pétrole se déplace en direction des options à carbone nul ou faible. Comme les énergies nucléaires et hydro sont rentables à <US\$20/tCO<sub>2</sub>-éq dans la plupart des régions [chapitre 4, Tableau 4.4.4], leur proportion reste constante.
- c) Des données négatives illustrent un déclin de la production, ce qui a été intégré dans l'analyse.

La réduction des subventions aux combustibles fossiles a été difficile, car elle se heurte à la résistance de certains intérêts croisés. En termes de soutien pour les projets d'électricité renouvelable, des tarifs préférentiels ont été plus efficaces que les systèmes de négociation des bons d'émissions basés sur des quotas. Cependant, la part des énergies renouvelables augmentant dans le panier énergétique, l'ajustement de ces tarifs devient une question importante. On s'attend à ce que les systèmes de permis négociables et l'utilisation des mécanismes flexibles de Kyoto contribuent substantiellement aux réductions des émissions (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [4.5].

### Politiques intégrées, politiques non climatiques et avantages associés des politiques d'atténuation

Les avantages associés de l'atténuation des GES dans le secteur de l'approvisionnement énergétique peuvent être substantiels. Lorsqu'on applique des mesures rentables d'efficacité énergétique, il en résulte un bénéfice économique immédiat en faveur des consommateurs sous forme de prix de l'énergie plus bas. D'autres avantages associés se manifestent typiquement à l'échelle locale, telles la sécurité de l'approvisionnement énergétique, l'innovation technologique, la baisse de la pollution de l'air et la création d'emplois. C'est particulièrement vrai pour les énergies renouvelables qui

peuvent faire baisser la dépendance à l'importation et, dans de nombreux cas, minimiser les pertes et les coûts de transport. L'électricité, les combustibles des transports et du chauffage fournis par les énergies renouvelables sont moins sensibles aux fluctuations de prix, mais ils ont dans de nombreux cas des coûts plus importants. Comme les technologies énergétiques renouvelables peuvent présenter une intensité-travail plus importante que les technologies conventionnelles par unité d'énergie produite, elles créent des emplois. Cependant, le coût élevé de nouvelles infrastructures énergétique peut représenter un obstacle important à leur mise en place.

Les pays en voie de développement qui continuent à vivre une croissance économique importante auront besoin d'augmentations significatives dans les services énergétiques qui sont actuellement rendus par les combustibles fossiles. Un accès amélioré aux services énergétiques modernes peut présenter des avantages multiples. Leur usage peut contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air, en particulier dans les grandes zones urbaines, et aboutir à une baisse des émissions de GES. Il sera nécessaire de construire un parc de centrales de 2400 GW (plus les infrastructures correspondantes) dans les pays en voie de développement vers 2030 pour satisfaire la demande croissante des consommateurs, ce qui nécessitera un investissement tournant autour de 5 billions de dollars US (5x10<sup>12</sup>). Si ces grands investissements sont bien pilotés, ils fournissent des perspectives de mise en œuvre du développement durable. L'intégration de politiques développementalistes avec des objectifs d'atténuation des GES peut aboutir aux avantages susmentionnés et contribuer à atteindre les objectifs de développement qui sont liés à l'emploi, à la pauvreté et à l'équité. L'analyse des politiques publiques possibles devrait prendre ces avantages associés en compte. Cependant, il faut souligner à nouveau que, dans certaines circonstances spécifiques, lutter contre la pollution de l'air ou pour la sécurité énergétique peut aboutir à une utilisation accrue de l'énergie et aux émissions de GES qui leur sont liées.

Les politiques de libéralisation et de privatisation menées pour développer des marchés libres de l'énergie ont pour objectif d'affûter la concurrence et de procurer aux consommateurs des prix plus bas mais elles n'ont pas toujours atteint ces objectifs, aboutissant souvent à un manque de capital investi et à un regard négligent sur les impacts environnementaux (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [4.2.4; 4.5.2; 4.5.3; 4.5.4].

#### Recherche, développement, diffusion et transfert de technologie

Les investissements en R&D énergétiques ont décliné généralement depuis que les niveaux atteints dans les années 1970 ont débouché sur les chocs pétroliers. Entre 1980 et 2002, les investissements publics en R&D énergétiques ont baissé de 50% en termes réels. Les niveaux actuels ont crû, mais ils sont toujours inadéquats pour développer les technologies nécessaires à la réduction des GES et à la satisfaction de la

demande énergétique en croissance. Il sera nécessaire que des investissements privés et publics plus importants soient faits pour parvenir à un déploiement rapide des technologies énergétiques faibles en carbone. Une amélioration des technologies de conversion, de transport et de stockage énergétique, de la gestion des charges, de la cogénération et des services communautaires devront être développés (*bon accord, mises en évidence limitées*) [4.5.6].

#### Perspectives à long terme

Les perspectives de l'AIE comme du Conseil mondial de l'énergie projettent des augmentations de la demande d'énergie primaire de 40 à 150% vers 2050 par rapport à la demande actuelle, suivant les scénarios de croissance démographique et économique et le rythme du progrès technologique. On s'attend à ce que l'utilisation de l'électricité croisse entre 110 et 260%. Les deux organisations réalisent que les scénarios de gestion-des-affaires-courantes ne sont pas tenables. Il est bien accepté que même en présence de bonnes décisions et d'une bonne coopération entre le secteur privé et le secteur public, la transition nécessaire prendra du temps et que plus elle commencera tôt, moins ses coûts seront élevés (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [4.2.3].

## 5 Transports et infrastructures de transport

### Situation et développement du secteur

Les activités liées aux transports croissent au même rythme que les économies du monde. Cela est particulièrement vrai dans de nombreuses zones du monde en voie de développement où la mondialisation élargit les flux commerciaux, et où les revenus personnels en croissance amplifient la demande de mobilité motorisée. Les activités liées aux transports sont actuellement principalement menées par des moteurs à explosion alimentés par des carburants pétroliers (95% des 83 EJ d'énergie utilisée par les transports au niveau mondial en 2004). Par voie de conséquence, l'utilisation du pétrole suit de près la croissance des activités liées aux transports. EN 2004, l'énergie des transports se montait à 26% de l'utilisation totale d'énergie dans le monde. Dans le monde développé, l'utilisation d'énergie pour les transports continue à augmenter d'un peu plus de 1% par année ; le transport de passagers consomme actuellement 60 à 75% de l'énergie totale des transports de ces pays. Dans les pays en voie de développement, l'utilisation de l'énergie des transports augmente plus vite (3 à 5% par année) on projette qu'elle passera de 31% en 2002 à 43% de l'utilisation totale d'énergie dans le monde vers 2025 [5.2.1, 5.2.2].

On s'attend à ce que les activités de transports croissent vigoureusement au cours de plusieurs des décennies à venir. À moins qu'un déplacement majeur ne se produise depuis les schémas actuels d'utilisation de l'énergie, les projections prévoient que la croissance se poursuive dans l'utilisation de l'énergie des transports au niveau mondial à hauteur de 2%

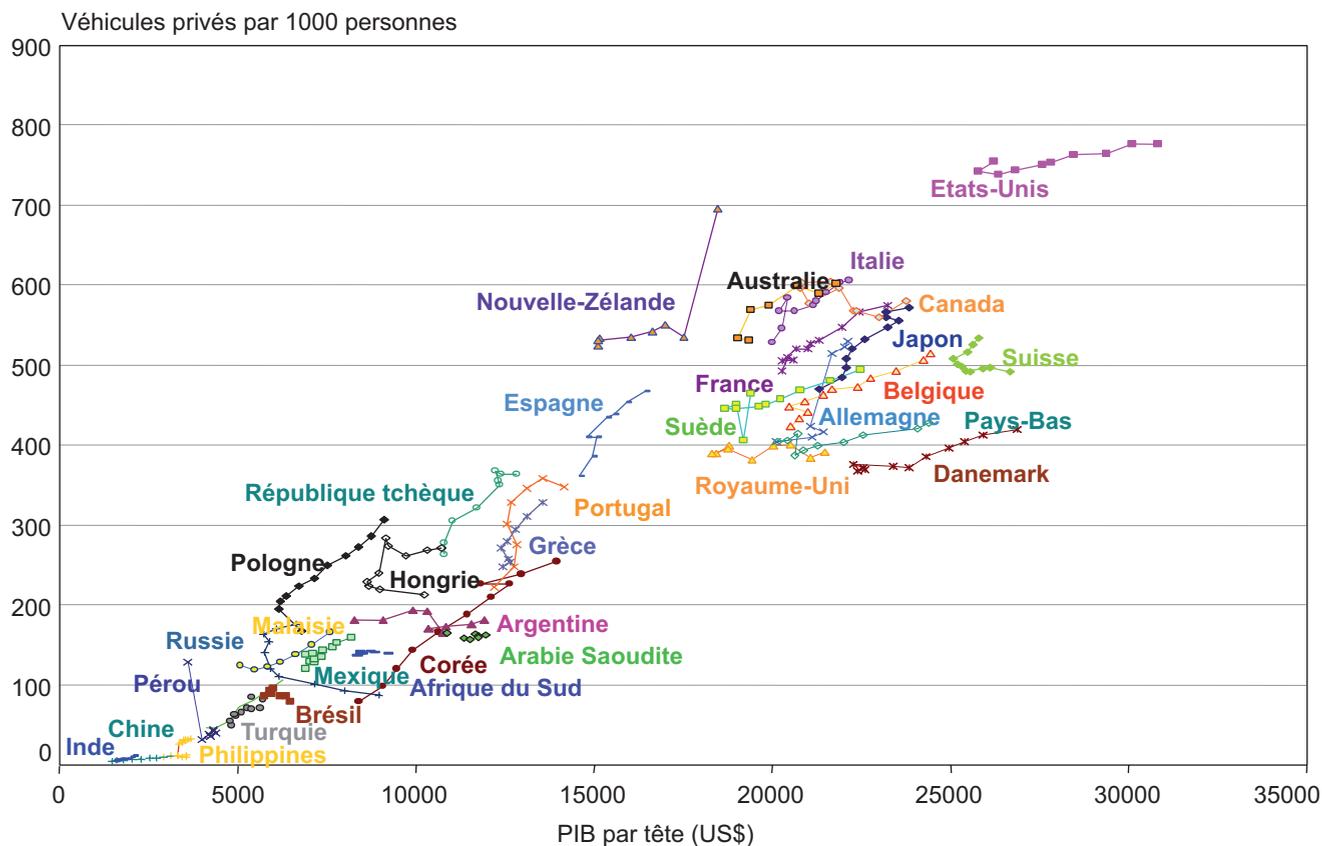


Figure RT 14 : nombre de véhicules privés et revenu par tête exprimé en temps de parcours par pays [Figure 5.2]

Note : les données sont basées sur 1900-2002, mais les années utilisées varient de pays à pays en fonction des données disponibles.

par an, l'utilisation de l'énergie et les émissions de carbone se situant à 80% de plus que les niveaux de 2002 vers 2030 [5.2.2].

Dans les pays développés, le nombre de véhicules en propriété privée approche cinq à huit voitures pour dix habitants (Figure RT 14). Dans le monde en voie de développement, les niveaux de propriété de véhicules sont bien plus bas ; le transport non motorisé joue un rôle significatif, et on se repose davantage sur les véhicules motorisés à deux et à trois roues, ainsi que sur les transports publics. On s'attend toutefois à ce que la motorisation des transports dans le monde en voie de développement croisse rapidement dans les décennies à venir. On s'attend à ce que les voyageurs choisissent des modes de transport plus rapides à mesure que leur revenu, et donc la valeur de leur temps augmente, et à ce qu'ils passent du non motorisé au motorisé et aux transports aériens et ferroviaires à grande vitesse. L'accroissement de la vitesse a généralement conduit à un renforcement de l'intensité énergétique et à une recrudescence des émissions de GES.

En plus de GES, la motorisation des transports a créé des problèmes de congestion et de pollution de l'air dans les grandes villes du monde entier (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [5.2.1 ; 5.2.2. ; 5.5.4]

### Tendances montrées par les émissions

En 2004, la contribution des transports aux émissions totales de GES liées aux GES se montait à 23% environ, les émissions de CO<sub>2</sub> et de N<sub>2</sub>O se montant à environ 6,3 à 6,4 GtCO<sub>2</sub>-éq. Les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur des transports (6,2 GtCO<sub>2</sub>-éq en 2004) ont crû d'environ 27% depuis 1990 et leur taux de croissance est le plus élevé de tous les secteurs parmi les

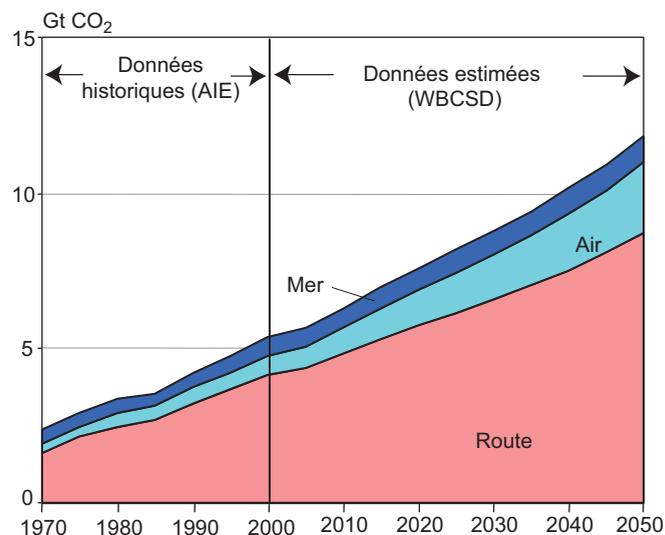


Figure RT 15 : émissions de CO<sub>2</sub> des transports, historiques et estimées [figure 5.4].

utilisateurs finaux. Les transports routiers totalisent actuellement 74% du total des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux transports. La part des pays hors OCDE est actuellement de 36% et augmentera rapidement pour atteindre 46% si les tendances actuelles se confirment (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [5.2.2].

Le secteur des transports contribue aussi pour de petites quantités aux émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O issus des combustibles et de gaz-F issus de la climatisation des véhicules. Les émissions de CH<sub>4</sub> se situent autour de 0,1 à 0,3% du total des émissions de GES, le N<sub>2</sub>O entre 2 et 2,8% (tous les chiffres sont basés sur les données américaines, japonaises et européennes seulement). Les émissions de gaz-F (CFC-12 + HFC-134a + HCFC-22) dans le monde en 2003 atteignaient 4,9% du total des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux transports (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [5.2.1].

Les estimations des émissions de CO<sub>2</sub> de l'aviation mondiale ont augmenté d'un facteur de 1,5 environ, passant de 330 MtCO<sub>2</sub> an en 1990 à 480 Mt CO<sub>2</sub> / an en 2000, et se montent à environ 2% du total des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>. Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'aviation poursuivront leur forte croissance, selon les projections. Sans mesures complémentaires, l'amélioration annuelle de l'efficacité du carburant des avions, de l'ordre de 1 à 2%, sera largement surpassée par une croissance du trafic estimée à 5% par an, aboutissant, selon les projections, à une augmentation des émissions de 3 à 4% par année (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*). De plus, l'impact général de l'aviation sur le climat est bien plus important que l'impact du CO<sub>2</sub> seul. De même que l'émission de CO<sub>2</sub> par les avions contribue aux changements climatiques par l'émission d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), qui sont particulièrement efficaces pour former de l'ozone (qui est aussi un GES) lorsqu'ils sont émis aux altitudes de croisière des avions. Les avions provoquent aussi la formation de traces de condensation, ou cotras, qu'on soupçonne de favoriser la formation de cirrus, qui contribuent à l'effet de réchauffement mondial. On estime que ces effets sont entre deux et quatre fois plus importants que le CO<sub>2</sub> de l'aviation seul, même sans prendre en considération la possible influence sur la formation de cirrus. L'efficacité environnementale des futures politiques d'atténuation pour l'aviation dépendra de l'étendue de la prise en charge de ces effets non-CO<sub>2</sub> (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [5.2.1 ; 5.2.2].

Toutes les projections envisagées ci-dessus postulent que l'approvisionnement mondial en pétrole sera plus que suffisant pour soutenir la croissance attendue dans les activités de transports. Il y a un débat constant, cependant, sur la question de savoir si le monde approche d'un pic de production pétrolière qui nécessiterait une transition significative et rapide vers des sources d'énergie alternatives. Ces dernières ne manquent pas, y compris les sables et schistes bitumineux, les charbons liquéfiés, les biocarburants, l'électricité et l'hydrogène. Parmi ces alternatives, les ressources en carbone fossile non conventionnelles seront celles qui produiront les carburants les

moins chers et les mieux compatibles avec les infrastructures de transports existantes. Malheureusement, pomper ces ressources fossiles pour alimenter les transports augmenterait les émissions de carbone à la base et augmenterait notablement l'injection de carbone dans l'atmosphère [5.2.2. ; 5.2].

Description et évaluation des technologies, des pratiques, des options, des potentiels et des coûts de l'atténuation

Les transports se distinguent des autres secteurs utilisant de l'énergie par la prédominance de sa dépendance à une seule source d'énergie fossile et par l'impossibilité de piéger les émissions de carbone issues des véhicules motorisés, ce qu'aucune technologie connue à ce jour ne peut faire. Il est aussi important de considérer la réduction des émissions de GES en conjonction avec les problèmes de pollution de l'air, de congestion et de sécurité énergétique (importations de pétrole). Les solutions doivent donc essayer d'optimiser la lutte contre les problèmes de transports dans leur ensemble, et ne pas s'intéresser seulement aux émissions de GES [5.5.4].

Il y a eu des développements significatifs dans les technologies d'atténuation depuis le Troisième Rapport d'évaluation (TAR) et des programmes de recherche, de développement et de démonstration importants sur les véhicules à pile à combustible d'hydrogène ont été lancés tout autour du globe. De plus, il y a encore beaucoup de possibilités d'améliorer les technologies conventionnelles. Les biocarburants continuent à être importants dans certains marchés et ils ont un potentiel bien plus important encore pour l'avenir. Pour ce qui concerne les émissions non-CO<sub>2</sub>, les systèmes de climatisation des véhicules basés sur des fluides réfrigérant à bas taux de PRP ont été développés [5.3.]

#### **Trafic routier : technologies efficaces et carburants alternatifs**

Depuis le TRE, l'efficacité énergétique des véhicules routiers s'est améliorée en fonction du succès commercial des diesels plus propres, à turbo-injection (TDI) et la pénétration continue du marché par beaucoup de technologies à efficacité accrue ; les véhicules hybrides ont aussi joué un rôle, bien que leur pénétration du marché soit encore faible. D'autres avancées technologiques sont attendues pour les véhicules hybrides et pour les moteurs diesels TDI. Une combinaison de ces derniers avec d'autres technologies, y compris la substitution des matériaux, une résistance aérodynamique moindre, des frottements réduits, une réduction de la friction du moteur et des pertes au pompage ont le potentiel de doubler approximativement les économies de carburant réalisées par les « nouveaux » véhicules à faible consommation vers 2030, divisant en gros, de ce fait, par deux les émissions de carbone par véhicule et par kilomètre parcouru (à souligner que cela ne s'applique qu'aux nouvelles voitures, et pas à la moyenne de la flotte) (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [5.3.1].

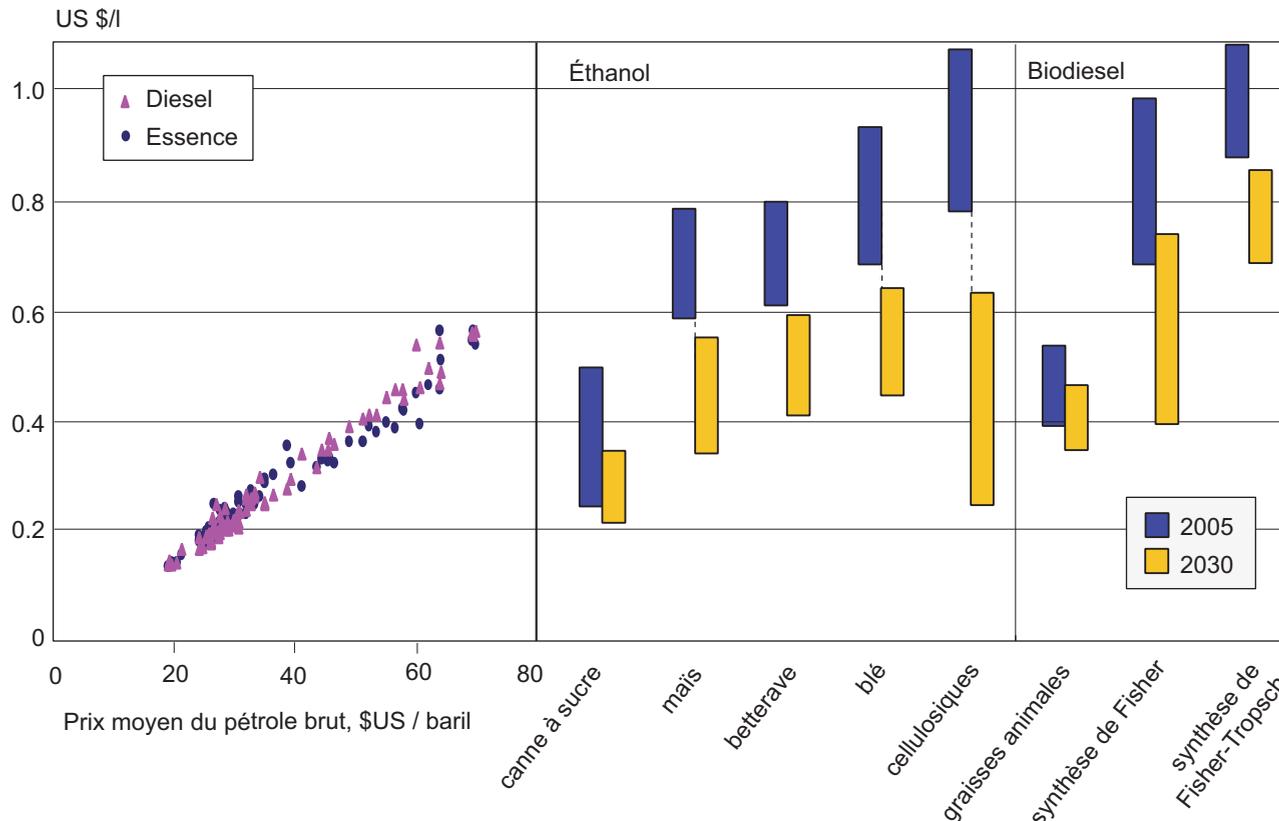
Les biocarburants ont le potentiel pour remplacer une partie significative - mais pas la totalité - du pétrole utilisé par les transports. Un rapport récent de l'AIE a estimé que la part des

biocarburants pourrait augmenter d'environ 10% vers 2030 si les coûts du carbone se montent à 25 \$US / tCO<sub>2</sub>-éq, ce qui intègre une petite contribution des biocarburants issus de biomasse à cellulose. Le potentiel dépend largement de l'efficacité de la production, du développement de techniques avancées comme la conversion de la cellulose par des processus enzymatiques ou la gazéification et la synthèse, des coûts, et de la concurrence avec d'autres affectations des sols. Actuellement, le coût et la performance de l'éthanol en termes d'émissions de CO<sub>2</sub> évitées est défavorable, sauf pour la production à partir de canne à sucre dans les pays à bas niveaux de revenus (Figure RT. 16) (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [5.3.1].

Le potentiel économique du marché des véhicules à hydrogène reste incertain. Les véhicules électriques à haute efficacité (plus de 90%) mais avec un rayon d'action court et une durée de vie de la batterie limitée ont une pénétration commerciale limitée. Pour les deux options, les émissions sont déterminées par la production d'hydrogène et d'électricité. Si l'hydrogène est produit à partir de charbon ou de gaz avec CPS (le mode de production le meilleur marché aujourd'hui) ou à partir de biomasse, d'énergie solaire, nucléaire ou éolienne, les émissions de carbone roue par roue seront presque éliminées. La poursuite des progrès technologiques et / ou la réduction des coûts sera nécessaire pour les piles à combustible, le stockage d'hydrogène, la production d'hydrogène ou d'électricité ne dégageant aucune émission de carbone ou des émissions

basses, ainsi que pour les batteries (bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses) [5.3.1]. Le potentiel total d'atténuation pour 2030 parmi les options d'efficacité énergétique appliquées aux véhicules légers se monterait à environ 0,7 à 0,8 GtCO<sub>2</sub>-éq en 2030 pour des coûts inférieurs à 100 \$US / tCO<sub>2</sub>. Les données disponibles ne permettent pas de formuler une estimation correspondante pour les véhicules lourds. L'utilisation des carburants actuels et des carburants basés sur des technologies avancées, comme ceux qui sont mentionnés ci-dessus, bénéficie d'un potentiel supplémentaire de réduction de 600 à 1500 MtCO<sub>2</sub>-éq en 2030 pour des prix du carbone inférieurs à 25 \$US/tCO<sub>2</sub> (*faible accord, mises en évidence limitées*) [5.4.2].

Une menace critique pour le potentiel de futures réductions des émissions de CO<sub>2</sub> à l'aide des technologies économiques en carburant est représentée par le fait que ces dernières peuvent être employées à l'augmentation de la puissance et de la taille des véhicules plutôt qu'à l'amélioration générale de l'économie des carburants et à la réduction des émissions de carbone. La préférence du marché pour la puissance et la taille a consommé une partie importante des réductions de GES issues de l'atténuation au cours des deux dernières décennies. Si cette tendance se maintient, elle diminuera significativement le potentiel d'atténuation des GES des technologies avancées décrites ci-dessus (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [5.2, 5.3].



**Figure RT 16 :** comparaison entre les coûts actuels et futurs des biocarburants versus les prix de l'essence et du diesel au départ de la raffinerie (franco bord) pour une série de prix du pétrole brut [figure 5.9]

**Note :** les prix ne comprennent aucune des taxes prélevées sur les carburants.

**Trafic aérien**

L'efficacité-carburant de l'aviation civile peut être améliorée par une série de moyens comprenant la technologie, les opérations et la gestion du trafic aérien. Les développements technologiques pourraient offrir une amélioration de l'efficacité-carburant d'environ 20% au-dessus des niveaux de 1997 vers 2015, avec une amélioration probable de 40 à 50% vers 2050. Comme l'aviation civile continue à croître d'environ 5% par an, ces améliorations n'aboutiront probablement pas sur une diminution des émissions de CO<sub>2</sub> des transports aériens à l'échelle mondiale. L'introduction des biocarburants pourrait atténuer certaines des émissions de carbone de l'aviation, si les biocarburants pouvaient être développés de manière à satisfaire les exigeantes spécifications de l'industrie aéronautique, et bien que les coûts de ces carburants et les émissions produites par leur processus de fabrication soient incertains en ce moment (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [5.3.3].

Le fonctionnement des avions pourrait être optimisé pour ce qui concerne la consommation d'énergie (avec des émissions de CO<sub>2</sub> minimales) en minimisant le temps de déplacement sur la piste, en faisant voler les avions à une altitude de croisière optimale, en utilisant les routes les plus courtes pour les long-courriers, et en minimisant les temps d'attente en vol à l'approche des aéroports. Le potentiel de réduction des GES de ces stratégies a été estimé à 6-12%. Plus récemment, des chercheurs ont commencé à s'intéresser au potentiel de minimisation de l'impact climatique total des opérations aéronautiques, y compris les impacts sur l'ozone, les cotras et les émissions d'oxydes d'azote. Le potentiel d'atténuation pour l'aviation en 2030 est de 280 MtCO<sub>2</sub>/an à un coût < 100 \$US/tCO<sub>2</sub> (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [5.4.2].

**Transport maritime**

Depuis le TRE, une évaluation de l'Organisation maritime internationale (OMI) a découvert qu'une combinaison de mesures techniques pourrait réduire les émissions de carbone d'entre 4 et 20% pour les navires anciens et de 5 à 30% pour les navires plus récents en appliquant les connaissances les plus récentes, comme le design et la maintenance de la coque et des hélices. Cependant, en raison de la longue durée de vie des moteurs, des décennies s'écouleront avant que les mesures soient mises en place sur les navires anciens à une échelle significative. Le potentiel de court terme pour les mesures opérationnelles, y compris la planification des routes maritimes et la réduction de la vitesse, s'étend de 1 à 40%. L'étude a estimé que la réduction maximum d'émissions de la flotte mondiale se situait à environ 18% pour 2010 et 28% pour 2020, lorsque toutes les mesures seront mises en place. Les données ne permettent pas de faire une estimation du chiffre absolu d'atténuation et on ne s'attend pas à ce que le potentiel d'atténuation soit suffisant pour contrebalancer la croissance des activités maritimes pendant la même période (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [5.3.4].

**Transports ferroviaires**

Les principales perspectives d'atténuation des émissions de GES associées aux transports ferroviaires résident dans l'amélioration de l'aérodynamique, la réduction du poids des trains, l'introduction du freinage régénératif et du stockage d'énergie embarqué et, bien sûr, dans l'atténuation des émissions de GES issues de la production d'électricité. Il n'existe pas d'estimations du total du potentiel d'atténuation ni des coûts [5.3.2].

**Transfert modal et transports publics**

Equiper les systèmes de transports publics et les infrastructures liées et promouvoir les transports non motorisés sont deux façons de contribuer à l'atténuation des GES. Cependant, les conditions locales déterminent la part du trafic qui peut être transférée à des modes moins intensifs en énergie. Les taux d'occupation et les sources d'énergie primaire des modes de transports déterminent aussi le potentiel d'atténuation [5.3.1].

Les exigences énergétiques des transports urbains sont fortement influencées par la densité et par la structure spatiale de l'environnement bâti, de même que par la localisation, l'étendue et la nature de l'infrastructure de transport. Des bus à grande capacité, le transit ferroviaire léger et les systèmes de métro ou de trains suburbains (RER) sont de plus en plus utilisés pour l'extension des transports publics. Les systèmes de transit par bus rapides ont des coûts opérationnels et de capital relativement faibles, mais on ne sait pas s'ils peuvent être mis en place dans tous les pays en voie de développement avec le même succès qu'en Amérique du Sud. Si la part des bus dans le transport de passagers augmentait de 5 à 10%, les émissions de CO<sub>2</sub> baisseraient de 4 à 9% pour des coûts situés entre 60 et 70 \$US / tCO<sub>2</sub> [5.3.1].

Plus de 30% des trajets faits en voiture en Europe sont longs de moins de 3 km et 50% longs de moins de 5 km. Bien que les chiffres puissent différer de ceux qu'on trouve sur les autres continents, un potentiel d'atténuation existe par le transfert sur d'autres modes de transport, non motorisés (la marche et le vélo) ou par la prévention de la croissance du transport automobile aux dépens des transports non motorisés. Les potentiels d'atténuation dépendent fortement des conditions locales, mais des avantages associés substantiels peuvent être retirés en termes de qualité de l'air, de congestion et de sécurité routière (bon accord, nombreuses mises en évidence) [5.4.2].

Efficacité et expérience avec les questions de politiques climatiques, des potentiels, des obstacles et de l'opportunité / de la mise en place

**Politiques et mesures liées aux transports de surface**

Etant donné les effets positifs d'une plus haute densité de population sur l'utilisation des transports publics, sur la marche, le cyclisme et les émissions de CO<sub>2</sub>, une planification spatiale mieux intégrée est un élément politique important pour le secteur des transports. Il existe de bons exemples en provenance de

grandes villes dans plusieurs pays. La Gestion de la demande en matière de transports (GDT) peut être efficace dans la réduction des transports automobiles privés si elle est mise en place avec rigueur et soutien. Des mesures douces, comme la fourniture d'information et l'utilisation de stratégies de communication et de techniques pédagogiques ont encouragé un changement des comportements personnels aboutissant à une baisse de l'utilisation des voitures de 14% dans une ville australienne, de 12% dans une ville allemande et de 13% dans une ville suédoise (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [5.5.1].

Les standards de l'économie des carburants, ou standards- $\text{CO}_2$ , ont été efficaces dans la réduction des GES, mais jusqu'à ce jour, la croissance des transports a supplanté leur impact. La plupart des pays industrialisés et quelques pays en voie de développement ont mis en place des standards d'économie des carburants pour les véhicules légers neufs. La forme et la sévérité des standards varie considérablement, allant de standards obligatoires et linéaire à l'échelle des firmes à des standards graduels en fonction de la classe de poids ou de la taille du véhicule, jusqu'à des standards volontaires à l'échelle de l'industrie automobile tout entière. Des standards d'économie de carburants ont été universellement efficaces, en fonction de leur degré d'astreinte pour améliorer les économies de carburant, pour rehausser les économies de carburant sur route pour la moyenne de la flotte et pour réduire l'utilisation de carburant et les émissions de carbone. Dans certains pays, les standards d'économie de carburants ont fait l'objet d'une vive opposition de la part de certains segments de l'industrie automobile, pour une série de raisons allant de l'efficacité économique à la sécurité. La mise en place effective de ces standards peut être améliorée significativement, en général, lorsqu'elle est accompagnée de mesures de stimulation fiscale et d'informations à destination des consommateurs (bon accord, nombreuses mises en évidence) [5.5.1].

Les taxes prélevées sur les achats de véhicules, sur les plaques, sur l'usage et sur les moteurs à carburant, de même que les politiques de taxation des routes et du stationnement sont des déterminants importants de l'usage des véhicules et donc des émissions de GES. Ils sont employés par différents pays pour en tirer un revenu général, pour internaliser partiellement les coûts externes de l'utilisation d'un véhicule ou pour contrôler la congestion des routes publiques. Une raison importante de la faiblesse des effets des taxes sur les carburants ou sur le  $\text{CO}_2$  réside dans les élasticités-prix, qui tendent à être substantiellement plus faibles que les élasticités-revenu, sur la demande. Sur le long terme, l'élasticité-revenu de la demande est plus importante, d'un facteur allant de 1,5 à 3, que l'élasticité-prix de la demande totale pour le secteur des transports, ce qui signifie que les signaux de prix ont moins d'effet à mesure que le revenu augmente. Des rabais sur l'achat de véhicules et sur les taxes d'immatriculation pour les véhicules plus efficaces en carburants ont démontré leur impact. Des politiques de prix portant sur la route et le stationnement ont été appliquées par plusieurs grandes villes, avec des effets marqués sur le trafic

automobile de passagers (*convergence haute, nombreuses mises en évidence*) [5.5.1].

Beaucoup de gouvernements ont introduit ou ont l'intention d'introduire des politiques de promotion des biocarburants dans leurs stratégies nationales de réduction des émissions. Comme les bénéfices des biocarburants pour l'atténuation du  $\text{CO}_2$  proviennent principalement de la partie favorable aux producteurs /distributeurs, les mesures incitatives en faveur des biocarburants sont plus efficaces en termes climatiques si elles sont liées à l'efficacité- $\text{CO}_2$  d'un processus entièrement favorable y compris au niveau des conducteurs/consommateurs. C'est pourquoi la taxation préférentielle, les subventions, les quotas en faveur du mélange de carburants devraient être calibrés pour refléter les bénéfices en termes d'économies nettes de  $\text{CO}_2$  à travers le cycle complet allant de la production agricole à l'énergie motrice associé à chaque type de carburant. Afin d'éviter les effets négatifs de la production de biocarburant sur le développement durable (p.ex. les impacts sur la biodiversité) des conditions supplémentaires devraient accompagner les incitations à l'usage des biocarburants.

#### ***Politiques et mesures aéronautiques et maritimes***

Afin de réduire les émissions issues des transports aériens et maritimes, suite à la combustion des carburants fossiles, il est nécessaire de développer de nouveaux cadres politiques. Aussi bien l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) que l'OMI ont étudié les alternatives pour réduire les émissions de GES. Cependant, ni l'une ni l'autre n'a encore pu brosser le portrait d'un cadre adéquat pour la mise en place de politiques publiques. L'OACI a néanmoins repris à son compte le concept d'un système ouvert et international d'échange des droits d'émission, mis en place sur une base volontaire, ou l'incorporation de l'aviation internationale dans les systèmes d'échanges des droits d'émission existants.

Pour l'aviation, aussi bien les charges de carburant que le prix et les échanges de droits d'émission ont un potentiel considérable de réduction des émissions. L'ampleur géographique (routes et opérateurs couverts), le montant des tolérances à allouer au secteur aéronautique et la couverture des impacts climatiques non liés au  $\text{CO}_2$  seront des éléments de conception-clés pour déterminer l'impact réel de l'échange des droits d'émissions dans la réduction des impacts de l'aviation sur le climat. Les charges ou l'échange de droits d'émissions aboutiraient à une augmentation des frais de carburant, ce qui aurait un impact positif sur l'efficacité des moteurs [5.2.2].

Les initiatives politiques actuelles dans le secteur maritime sont principalement menées sur une base volontaire, à l'aide de tables mesurant l'efficacité-carburant des navires. Des taxes portuaires différenciées selon des critères environnementaux sont utilisées dans certains sites. D'autres politiques visant à réduire les émissions des navires pourraient comprendre l'intégration des transports maritimes internationaux dans des systèmes internationaux d'échanges des droits d'émission, des taxes sur les carburants et des instruments réglementaires (*bon*

*accord, mises en évidence moyennement nombreuses)* [5.5.2].  
**Politiques intégrées et politiques non climatiques ayant un effet sur les émissions de GES et qui tirent des avantages associés des politiques d'atténuation des GES**

La planification et les politiques des transports ont récemment augmenté le poids des aspects de développement durable. Ces derniers comprennent la réduction des importations de pétrole, l'amélioration de la qualité de l'air, la réduction de la pollution sonore, l'amélioration de la sécurité, la lutte contre la congestion, et l'amélioration de l'accès aux infrastructures de transport. Des politiques de ce genre peuvent montrer des synergies importantes avec la réduction des émissions de GES (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [5.5.4, 5.5.5]

## 6 Constructions résidentielles et commerciales

Statut du secteur et tendances à l'œuvre dans les émissions

En 2004, les émissions de GES directes du secteur la construction (à l'exclusion des émissions dues à l'utilisation d'électricité) se montaient à environ 5 GtCO<sub>2</sub>-éq / an (3 GtCO<sub>2</sub>-éq / an en CO<sub>2</sub>, 0,1 GtCO<sub>2</sub>-éq / an en N<sub>2</sub>O, 0,4 GtCO<sub>2</sub>-éq / an en CH<sub>4</sub> et 1,5 GtCO<sub>2</sub>-éq / an en halocarburés). Le dernier chiffre indique les gaz-F couverts par le Protocole de Montréal et environ 0,1 à 0,2 GtCO<sub>2</sub>-éq / an de HFC. Comme beaucoup de mesures visant à l'atténuation dans ce secteur ont eu pour objectif l'économie d'électricité, le potentiel d'atténuation est généralement calculé en utilisant les mesures d'économie d'électricité. A des fins de comparaison, les chiffres des émissions dans le secteur de la construction se montaient à 8,6 Gt / an, soit 33% du total mondial en 2004. Le total des émissions de GES, y compris les émissions provenant de l'usage d'électricité, sont donc estimées à 10,6 GtCO<sub>2</sub>-éq / an (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [6.2].

### Émissions de carbone à venir issues de l'utilisation d'énergie dans les constructions

La littérature qui s'intéresse au secteur de la construction utilise un mélange de situations de référence. C'est la raison pour laquelle, dans ce chapitre, une situation de référence pour le secteur des constructions a été définie, quelque part entre les scénarios RSSE B2 et A1B2, à hauteur de 14,3 GtCO<sub>2</sub> d'émissions de GES (y compris les émissions provenant de l'usage de l'électricité) en 2030. Les émissions correspondantes dans les scénarios RSSE B2 et A1B se montent à 11,4 et à 15,6 GtCO<sub>2</sub>. Dans le scénario RSSE B2 (figure RT 17), qui est basé sur une croissance économique relativement faible, l'Amérique du Nord et l'Asie orientale hors Annexe I comptent pour la plus grande part de l'augmentation des émissions. Dans le scénario RSSE A1B, qui se base sur une croissance économique rapide, toutes les augmentations de CO<sub>2</sub> augmentent dans le monde en voie de développement : Asie, Moyen Orient et Afrique

du Nord, Amérique Latine et Afrique Sub-saharienne, dans l'ordre. Au total, la croissance moyenne annuelle des émissions de CO<sub>2</sub> entre 2004 et 2030 est de 1,5% dans le scénario B2 et de 2,4% dans le scénario A1B (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [6.2, 6.3].

### Technologies et pratiques d'atténuation

Les mesures visant à réduire les émissions de GES des constructions se répartissent en trois catégories : 1) réduction de la consommation énergétique<sup>13</sup> et de l'énergie intégrée dans les bâtiments ; 2) substitution vers des combustibles moins carbonés, y compris une part plus importante d'énergies renouvelables ; 3) contrôle des émissions de GES non-CO<sub>2</sub>. Beaucoup de technologies permettent aujourd'hui une réduction de la consommation énergétique des bâtiments grâce à une meilleure isolation<sup>14</sup>, à des méthodes de conception et de construction améliorées, des équipements plus efficaces et des réductions de la demande en services énergétiques. L'importance relative du chauffage et de la climatisation dépend du climat et varie donc de région en région ; l'efficacité des techniques de conception passive dépend aussi du climat, des distinctions importantes devant être faites entre les régions chaudes et humides et les régions chaudes et sèches. Le comportement des occupants, y compris par l'évitement de la mise en marche inutile des équipements et des standards de température adaptatifs plutôt qu'invariables pour le chauffage et la climatisation est aussi un facteur significatif de réduction de l'énergie utilisée par les bâtiments (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [6.4].

### Potentiel d'atténuation du secteur des constructions

Une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> substantielle, par l'intermédiaire de l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments, peut être atteinte au cours des années à venir en comparaison avec les émissions projetées. L'expérience considérable dont nous disposons par rapport à une large palette de technologies, de pratiques et de systèmes dédiés à l'efficacité énergétique et une expérience tout aussi riche avec les politiques et les programmes de promotion de l'efficacité énergétique dans les bâtiments appuient ce point de vue avec une confiance considérable. Une part significative de ces économies peut être atteinte à l'aide de moyens présentant un moindre coût sur l'entier du cycle de vie, fournissant ainsi des réductions dans les émissions de CO<sub>2</sub> qui ont un coût négatif (généralement, le coût des investissements est supérieur, mais les coûts opératifs sont plus bas) (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [6.4 ; 6.5].

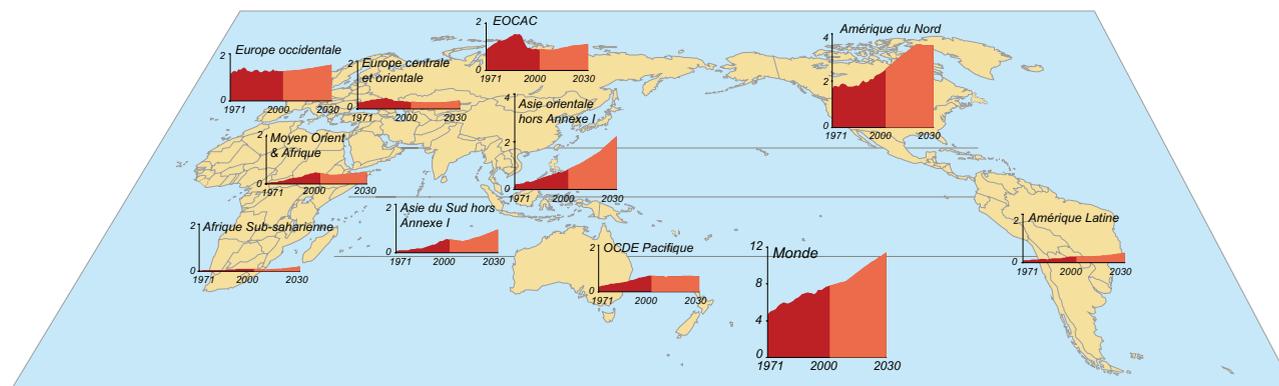
Ces conclusions sont confirmées par le passage en revue de 80 études [Tableau RT 5) qui montrent que des technologies d'éclairage efficaces sont parmi les mesures de réduction de GES les plus prometteuses au sein des bâtiments, pour presque tous les pays, en termes aussi bien de rentabilité que d'économies potentielles. Vers 2020, 760 Mt d'émissions

<sup>13</sup> Cet élément comptabilise toutes les formes de consommation énergétique dans les bâtiments, électricité comprise.

<sup>14</sup> Le terme « enveloppe thermique » se réfère au gros-œuvre d'un bâtiment considéré sous l'angle de la protection qu'il offre contre les transferts non souhaités de chaleur ou de masses d'air entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment.

de CO<sub>2</sub> environ peuvent être prévenues par l'adoption des systèmes d'éclairage à coût moindre sur l'entier de la durée de vie dans le monde, pour un niveau de prix du carbone de -160 US\$ / tCO<sub>2</sub> (c'est-à-dire en faisant un profit économique net). En termes d'importance des économies, l'amélioration de

l'isolation et le chauffage par district dans les climats les plus froids, et des mesures d'efficaces liées à la ventilation et à la climatisation dans les climats plus chauds viennent en premier dans la plupart des études, aux côtés de la fourniture de fours de cuisine dans les pays en voie de développement. D'autres



**Figure RT 17 :** Emissions de CO<sub>2</sub> (en GtCO<sub>2</sub>) pour les constructions, y compris les émissions issues de l'usage de l'électricité, 1971-2030 [figure 6.2].

**Note :** Rouge sombre : émissions historiques ; rouge clair : projections selon le scénario RSSE B2. EOCAC = pays d'Europe orientale, du Caucase et de l'Asie Centrale.

**Tableau RT 5 :** Potentiel de réduction des émissions de GES pour le parc de constructions en 2020<sup>a</sup> [Tableau 6.2].

Région économique	Pays/groupes de pays retenus par région	Potentiel en % de la situation de référence nationale pour les constructions <sup>b</sup>	Mesures couvrant le potentiel le plus important	Mesures présentant les options d'atténuation les moins chères
Pays industrialisés	É.-U., UE à 15, Canada, Grèce, Australie, République de Corée, Royaume-Uni, Allemagne, Japon	Technique: 21%-54% <sup>c</sup> Economique (<US\$ 0/tCO <sub>2</sub> -ég): 12%-25% <sup>d</sup> Marché: 15%-37%	1. Rénovation du gros-œuvre, y compris l'isolation, srt. Les fenêtres et les murs; 2. Systèmes de chauffage; 3. Eclairage efficace, spécialement la substitution d'ampoules fluorescentes compactes (AFC) et de ballasts efficaces.	1. Efficacité des appareils ménagers de type TV et de leurs périphériques (en fonction et en attente), des réfrigérateurs, congélateurs, ventilateurs et climatiseurs; 2. équipement de chauffage de l'eau; 3. Bonnes pratiques d'éclairage
Economies en Transition	Russie, Pologne, Croatie, et en groupe: Lettonie, Lituanie, Estonie, Slovaquie, Slovénie, Hongrie, Malte, Chypre, Pologne, République tchèque	Technique: 26%-47% <sup>e</sup> Economique (<US\$ 0/tCO <sub>2</sub> -ég): 13%-37% <sup>f</sup> Marché: 14%	1. Pré- et post-isolation, remplacement des composantes des bâtiments, particulièrement les fenêtres; 2. Eclairages efficaces, en particulier substitution des AFC; 3. Appareils ménagers efficaces, comme les réfrigérateurs et les chauffe-eaux.	1. Eclairage et contrôle de l'éclairage efficaces ; 2. Systèmes de contrôle du chauffage et du chauffage de l'eau; 3. Rénovation et remplacement des composantes des bâtiments, particulièrement les fenêtres.
Pays en voie de développement	Myanmar, Inde, Indonésie, Argentine, Brésil, Chine, Equateur, Thaïlande, Pakistan, Afrique du Sud	Technique: 18%-41% Economique (<US\$ 0/tCO <sub>2</sub> -ég): 13%-52% <sup>g</sup> Marché: 23%	1. Eclairages efficaces, en particulier substitution des AFC, rénovation des éclairages et des lampes à kérosène; 2. Différents types de fours de cuisine améliorés, suivis par des fours à GPL et à kérosène; 3. Appareils ménagers efficaces, comme les réfrigérateurs et les climatiseurs.	1. Eclairages efficaces, en particulier substitution des AFC, rénovation des éclairages et lampes à kérosène efficaces; 2. Différents types de fours de cuisine améliorés, à base de biomasse, suivis par des fours à kérosène; 3. Appareils ménagers efficaces, comme les réfrigérateurs et les climatiseurs.

**Notes**

- a) Sauf pour les 15 pays de l'UE, la Grèce, le Canada, l'Inde, la Russie pour qui l'année-cible était 2010, et la Hongrie, l'Equateur et l'Afrique du Sud pour qui la cible était 2030.
- b) Le fait que le potentiel du marché est plus haut que le potentiel économique pour les pays développés est expliqué par la limitation des études qui ne considèrent qu'un type de potentiel. L'information manque pour des études qui présenteraient probablement un potentiel économique plus important.
- c) Les deux pour 2010. Si on utilise la formule approximative suivante : Potentiel 2020 = (1 - (1 - Potentiel 2010)20/10) pour extrapoler le potentiel exprimé en pour-cent de la situation de référence dans l'avenir (on postule l'an 2000 comme année de départ), cet intervalle serait de 38-79%.
- d) Les deux pour 2010. Si on utilise la formule d'extrapolation cet intervalle serait de 22-44%.
- e) Le dernier chiffre se rapporte à 2010 et correspond à 72% en 2020 si on utilise la formule d'extrapolation.
- f) Le premier chiffre se rapporte à 2010 et correspond à 24% en 2020 si on utilise la formule d'extrapolation.
- g) Le dernier chiffre se rapporte à 2030 et correspond à 38% en 2020 si on utilise la formule d'extrapolation pour dériver le potentiel intermédiaire.

mesures qui obtiennent un bon score en termes d'économies potentielles sont le chauffage solaire de l'eau, des appareils ménagers et des systèmes de gestion de l'énergie efficaces.

Pour ce qui concerne la rentabilité, des fours de cuisine efficaces viennent au second rang après l'éclairage dans les pays en voie de développement, tandis que les mesures venant au second rang dans les pays industrialisés diffèrent selon la région géographique et climatique. Presque toutes les études traitant des économies en transition (typiquement dans des climats plus froids) ont découvert que les mesures liées au chauffage étaient les plus rentables, y compris l'isolation des murs, des toits, des fenêtres et des sols, de même qu'un contrôle amélioré pour le chauffage par district. Dans les pays développés, des mesures liées aux appareils ménagers sont typiquement identifiées comme les plus efficaces, les climatiseurs se plaçant dans les premiers rangs. Les économies en air conditionné peuvent se révéler plus chères que les autres mesures visant à l'efficacité, mais elles sont toujours rentables, car elles tendent à prendre la place du courant des heures de pointe, le plus cher

Dans les bâtiments neufs, il est possible de réaliser des économies d'énergies allant jusqu'à 75% ou davantage encore en comparaison avec les pratiques actuelles, généralement sans coûts supplémentaires ou avec un coût supplémentaire minime. Réaliser ces économies supplémentaires exige un processus de conception intégré impliquant des architectes, des ingénieurs, des sous-traitants et les clients, avec une prise en considération complète des perspectives de réduction de la demande passive d'énergie des bâtiments [6.4.1].

Traiter de l'atténuation des GES dans les bâtiments dans les pays industrialisés revêt une importance particulière. Les fours de cuisine peuvent être conçus de manière à fonctionner plus efficacement et à brûler les particules plus complètement, fournissant aux habitants une meilleure qualité de l'air à l'intérieur des habitations, tout en réduisant les émissions de GES. Des sources locales de matériaux améliorés et à faible taux de GES peuvent être identifiées. Dans les zones urbaines, et de façon croissante dans les zones rurales, on a besoin de toutes les technologies modernes utilisées dans les pays industrialisés pour réduire les émissions de GES [6.4.1].

Les domaines émergents pour ce qui concerne les économies d'énergie dans les constructions commerciales comprennent l'application des contrôles et des technologies de l'information pour suivre en continu, pour diagnostiquer et pour communiquer sur les défauts des locaux commerciaux (« contrôle intelligent ») ; et les approches systémiques pour réduire le besoin de ventilation, de refroidissement, et de déshumidification. Des fenêtres modernes à faible émissivité, une conception solaire passive, les techniques éliminant les pertes dans les bâtiments et les canalisations, des appareils ménagers énergétiquement efficaces, et le contrôle de la consommation de courant en stand-by ou en veille de même que l'éclairage à l'état solide sont aussi

importants, aussi bien pour le secteur résidentiel que pour le secteur commercial de la construction (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [6.5].

Le comportement, la culture et les choix de consommation des occupants, de même que leurs choix technologiques sont des déterminants majeurs de l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments et jouent un rôle fondamental dans la détermination des émissions de CO<sub>2</sub>. Cependant, la réduction potentielle via les options non technologiques fait rarement l'objet d'évaluations et les effets de levier potentiels des politiques publiques sur ces dernières sont mal compris (*bon accord, nombreuses mises en évidence*).

Il existe des perspectives de réduction des émissions directes de gaz fluorés dans le secteur de la construction, principalement via l'application globale de bonnes pratiques et de méthodes de réparation, le potentiel d'atténuation pour tous les gaz-F se montant à 0,7 GtCO<sub>2</sub>-éq en 2015. L'atténuation des fluides réfrigérants halocarbonés implique principalement d'éviter les fuites dans les climatiseurs et les équipements de réfrigération (p.ex., durant la période d'utilisation normale, pour la maintenance et en fin de vie) et en réduisant l'usage des halocarbures dans les équipements neufs. Un facteur-clé pour déterminer si ce potentiel sera réalisé réside dans les coûts associés avec la mise en place des mesures pour atteindre la réduction des émissions. Ceux-ci varient considérablement, passant d'un bénéfice net à 300 US\$ / tCO<sub>2</sub>-éq (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [6.5].

#### **Potentiel d'atténuation du secteur de la construction**

Il existe un potentiel global de réduction effective d'environ 30% des émissions de référence projetées pour le secteur de la construction résidentielle et commerciale, si les coûts montent jusqu'à 20 US\$ / tCO<sub>2</sub>-éq et de 4% supplémentaires si on considère un coût jusqu'à 100 US\$ / tCO<sub>2</sub>-éq. Cependant, en raison des opportunités importantes aux bas niveaux de coûts, le potentiel lié aux coûts élevés n'a été évalué que dans une mesure restreinte. Ce chiffre est donc une sous-estimation. En utilisant les projections d'émissions de référence pour les bâtiments<sup>15</sup> à l'échelle mondiale, ces estimations représentent une réduction d'environ 3,2, 3,6 et 4 GtCO<sub>2</sub>-éq pour 2020, à zéro, 20 US\$/ tCO<sub>2</sub>-éq et 100 US\$ / tCO<sub>2</sub>-éq respectivement (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [6.5].

Le potentiel réel est probablement plus élevé, car toutes les options d'efficacité en utilisation finale n'ont pas été prises en compte par les études ; des options non technologiques et leurs avantages associés souvent significatifs ont été omises, de même que les bâtiments modernes, intégrés, à haute efficacité. Cependant, le potentiel du marché est bien moindre que le potentiel économique.

Compte tenu de la quantité limitée d'informations pour 2030, les découvertes sur 2020 pour le potentiel économique jusqu'en 2030 ont été extrapolées pour permettre des comparaisons avec

<sup>15</sup> Les projections de référence d'émissions de CO<sub>2</sub> ont été calculées sur la base de 17 études pour dériver le potentiel global (si une étude ne contenait pas de situation de référence, des projections issues d'un autre rapport sur l'atténuation au niveau national ont été utilisées).

**Tableau RT 6 :** Projections globales du potentiel d'atténuation CO<sub>2</sub> pour 2020, en fonction des coûts [Tableau 6.3].

Régions du monde	Émissions de référence en 2020 GtCO <sub>2</sub> -eq	Potentiel d'atténuation CO <sub>2</sub> en fraction des émissions de référence de CO <sub>2</sub> en 2020 par catégories de coût (coûts en US\$ / tCO <sub>2</sub> -eq)				Potentiel d'atténuation CO <sub>2</sub> en valeur absolue en 2020 par catégories de coût (coûts en US\$ / tCO <sub>2</sub> -eq)			
		<0	0-20	20-100	<100	<0	0-20	20-100	<100
Monde	11.1	29%	3%	4%	36%	3.2	0.35	0.45	4.0
OCED (-EET)	4.8	27%	3%	2%	32%	1.3	0.10	0.10	1.6
EET	1.3	29%	12%	23%	64%	0.4	0.15	0.30	0.85
Hors OCDE	5.0	30%	2%	1%	32%	1.5	0.10	0.05	1.6

**Note :** le potentiel mondial agrégé en fonction des coûts et des régions est basé sur 17 études qui ont reporté les potentiels en détail comme fonction des coûts.

**Tableau RT 7 :** Projections globales du potentiel d'atténuation du CO<sub>2</sub> pour 2030, en fonction des coûts, basées sur une extrapolation des chiffres de 2020, en GtCO<sub>2</sub> [Tableau 6.4].

Option d'atténuation	Région	Projections de référence pour 2030	Potentiel si les coûts sont en-dessous de 100 US\$/tCO <sub>2</sub> -eq		Potentiel selon la catégorie de coût		
			bas	haut	<0 US\$/tCO <sub>2</sub>	0-20 US\$/tCO <sub>2</sub>	20-100 US\$/tCO <sub>2</sub>
					<0 US\$/tC	0-73 US\$/tC	73-367 US\$/tC
Economies d'électricité	OCDE	3.4	0.75	0.95	0.85	0.0	0.0
	EET	0.40	0.15	0.20	0.20	0.0	0.0
	Hors OCDE/EET	4.5	1.7	2.4	1.9	0.1	0.1
Economies de carburant	OCDE	2.0	1.0	1.2	0.85	0.2	0.1
	EET	1.0	0.55	0.85	0.20	0.2	0.3
	Hors OCDE/EET	3.0	0.70	0.80	0.65	0.1	0.0
Total	OCDE	5.4	1.8	2.2	1.7	0.2	0.1
	EIT	1.4	0.70	1.1	0.40	0.2	0.3
	Hors OCDE/EET	7.5	2.4	3.2	2.5	0.1	0.0
	Global	14.3	4.8	6.4	4.5	0.5	0.7

**Notes :** Les valeurs absolues des potentiels résultant des économies d'électricité dans le Tableau RT 8 et dans le chapitre 11, Tableau 11.3 ne coïncident pas, en raison de l'application de situations de référence différentes ; cependant, les estimations du potentiel exprimées en pourcentage de la situation de référence sont les mêmes dans les deux cas. Le Tableau 11.3 exclut en outre la partie des réductions d'émissions qui est déjà prise en compte dans le secteur de l'approvisionnement énergétique, tandis que le Tableau RT 7 ne sépare pas ce potentiel du reste.

les autres secteurs. Les estimations figurent dans le Tableau RT 7. L'extrapolation des potentiels pour 2030 laisse à penser qu'à l'échelle mondiale, environ 4,5, 5,0 et 5,6 GtCO<sub>2</sub>-eq / an pourraient être évitées pour des niveaux de coûts <0, <20 et <100 US\$ / tCO<sub>2</sub>-eq respectivement. Cela correspond à 30, 35 et 40% des émissions de référence projetées. Ces chiffres sont associés avec des niveaux de certitude significativement inférieurs à ceux de 2020 en raison du très petit nombre de recherches disponibles pour 2030 (*accord moyen, mises en évidence limitées*).

Les perspectives pour le futur à long terme, en postulant que les options du secteur de la construction bénéficient d'un coût allant jusqu'à 25 US\$ / tCO<sub>2</sub>-eq, identifient un potentiel de réductions s'établissant à environ 7,7 GtCO<sub>2</sub>-eq en 2050.

#### Interactions entre les options d'atténuation avec la vulnérabilité et l'adaptation

Si le monde vit un réchauffement, l'utilisation d'énergie à des fins de chauffage déclinera sous les climats tempérés (p.ex. l'Europe, certaines parties de l'Asie et l'Amérique du Nord) et augmentera à des fins de refroidissement dans la plupart des régions du monde. De nombreuses études indiquent que, dans les pays où règne un climat tempéré, l'augmentation

de la demande en énergie électrique pour l'accroissement du refroidissement surcompensera le déclin de la demande à des fins de chauffage, et dans l'Europe méridionale, on s'attend à une hausse significative du pic de demande estival. Suivant la pyramide des âges particulière à chaque pays, l'effet net du réchauffement sur les émissions pourrait prendre la forme d'une augmentation même lorsque la demande totale d'énergie finale baisse. Cela aboutit sur une boucle de rétroaction positive : davantage de refroidissement mécanique émet davantage de GES, exacerbant ainsi le réchauffement (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*).

Les investissements dans le secteur de la construction peuvent réduire le coût global des changements climatiques en traitant simultanément de l'atténuation et de l'adaptation. Parmi les plus importantes de ces synergies, la baisse des besoins en refroidissement ou l'usage de l'énergie par l'intermédiaire de mesures comme l'application de concepts de construction intégrées, la construction solaire passive, les pompes à chaleur à haute efficacité aussi bien pour le chauffage que pour le refroidissement, des fenêtres à réflexion adaptative, des appareils ménagers à haute efficacité émettant moins de chaleur, et des rénovations impliquant une meilleure isolation, optimisée pour certains climats spécifiques, et la construction à l'épreuve des tempêtes. Un urbanisme approprié, y compris

**Tableau RT 8:** impact et résultat effectif d'instruments politiques choisis dont l'objectif est l'atténuation des émissions de GES dans le secteur de la construction, à l'aide de bonnes pratiques [Tableau 6.6].

Instrument politique	Effectivité de la réduction d'émissions <sup>a</sup>	Rentabilité <sup>b</sup>	Conditions particulières du succès, forces et limitations les plus importantes, avantages associés
Standards pour les appareils ménagers	Haute	Haute	Facteurs de succès: mise à jour périodique des standards, contrôle indépendant, information, communication et éducation
Codes de la construction	Haute	Moyenne	N'incite pas à faire mieux que la cible. Effectif seulement si entré en force et contrôlé.
Programmes publics de direction, règlements pour les achats publics	Haute	Haute/Moyenne	Peut avoir de l'impact à des fins de démonstration des nouvelles technologies et des nouvelles pratiques. Les programmes obligatoires ont un potentiel plus important que les programmes basés sur le volontariat. Facteurs de succès: étiquetage et tests d'efficacité énergétique ambitieux.
Obligations et quotas d'efficacité énergétique	Haute	Haute	Amélioration continue nécessaire: nouvelles mesures d'EE, incitations à court terme pour transformer les marchés, etc.
Programmes de gestion côté demande	Haute	Haute	Tendent à être plus rentables pour le secteur commercial que pour le secteur résidentiel
Contrats de performance énergétique / soutien des CSE <sup>c</sup>	Haute	Moyenne	Atout: ni fonds publics ni intervention dans le marché, avantages associés en termes d'amélioration de la compétitivité.
Plans de certification des performances énergétiques	Moyenne	Moyenne	Absence d'expérience à long terme. Les coûts de transaction peuvent être élevés. Nécessité d'infrastructures institutionnelles. Interactions profondes avec les politiques publiques existantes. Bénéfices en termes d'emploi.
Mécanismes flexibles du Protocole de Kyoto <sup>d</sup>	Basse	Basse	Jusqu'à aujourd'hui, le nombre de projets MDP & MOC dans le secteur de la construction.
Taxes (CO <sub>2</sub> ou carburants)	Basse	Basse	Les effets dépendent de l'élasticité-prix. Le produit de la collecte des taxes peut être assigné pour en améliorer l'efficacité. Plus efficace en combinaison avec d'autres outils.
Exemptions / réduction de taxes	Haute	Haute	Stimulent l'introduction de constructions très efficaces et de nouveaux bâtiments, si elles sont adéquatement structurées.
Aides au logement, bourses, subventions	Haute	Basse	Positives pour les ménages à bas revenus, à risque ou à la périphérie de la société, peut induire des investissements d'avant-garde
Programmes de labellisation et de standardisation	Moyenne / Haute	Haute	Les programmes obligatoires sont plus efficaces que les programmes volontaires. L'efficacité peut être dynamisée par la combinaison avec d'autres instruments et par des mises à jour régulières.
Accords volontaires et négociés	Moyenne / Haute	Moyenne	Peuvent être efficaces lorsque les réglementations passent difficilement en force. Efficace en combinaison avec des incitations financières et avec la menace d'une intervention législative.
Programmes éducatifs et programmes d'information	Basse / Moyenne	Haute	Plus facilement applicable dans le secteur résidentiel que dans le secteur commercial. Condition de succès / d'amélioration : application avec d'autres mesures.
Exigences légales : audit obligatoire et gestion de l'énergie	Haute, mais variable	Moyenne	Seront les plus efficaces en combinaison avec d'autres mesures telles des incitations financières.
Programmes de facturation détaillée et de publication	Moyenne	Moyenne	Conditions de succès: combinaison avec d'autres mesures, évaluation périodique.

**Notes :**

- <sup>a</sup> y compris la facilité de mise sur pied; la faisabilité et la simplicité de l'entrée en force; l'applicabilité dans de nombreux sites; et d'autres facteurs contribuant à l'ampleur totale des économies réalisées.
- <sup>b</sup> La rentabilité est liée au coût sociétal spécifique par émissions de carbone évitées.
- <sup>c</sup> Compagnies de services énergétiques
- <sup>d</sup> Mise en œuvre commune, Mécanisme pour un développement propre, Mécanisme des échanges d'émissions (y compris le Programme d'investissements verts)

l'expansion des espaces verts et les toits rafraîchissants dans les grandes villes, a démontré son efficacité dans la limitation de l'effet de « l'îlot de chaleur », permettant de réduire les besoins en refroidissement et la probabilité des incendies urbains. Le confort adaptatif, selon lequel les occupants acceptent des températures (intérieures plus hautes lorsque la température externe est haute, sont aujourd'hui souvent incorporées dans les considérations de conception (*bon accord, mises en évidence*

*moyennement nombreuses*) [6.9].

### Efficacité et expérience des politiques de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'usage de l'énergie dans les bâtiments

La réalisation des réductions d'émissions jusqu'en 2020 nécessite une conception, une mise en place et une entrée en force

rapides de politiques vigoureuses de promotion de l'efficacité énergétique pour les bâtiments et les équipements, les énergies renouvelables (là où elles sont rentables) et des techniques de conception modernes pour les nouveaux bâtiments (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [6.5].

Il existe toutefois des obstacles substantiels qui doivent être surmontés pour atteindre les potentiels d'atténuation à coûts négatifs ou faibles indiqués ci-dessus. Ces derniers comprennent les coûts cachés, les incohérences entre incitations et bénéfices (p.ex. entre propriétaires et locataires), les limitations dans l'accès aux subventions des prix de l'énergie, de même que la fragmentation de l'industrie et du processus de conception. Ces obstacles sont particulièrement vivaces et divers dans les secteurs résidentiel et commercial ; les surmonter ne sera donc possible que via un portefeuille d'instruments politiques diversifié, en combinaison avec une entrée en force de bonne qualité (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*).

Une large palette de politiques publiques se sont montrées, dans de nombreux pays, adaptées pour réduire les émissions de GES des bâtiments. Le Tableau RT 8 fait le bilan des outils politiques-clés appliqués et les compare entre eux en fonction de l'efficacité démontrée par l'instrument politique considéré, sur la base de bonnes pratiques choisies. Un nombre plus grand encore d'instruments qui ont fait l'objet d'une évaluation sont capables d'atteindre une réduction significative d'énergie et des économies de CO<sub>2</sub> pareillement significatives. Dans une évaluation menée sur 60 évaluations politiques dans environ 30 pays, les réductions d'émissions de CO<sub>2</sub> les plus importantes ont été atteintes à l'aide de codes de la construction, de standards pour les appareils ménagers et de politiques d'exemption fiscale. Les standards pour les appareils ménagers, les obligations d'efficacité énergétiques et les quotas, les programmes de gestion du côté demande et les étiquetages obligatoires se sont révélés les instruments les plus rentables. Les programmes d'information sont aussi rentables, particulièrement lorsqu'ils accompagnent d'autres mesures politiques (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [6.8].

Les politiques publiques et les mesures qui ont pour objectif de réduire les fuites ou de décourager l'utilisation de réfrigérants contenant du fluor peuvent réduire substantiellement les émissions de gaz-F dans les années qui viennent (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [6.8.4]

Le fait que, jusqu'ici, les politiques publiques n'aient eu qu'un impact limité est dû à plusieurs facteurs: 1) processus de mise en place lents; 2) manque de mise à niveau régulière des codes de la construction (les exigences de beaucoup de politiques publiques sont souvent trop proches de ce qui se pratique déjà, malgré le fait qu'une construction neutre en CO<sub>2</sub> sans sacrifices financiers majeurs est déjà possible) et des standards et des labels des appareils ménagers; 3) fonds

inadéquats; 4) entrée en force insuffisante. Dans les pays en voie de développement et les économies en transition, l'implantation de politiques publiques efficaces en énergie est compromise par le manque d'implantation concrète avec des mécanismes d'entrée en force pauvres ou inexistantes. Un autre défi consiste à promouvoir les mesures de diminution des GES dans le gros-cœur des bâtiments existants, en raison des longs laps de temps qui s'écoule entre les rénovations habituelles du patrimoine construit et le lent cycle de vie des bâtiments dans les pays en voie de développement (*convergence haute, nombreuses mises en évidence*) [6.8].

#### Avantages associés et liens avec le développement durable

L'efficacité énergétique et l'utilisation d'énergies renouvelables dans les bâtiments offre des synergies entre le développement durable et la diminution des GES. Les plus pertinentes d'entre elles pour les pays les moins développés sont des fours de cuisine sûrs et efficaces qui, tout en réduisant les émissions de GES, font chuter significativement la mortalité et la morbidité en réduisant la pollution de l'air intérieur. Des fours sûrs et efficaces réduisent aussi la charge de travail des femmes et des enfants, qui sont typiquement ceux qui sont chargés de rassembler les combustibles pour les fours traditionnels, et allège la pression sur les ressources naturelles. La réduction de la pollution de l'air extérieur représente un autre avantage associé significatif.

En général, dans les pays industrialisés comme dans les pays en voie de développement, l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments et l'usage propre et efficace de ressources naturelles renouvelables locales aboutit à :

- Des économies substantielles dans les investissements énergétiques, car l'efficacité est moins coûteuse que le réapprovisionnement;
- Des fonds libérés à d'autres fins, comme des investissements infrastructurels;
- Une fiabilité et une sécurité énergétique accrues pour les systèmes;
- La réduction de la pauvreté en combustible;
- L'amélioration de la qualité de l'environnement local;
- improvement of local environmental quality;
- Des retombées positives sur l'emploi, en créant de nouvelles niches d'activités économiques et via les effets des diverses dépenses rendues possibles par les économies réalisées sur l'énergie.

On dispose de plus en plus de preuves que des bâtiments bien conçus et efficaces d'un point de vue énergétique ont souvent un effet positif sur la productivité et sur la santé de leurs occupants (*convergence haute, nombreuses mises en évidence*) [6.9].

Le soutien des pays industrialisés pour le développement et la mise en place de politiques publiques visant à améliorer

L'efficacité énergétique des bâtiments et des équipements dans les pays en voie de développement et dans les économies en transition pourrait contribuer substantiellement aux réductions de la croissance des émissions de CO<sub>2</sub> et améliorer le bien-être de la population. Consacrer à l'efficacité énergétique et aux initiatives d'énergie renouvelable l'aide internationale ou d'autres fonds publics et privés destinés au développement durable permettrait d'atteindre une multitude d'objectifs de développement et aurait des impacts durant longtemps. Le transfert de connaissance, d'expertise et de savoir faire depuis les pays développés vers les pays en voie de développement peut faciliter l'adoption d'énergie photovoltaïque (PV), y compris l'éclairage basé sur les diodes (LED) alimenté par panneaux PV, des matériaux de construction à haut pouvoir isolant, des appareils ménagers et d'éclairage efficaces, la conception intégrée, les systèmes de gestion de l'énergie pour les bâtiments, et la climatisation solaire. Cependant, un financement en capital sera aussi nécessaire [6.8.3].

#### Recherche, développement, déploiement, diffusion et transfert de technologie

Bien que de nombreuses technologies et pratiques rentables et pratiques soient aujourd'hui disponibles, il est nécessaire de consacrer de la recherche et du développement dans certains champs comme : les systèmes de contrôle à hautes performances<sup>16</sup>, les fenêtres à réflexion avancée; de nouveaux matériaux pour les panneaux isolants; divers systèmes pour utiliser les sources d'énergie passive et les autres sources d'énergie renouvelable; des matériaux à changement de phase pour améliorer le stockage thermique; des pompes à chaleur géothermiques réversibles à haute performance; des appareils ménagers intégrés et d'autres équipements permettant d'utiliser la chaleur résiduelle; de nouvelles technologies de refroidissement, et l'usage de réseaux à l'échelle de la communauté pour la fourniture de chauffage, de froid et d'électricité aux bâtiments. Des démonstrations de ces technologies et de ces systèmes, et la formation des professionnels, sont des étapes nécessaires à la mise sur le marché de ces nouvelles technologies [6.8.3].

#### Perspectives à long terme

Il est nécessaire que les réductions de GES à long terme commencent rapidement, à cause du tournus lent du stock bâti. Pour atteindre des économies à grande échelle à long terme dans les nouveaux bâtiments, il faut que de nouvelles approches à la conception et aux opérations intégrées soient enseignées, répandues, et mises en pratique à grande échelle aussitôt que possible. Aujourd'hui, une formation de ce genre n'est pas à la portée de la majorité des professionnels de l'industrie de la construction. En raison du rôle important des gisements non technologiques dans les bâtiments, des réductions de GES ambitieuses peuvent rendre nécessaire un changement culturel de société vers une société qui embrasse la protection du climat

et le développement durable parmi ses valeurs fondamentales, aboutissant ainsi à une pression sociale pour la construction et l'utilisation de bâtiments impliquant une moindre empreinte écologique (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [6.4.1, 6.8.1].

## 7 Secteur industriel

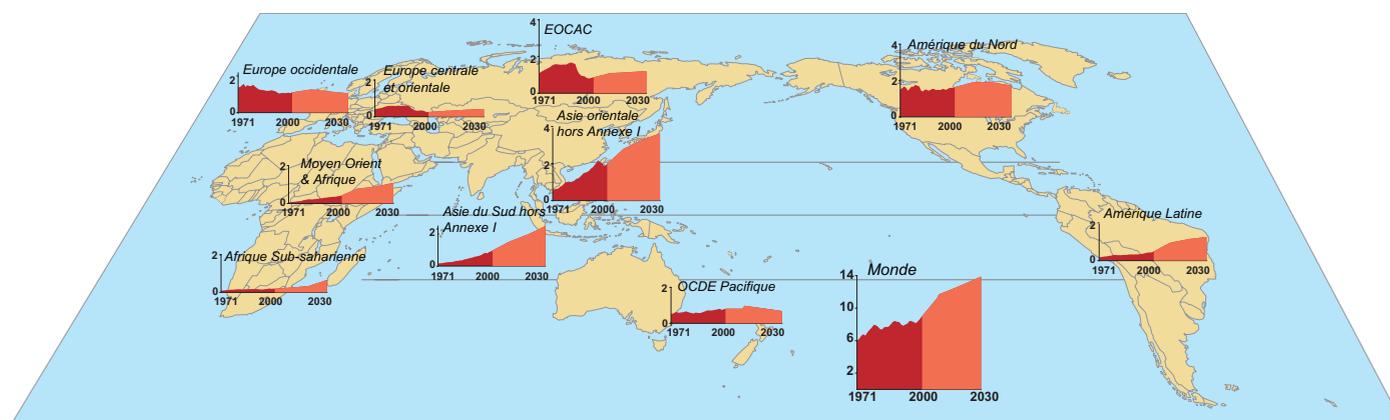
### Situation du secteur, tendances de développement et implications

Les industries intensives en énergie, le fer, l'acier, les métaux non ferreux, les produits chimiques et les engrais, les raffineries de pétrole, le ciment, et la pâte à papier représentent environ 85% de la consommation d'énergie du secteur dans la plupart des pays. Comme la consommation énergétique a crû plus vite dans les autres secteurs, la part du secteur industriel dans la consommation d'énergie primaire au niveau mondial a baissé en termes relatifs: de 40% en 1971 à 37% en 2004 [7.1.3].

Une bonne partie des industries grosses consommatrices d'énergie ont aujourd'hui leur siège dans les pays en voie de développement. Au total, en 2003, les pays en voie de développement ont représenté 42% de la production mondiale d'acier, 57% de la production d'engrais azotés, 78% de la production mondiale de ciment, et environ 50% de la production mondiale d'aluminium. En 2004, les pays en voie de développement ont été le siège de 46% de la consommation finale d'énergie par l'industrie, la part des pays industrialisés se montant à 43% et celle des économies en transition à 11%. Beaucoup d'infrastructures des pays en voie de développement sont neuves (pour les industries de l'aluminium, du ciment et des engrais) et intègrent les derniers développements technologiques, et subséquemment une consommation énergétique très faible. Cependant, tout comme dans les pays industrialisés, on trouve encore nombre d'installations plus anciennes et insuffisantes. Cette situation crée un énorme appel d'investissements dans les pays en voie de développement pour améliorer l'efficacité énergétique et atteindre les réductions d'émissions. La forte croissance des industries intensives en énergie au cours du 20<sup>e</sup> siècle continuera, selon les projections, avec la croissance démographique et l'accroissement du PIB [7.1.2; 7.13].

Bien que la production à grande échelle domine ces industries intensives en énergie, sur le plan global, les petites et moyennes entreprises (PME) ont gagné des parts de marché significatives dans beaucoup de pays en voie de développement. Alors que la réglementation et la concurrence internationale poussent les grandes entreprises industrielles vers un usage plus sain de la technologie, en termes environnementaux, les PME pourraient ne pas disposer de la capacité économique ou technique d'installer les équipements de contrôle nécessaires, ou alors leur réactivité est plus lente à se manifester. Ces limitations des PME constituent

<sup>16</sup> Des systèmes de contrôle avancés doivent être créés pour permettre l'intégration de toutes les fonctions de service de l'énergie dans la conception et dans le fonctionnement subséquent des bâtiments commerciaux (« contrôle intelligent »).



**Figure RT 18 :** Emissions de CO<sub>2</sub> du secteur industriel (GtCO<sub>2</sub>; y compris la consommation électrique), 1971–2030. [Tableau 7.1, 7.2].

Note: Rouge sombre: émissions historiques; rouge clair: projections selon le scénario RSSE B2. Données issues de Price et al. (2006), années intercalaires absentes du chapitre 7. EOCAC = Pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie Centrale.

des défis particuliers dans les efforts d'atténuation des émissions de GES (bon accord, nombreuses mises en évidence) [7.1.1].

Tendances à l'œuvre dans les émissions (aux niveaux global et régional)

Les émissions directes de GES en provenance de l'industrie se montent aujourd'hui à environ 7,2 GtCO<sub>2</sub>-éq. Comme les options d'atténuation qui font l'objet de ce chapitre intègrent des mesures dont l'objectif est la consommation d'électricité dans l'industrie, il est important, à fins de comparaison, de tenir compte des émissions produites par l'utilisation d'énergie électrique. Les émissions totales de GES pour le secteur industriel se montaient à environ 12 GtCO<sub>2</sub>-éq en 2004, soit environ 25% du total mondial. Les émissions de CO<sub>2</sub> (y compris la consommation d'électricité) du secteur industriel sont passées de 6,0 GtCO<sub>2</sub>-éq en 1971 à 9,9 GtCO<sub>2</sub>-éq en 2004. En 2004, la part des émissions liées à la production d'énergie dans les pays développés atteignait 35%, celle des économies en transition 11% et celle des pays en voie de développement 53% (v. Figure RT 18). L'industrie émet aussi du CO<sub>2</sub> en utilisant des combustibles fossiles et non fossiles à des fins autres qu'énergétiques. EN 2000, ces dernières étaient estimées au total à 1,7 GtCO<sub>2</sub>-éq (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [7.1.3].

Les processus industriels émettent d'autres GES aussi, y compris les HFC-23 pendant la fabrication des HCFC-22; des PFC lors de la fusion de l'aluminium et la mise en forme de semi-conducteurs; le SF<sub>8</sub> utilisé dans les écrans plats (affichage à cristaux liquides) et les semi-conducteurs, le moulage par injection du magnésium, les équipements électriques, la fonte de l'aluminium, et d'autres, et le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O des sources chimico-industrielles et des chaînes de production de déchets dans l'agroalimentaire. Le total des émissions provenant de ces sources se montait à environ 0,4 GtCO<sub>2</sub>-éq en 2000 (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [7.1.3].

Les projections d'émissions de CO<sub>2</sub> industriel à l'horizon 2030, sous les scénarios B2 du RSSE2 se situent autour de 14

GtCO<sub>2</sub> (y compris la consommation électrique) (v. Figure RT 18). Les taux de croissance moyens les plus importants dans les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur industriel sont projetés pour les pays en voie de développement. La croissance des régions d'Europe centrale et orientale, du Caucase et de l'Asie Centrale et de la partie de l'Asie qui est en voie de développement se ralentiront, selon les projections, sous l'empire des deux scénarios sur 2000-2030. On s'attend à ce que les émissions de CO<sub>2</sub> déclinent dans la partie du Pacifique qui fait partie de l'OCDE, en Amérique du Nord et en Europe pour le scénario B2 après 2010. Pour les émissions de GES du secteur industriel hors CO<sub>2</sub>, selon les projections, les émissions augmenteront d'un facteur de 1,4 à l'échelle globale, vers 2030, passant de 470 MtCO<sub>2</sub>-éq (130 MtCO<sub>2</sub>-éq) en 1990 à 670 MtCO<sub>2</sub>-éq (180 MtCO<sub>2</sub>-éq) en 2030 sous postulat qu'aucune action n'est plus entreprise pour contrôler ces émissions. Les efforts d'atténuation ont abouti à une baisse des émissions de GES hors CO<sub>2</sub> entre 1990 et 2000, et beaucoup de programmes visant un contrôle accru sont en chemin (v. Tableau RT 9) (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [7.1.3].

**Table TS 9 :** Projected industrial sector emissions of non-CO<sub>2</sub> GHGs, MtCO<sub>2</sub>-eq/yr [Table 7.3].

Région	1990	2000	2010	2030
OCDE Pacifique	38	53	47	49
Amérique du Nord	147	117	96	147
Europe occidentale	159	96	92	109
Europe centrale et orientale	31	21	22	27
EOCAC	37	20	21	26
Asie en voie de développement	34	91	118	230
Amérique Latine	17	18	21	38
Afrique sub-saharienne	6	10	11	21
Moyen Orient et Afrique du Nord	2	3	10	20
Monde	470	428	438	668

**Note :** Émissions issues des équipements de réfrigération utilisés au sein de processus industriel exclus; émissions de tous les autres usages de la réfrigération et de l'air conditionné exclus. EOCAC = Pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie Centrale.

Description et évaluation des technologies et des pratiques d'atténuation, des options, des potentiels, des coûts et de la durabilité.

Historiquement, le secteur industriel a atteint des réductions d'intensité énergétique et d'intensité des émissions par l'adoption de technologies d'efficacité énergétique et de technologies spécifiques d'atténuation, particulièrement dans les industries à haute intensité énergétique. L'industrie de l'aluminium est parvenue à réduire de plus de 70% l'intensité de ses émissions de PFC au cours de la période 1990-2004 et l'industrie de l'ammoniac a démontré que des usines conçues en 2004 présentent une réduction d'intensité énergétique se montant à 50% par comparaison avec celles qui ont été conçues en 1960. Poursuivre la modernisation des installations de production d'ammoniac à travers le monde aboutirait à de nouvelles améliorations de l'efficacité énergétique. On a aussi rapporté des réductions de l'intensité énergétique de l'industrie du raffinage [7.4.2, 7.4.3, 7.4.4].

La faible capacité technique et économique des PME lance des défis à la diffusion des technologies saines d'un point de vue environnemental, bien que de la R&D innovante prenne place au sein des PME.

Une large palette de mesures et de technologies ont le potentiel de réduire les émissions de GES Industriels. Ces technologies peuvent être groupées en catégories : efficacité énergétique, commutations de carburant, récupération d'énergie, énergies renouvelables, changement de matière première, changement de produit et efficacité matérielle (Tableau RT 10). Au sein de chaque catégorie, certaines technologies comme l'utilisation de moteurs électriques plus efficaces sont utilisables largement à travers toutes les industries, tandis que d'autres, comme la détente des gaz de gueulard sont spécifiques à certains processus.

A la fin de l'intervalle nous séparant de 2030, un potentiel supplémentaire important naîtra des améliorations avancées dans l'efficacité énergétique et dans l'application du captage et stockage du carbone (CSC) et des technologies de processus n'impliquant pas de GES<sup>17</sup> : on peut citer, comme exemples de ces nouvelles technologies, encore dans leur phase de recherche & développement actuellement, les électrodes inertes pour la production d'aluminium et l'hydrogène dans la production métallurgique (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [7.2, 7.3, 7.4].

Les potentiels et les coûts de l'atténuation en 2030 ont fait l'objet d'une estimation industrie par industrie des industries intensives en énergie et d'une estimation globale des autres industries. Cette approche est parvenue à des potentiels d'atténuation d'environ 1,1 GtCO<sub>2</sub>-éq pour un coût < 20 US\$ / tCO<sub>2</sub> (74 US\$/tC-éq) ; environ 3,5 GtCO<sub>2</sub>-éq pour un coût inférieur < 50 US\$ / tCO<sub>2</sub> (180 US\$/tC-éq) ; et environ 4

GtCO<sub>2</sub>-éq/an (0,60-1,4 GtC-éq / an) pour un coût < 100 US\$ / tCO<sub>2</sub>-éq (<370 US\$/tC-éq) sous le scénario B2. Les potentiels d'atténuation les plus importants sont ceux des industries de l'acier, du ciment, de la pulpe de bois et du papier, et dans le contrôle des gaz hors CO<sub>2</sub>, et la plus grande partie du potentiel est disponible à <50 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq (<US\$ 180/tC-éq). L'application des technologies de CSC offrirait un potentiel encore supérieur, bien qu'à un coût plus élevé.

Une étude mondiale récemment terminée, portant sur neuf groupes de technologies, indique un potentiel d'atténuation pour le secteur industriel situé entre 2,5 et 3,0 GtCO<sub>2</sub>-éq / an (0,68–0,82 GtC-éq/an) en 2030 pour un coût <25 US\$/tCO<sub>2</sub> (<92US\$/tC) (dollars de 2004). Les estimations du potentiel d'atténuation trouvées dans cette étude et dans la présente évaluation se situent dans le même ordre de grandeur ; l'estimation des coûts d'atténuation, quant à elle, est significativement moindre (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [7.5].

Interactions des options d'atténuation avec la vulnérabilité et l'adaptation

Les liens entre adaptation et atténuation sont limités dans le secteur industriel. Beaucoup d'options d'atténuation (p.ex. l'efficacité énergétique, la récupération de chaleur et de courant, le recyclage) ne sont pas vulnérables aux changements climatiques et ne créent donc pas de lien avec l'adaptation. D'autres, comme le passage d'un combustible ou d'une matière première à l'autre (p.ex. de la biomasse à d'autres sources d'énergie renouvelables) peuvent être vulnérables aux changements climatiques [7.8].

Efficacité de et expérience avec les politiques climatiques, questions de potentiels, d'obstacles et d'opportunité / de mise en place

Ni les pays industrialisés ni les pays en voie de développement ne font un plein usage des options d'atténuation disponibles. Dans de nombreuses régions de la planète, l'atténuation des GES n'est ni exigée par le marché ni par la réglementation gouvernementale. Dans ces régions, les sociétés investiront dans l'atténuation des GES pour autant que l'ensemble des facteurs aboutissent à un retour sur investissements pour elles. Ce retour peut être économique ; par exemple, des projets d'efficacité énergétique qui paient, économique parlant, ou qui peuvent permettre d'atteindre des objectifs de la compagnie à plus grande échelle, par exemple un engagement à suivre le développement durable. Le potentiel économique tel qu'il est décrit ci-dessus ne sera réalisé que si des politiques publiques et des réglementations sont en place. Il est pertinent à ce propos de relever comme ci-dessus que les industries les plus intensives en énergie se situent dans les pays en voie de développement. Un tournus de capital lent est aussi un obstacle

<sup>17</sup> Voir le Rapport spécial du GIEC sur le captage et le stockage du dioxyde de carbone.

**Tableau RT 10 :** Exemples (non exhaustifs) de technologies industrielles permettant de réduire les émissions de GES. Les technologies en italiques sont en phase de démonstration ou de développement (Tableau 7.5).

Secteur	Efficacité énergétique	Combustion de combustible	Rendement en puissance	Renouvelables	Communtation de matière première	Communtation de produit	Efficacité matérielle	GES hors CO2	Captage et stockage du dioxyde de carbone
Tout le secteur	Etaonnage; systèmes de gestion énergétique; systèmes de moteurs, de bouilleurs, de fourneaux, d'éclairage, de chauffage / ventilation / climatisation efficaces; intégration de processus	Du charbon au gaz naturel et au pétrole	Cogénération	Biomasse, Biogaz, PV, éolien, énergie hydraulique	Recyclage des entrants				Combustion d'oxyfuel, piégeage du CO <sub>2</sub> des fumées
Fer & acier	Diminution de l'extraction par fusion, coulée à côtes semi finies, préchauffage des ferrailles, extinction à sec	Injection de gaz naturel, de pétrole ou de plastique dans le haut fourneau	Détente des gaz de cycle combiné, des sous-produits gazeux		Ferrailles	Acier à haute résistance	Recyclage de l'acier à haute résistance, pertes du processus de réduction		Réduction de l'hydrogène
Métaux non ferreux	Anodes inertes,			Charbon de bois	Ferrailles		Recyclage, pellicule protectrice plus mince	n/a	Utilisation d'oxygène dans les hauts fourneaux
Produits chimiques	Conception de cellules efficaces	Gaz naturel	Turbine à gaz pré-couplée, Turbine de rendement en pression, récupération du H <sub>2</sub>		Matières plastiques recyclées, matières premières biologiques	polyéthylène linéaire à basse densité, matières plastiques à haute performance,	Recyclage, pellicules protectrices plus minces, réduction des pertes par suite de traitement	Contrôle du PFC et du SF <sub>6</sub>	
Raffinage du pétrole	Séparation membranaire, distillation réactive	Gaz naturel	Turbine de rendement en pression, récupération d'hydrogène		Matières premières biologiques		(réduction des transports exclue ici)	Contrôle du N <sub>2</sub> O, des PFC, des CFC et des HFC	Stockage du CO <sub>2</sub> issu de l'ammoniac, processus impliquant des oxydes d'éthylène
Cimenterie	Séparation membranaire	Combustibles dérivés des déchets, Biogaz, Biomasse	Séchage par turbine à gaz, rendement en puissance	Biocarburants	scories, pouzzolanes	Ciment chargé		Technologie de contrôle de N <sub>2</sub> O/CH <sub>4</sub>	Issus de la production d'hydrogène
Verre	Gaz de raffinerie	Gaz naturel	Cycle aval de l'air	Carburants issus de la biomasse, Biogaz	Meilleure utilisation du calcin	Géo-polymères	recyclage	n/a	Combustion d'oxyfuel dans les fours
Pâte à papier	Four de précalcination, broyeur à cylindre, four à lit fluidisé	Biomasse, gaz de décharge	Cycle combiné à gazéification des liqueurs noirs	n/a	Recyclage, fibres non-ligneuses	Conteneurs minces à haute résistance	\$\$\$découpage de réduction\$\$ et pertes par suite de traitement	n/a	Combustion d'oxyfuel
Industrie alimentaire	Préchauffage du calcin	Biogaz, Gaz naturel	Digestion anaérobie, gazéification	Carburants issus de la biomasse (écorce, liqueur noire)		Orientation des fibres, papier plus fin	Pertes du processus de réduction, utilisation d'eau en circuit fermé	n/a	Combustion d'oxyfuel dans les fours à chaux

au sein de nombreuses industries, tout comme le manque de ressources financières et techniques nécessaires pour atteindre des options d'atténuation, et les limitations dans la capacité des firmes industrielles, particulièrement les petites et moyennes entreprises, d'accéder à l'information relative aux diverses options et de l'absorber (bon accord, nombreuses mises en évidence) [7.9.1].

Les accords volontaires entre industrie et gouvernement pour réduire la consommation énergétique et les émissions de GES ont été utilisés depuis le début des années 1990. Les accords bien conçus, qui posent des objectifs réalistes et jouissent d'un soutien gouvernemental suffisant, à titre souvent de partie d'un paquet environnemental plus important, et une menace réelle de législation contraignante ou de taxes sur l'énergie ou sur les GES si les objectifs ne sont pas atteints peut aboutir à des économies d'énergie ou des réductions d'émissions supérieures au taux atteint par une posture d'affaires-courantes. Certaines ont accéléré l'application des meilleures technologies disponibles et abouti à des réductions dans les émissions comparées à la situation de référence, particulièrement dans les pays où règne une tradition de proche collaboration entre le gouvernement et l'industrie. Cependant, la majorité des accords volontaires n'ont pas atteint de réductions d'émissions qui soient nettement au-delà des affaires-courantes. Les sociétés, les gouvernements sub-nationaux, les organisations non gouvernementales (ONG) et les groupements issus de la société civile adoptent une large palette d'actions volontaires, indépendantes des autorités gouvernementales, qui peuvent limiter les émissions de GES, stimuler les politiques innovantes, et encourager le déploiement de nouvelles technologies. En eux-mêmes, toutefois, ils ont généralement un impact limité.

Les politiques publiques qui éliminent les obstacles à l'adoption de technologies rentables et peu gourmandes en émissions de GES (p.ex. le manque d'information, l'absence de standards et l'inaccessibilité d'un financement raisonnable pour les premiers achats de technologie moderne) peuvent être efficaces. De nombreux pays, aussi bien développés qu'en voie de développement, ont des plans financiers disponibles pour promouvoir les économies d'énergie dans l'industrie. Selon un rapport du Conseil mondial de l'énergie, 28 pays fournissent une quelconque forme de subvention ou d'aide financière pour les projets industriels liés à l'efficacité énergétique. Des mesures fiscales sont aussi fréquemment utilisées pour stimuler les économies d'énergie dans l'industrie.

L'inconvénient des mesures d'incitation financière reste néanmoins qu'elles sont souvent utilisées par des investisseurs qui auraient investi même sans incitation. L'une des solutions possibles pour améliorer la rentabilité consiste à réduire la disponibilité des plans financiers à certains groupes et/ou techniques cibles (listes d'équipements choisis, technologies innovatrices seules), ou d'utiliser un critère direct de rentabilité [7.9.3].

Plusieurs systèmes de bourses aux droits d'émissions de CO<sub>2</sub> par secteur existent ou sont en développement. Dans leur développement, ces systèmes bénéficieraient des preuves scientifiques qui laissent à penser que sous certains angles importants, les participants issus du secteur industriel font face à une situation profondément différente de ceux qui proviennent du secteur de l'électricité. Par exemple, les réponses au prix des émissions de carbone, dans l'industrie, sont tendanciellement plus lentes en raison de la moindre palette technologique à disposition et de l'absence de possibles combustibles alternatifs à court terme, ce qui fait que les mécanismes d'allocations et les signaux de stabilité des prix sont des questions plus importantes pour l'industrie [7.9.4].

Comme l'a relevé le TRE, les entreprises industrielles de toutes les tailles sont vulnérables aux changements de politique gouvernementale et à l'évolution des préférences du consommateur. C'est pourquoi un régime politique stable est si important pour l'industrie (bon accord, nombreuses mises en évidence) [7.9].

#### Politiques publiques intégrées et politiques non climatiques affectant les émissions de gaz à effet de serre

Les politiques publiques dont l'objectif est une pesée d'intérêts entre la sécurité énergétique, la protection de l'environnement et le développement économique peuvent avoir un impact positif ou négatif sur l'atténuation. Les politiques de développement durable mettant l'accent sur l'efficacité énergétique, sur la dématérialisation, et sur l'utilisation d'énergies renouvelables vont dans le sens des objectifs d'atténuation des GES. Les politiques de gestion des déchets réduisent les émissions de GES du secteur industriel en réduisant la consommation énergétique via la réutilisation de leurs sous-produits. Les mesures de réduction des polluants atmosphériques peuvent montrer des synergies avec les réductions d'émissions de GES lorsque la réduction est obtenue en passant à des combustibles à faible taux de carbone, mais ne réduisent pas toujours les émissions de GES car beaucoup d'entre elles absorbent de l'énergie supplémentaire.

En marge de la mise en place des options d'atténuation susdites, aboutir au développement durable nécessitera de choisir des processus de développement industriel qui permettent de minimiser les besoins d'atténuation à venir (bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses). Les grandes compagnies ont plus de ressources, et généralement plus d'incitations à considérer les aspects environnementaux et sociaux parmi leurs opérations que les petites et moyennes entreprises (PME), mais les PME représentent la majorité de l'emploi et des installations manufacturières dans de nombreux pays. Intégrer une stratégie de développement des PME dans les stratégies de développement plus larges au niveau national est cohérent avec les objectifs du développement durable. Aujourd'hui, les industries à haute intensité énergétique

s'engagent à respecter un certain nombre de mesures pour le développement du capital humain, la santé et la sécurité, le développement de la communauté, etc., qui sont cohérents avec les objectifs de la responsabilité sociale des entreprises (bon accord, nombreuses mises en évidence) (737 ; 7.8).

#### Avantages associés des politiques publiques d'atténuation des gaz à effet de serre

Parmi les avantages associés de l'atténuation des GES industriels on peut citer : une réduction des émissions de polluants atmosphériques et des déchets (ce qui, à son tour, fait baisser les coûts de mise aux normes environnementales et de gestion des déchets), augmentation de la production et amélioration de la qualité des produits, coûts de maintenance et d'opérations moindre, meilleur environnement de travail et d'autres bénéfices tels qu'une exposition légale moindre, une meilleure image publique et un meilleur moral parmi les collaborateurs, ainsi qu'une réduction ou un report des frais en capital. La réduction de la consommation énergétique peut contribuer indirectement à une baisse des impacts sanitaires des polluants atmosphériques, particulièrement dans les régions dépourvues de normes de pollution de l'air (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [7.10].

#### Recherche, développement, déploiement, diffusion et transfert de technologie

Les technologies industrielles disponibles sur le marché jouissent d'un très grand potentiel de réduction des émissions de GES. Cependant, même après application de ces technologies, beaucoup de procédés de fabrication industriels consommeraient toujours bien plus d'énergie que prévu par l'idéal thermodynamique, ce qui laisse soupçonner un grand potentiel résiduel d'atténuation des GES et d'amélioration de l'efficacité énergétique. De plus, certains processus industriels émettent des GES qui sont indépendants de la consommation de chaleur ou de courant. Les technologies permettant d'éliminer ces émissions n'existent pas encore sur le marché pour certains de ces processus, par exemple le développement d'une électrode inerte pour éliminer les émissions liées au procédé de fabrication dans les usines d'aluminium et l'utilisation de l'hydrogène pour réduire les minerais de fer et de métaux non-ferreux. Ces nouvelles technologies doivent aussi remplir un certain nombre d'autres critères, englobant la compétitivité en termes de coûts, les exigences de sécurité et les réglementations, de même que l'adhésion des consommateurs. La recherche, le développement, le déploiement et la diffusion des technologies industrielles sont menées à bien par les gouvernements et par les sociétés privés, au sein de rôles complémentaires dans l'idéal. À cause des importants risques économiques inhérents aux technologies dont l'atténuation des émissions de GES est le principal objectif, il sera probablement nécessaire de mettre sur pied des programmes gouvernementaux pour faciliter l'accès à un niveau de recherche et développement suffisant. Il est opportun pour les gouvernements d'identifier les obstacles fondamentaux à la technologie et de trouver des solutions pour surmonter ces obstacles, mais les sociétés privées devraient être

celles qui supportent les risques et retirent les bénéfices de la commercialisation.

De plus, l'information gouvernementale, les audits énergétiques, les rapports et les programmes de pose de jalons promeuvent le transfert et la diffusion de la technologie. Les facteurs-clés qui déterminent le déploiement technologique dans le secteur privé et sa diffusion sont l'avantage comparatif, l'adhésion des consommateurs, les caractéristiques propres de chaque pays, la protection de la propriété intellectuelle, et le cadre réglementaire (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [7.11].

#### Perspectives à long terme

Beaucoup de technologies jouissent d'un potentiel à long terme pour atténuer les émissions de GES industriels, mais l'intérêt s'est focalisé sur trois domaines : la digestion biologique, l'utilisation de l'hydrogène et les nanotechnologies.

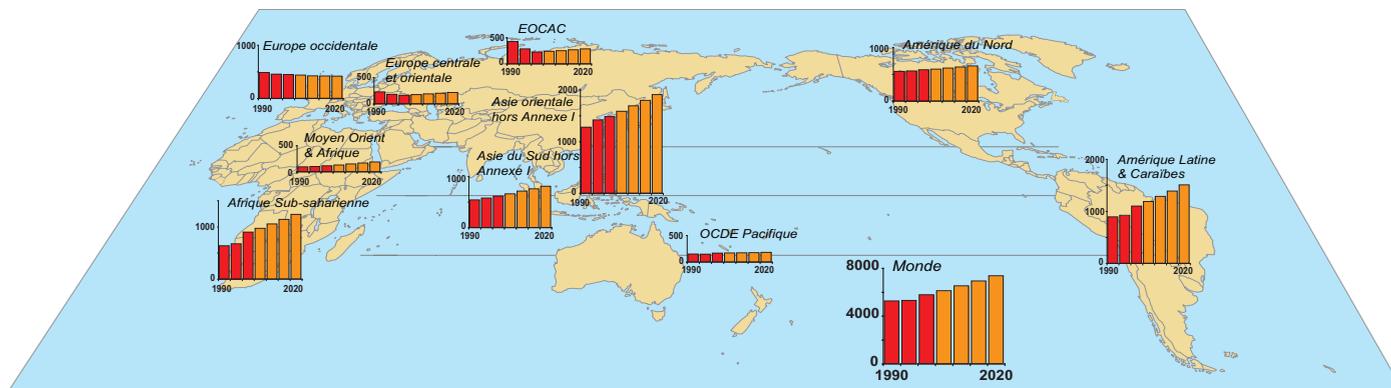
En raison de la complexité du secteur industriel, atteindre de bas niveaux d'émissions de GES ne peut se faire qu'en additionnant de nombreuses transitions au sein des et entre les secteurs. En raison de la vitesse du tournus du capital dans certaines branches de l'industrie tout au moins, il est possible que se produisent des phénomènes d'inertie et d'« enfermement technologique ». Les rénovations sont l'occasion de faire des progrès dans l'intervalle, mais les changements technologiques fondamentaux ne se produisent qu'au moment où le stock de capital est installé ou remplacé. (bon accord, nombreuses mises en évidence) [7.12].

## 8 Agriculture

### Situation du secteur, tendances futures de la production et de la consommation, implications

Les développements technologiques ont permis des progrès remarquables dans la productivité agricole par unité de terres, augmentant ainsi la quantité d'aliments disponibles par personne malgré un déclin continu de la superficie agricole par habitant (bon accord, nombreuses mises en évidence). Cependant, les progrès ont été inégaux dans le monde, la pauvreté rurale et la malnutrition persistant dans certains pays. La part des produits animaux dans le régime alimentaire a progressé peu à peu dans les pays en voie de développement tout en restant constante dans le monde développé (bon accord, nombreuses mises en évidence).

La production alimentaire et fibreuse a plus que suivi l'augmentation abrupte de la demande d'un monde davantage peuplé, de sorte que la disponibilité quotidienne moyenne de calories par personne a augmenté, bien qu'il y ait des exceptions dans certaines régions. Toutefois, cette croissance s'est faite aux dépens d'une pression croissante sur l'environnement et sur des ressources naturelles en diminution et n'a pas résolu les



**Figure RT 19 :** Émissions historiques et projetées de  $N_2O$  et de  $CH_4$  en provenance du secteur agricole dans dix régions du monde, 1990-2020 [Figure 8.2]

**Note :** EOCAC = Pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie Centrale.

problèmes de sécurité alimentaire et de malnutrition infantile largement répandue dans les pays pauvres (*bon accord, nombreuses mises en évidence*).

La superficie des terres arables en termes absolu s'est accrue d'environ 1400 Mha, soit une augmentation globale de 8% depuis les années 1960 (baisse de 5% dans les pays développés, accroissement de 22% dans les pays en voie de développement. On s'attend à ce que cette tendance continue à agir dans le futur, 500 Mha de terres étant converties en terres arables de 1997 à 2020, en Amérique Latine et en Afrique sub-saharienne principalement (*accord moyen, mises en évidence limitées*).

La croissance économique et l'évolution des modes de vie dans certains pays en voie de développement génèrent une demande croissante pour les produits lactés et carnés. De 1967 à 1997, la demande en viande des pays en voie de développement a crû de 11 à 24 kg par tête et par année, soit un taux de croissance annuel de plus de 5% vers la fin de cette période. Les projections montrent une poursuite de l'augmentation de la demande de viande au niveau moyen (environ 60% vers 2020), principalement dans des régions en cours de développement comme l'Asie du sud et du sud-est, et l'Afrique sub-saharienne (*accord moyen, nombreuses mises en évidence*) [8.2].

#### Tendances à l'œuvre dans les émissions

En 2005, l'agriculture représentait une émission estimée à 5,1 à 6,1 Gt  $CO_2$ - $\dot{e}q$  (10 à 12% du total des émissions de GES d'origine anthropique). Le  $CH_4$  a contribué à ces émissions à hauteur de 3,3 Gt  $CO_2$ - $\dot{e}q$  et le  $N_2O$  à hauteur de 2,8 Gt  $CO_2$ - $\dot{e}q$ . Parmi les émissions d'origine anthropique en 2005, l'agriculture a représenté environ 60% du  $N_2O$  et environ 50% du  $CH_4$  (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*). Malgré le fait que de grands échanges de  $CO_2$  se produisent entre l'atmosphère et les terres agricoles au cours de l'année, on estime que le flux net est à peu près équilibré, les émissions nettes de  $CO_2$  se montant à 0,04 Gt  $CO_2$  / an seulement (les émissions provenant de l'utilisation d'électricité et de carburant dans l'agriculture sont respectivement comptabilisées dans les secteurs de la construction et des transports (*faible accord, mises en évidence limitées*) [8.3].

Les tendances à l'œuvre dans les émissions de GES d'origine agricole sont réactives aux changements à l'échelle du globe : on s'attend à des augmentations liées aux changements de régimes alimentaires et à l'augmentation de la demande alimentaire liée à la croissance démographique. Les changements climatiques à venir peuvent aussi aboutir, à terme, à l'émission de davantage de carbone stocké dans les sols (bien que l'effet soit incertain dans la mesure où les changements climatiques peuvent aussi accélérer le captage de carbone par les sols par l'intermédiaire d'une production importante). Des technologies émergentes peuvent permettre des réductions d'émissions par unité de produits alimentaires produite, mais les émissions croîtront probablement en chiffres absolus (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*).

En l'absence de politiques publiques complémentaires, on projette que les émissions de  $N_2O$  et de  $CH_4$  d'origine agricole augmenteront de 35 à 60% et de ~60% respectivement jusqu'en 2030, croissant ainsi plus rapidement que l'augmentation de 14% des GES hors  $CO_2$  observée entre 1990 et 2005 (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [8.3.2].

L'ampleur des émissions comme l'importance relative des différentes sources varie de façon considérable parmi les régions du monde (figure RT 19). En 2005, le groupe de cinq régions constituant l'essentiel des pays ne figurant pas dans l'Annexe I étaient responsables de 74% du total des émissions d'origine agricole [8.3].

#### Technologies, pratiques, options, potentiels et coûts de l'atténuation

En prenant en compte tous les gaz, on estime les potentiels économiques d'atténuation agricole vers 2030 à environ 1600, 2700 et 4300 Mt  $CO_2$ - $\dot{e}q$ /an pour des coûts du carbone allant respectivement jusqu'à 20, 50 et 100 US\$ / t $CO_2$ - $\dot{e}q$  pour une situation de référence RSSE B2 (v. Tableau RT 11) (*accord moyen, mises en évidence limitées*) [8.4.3].

L'amélioration de la gestion agricole peut réduire les émissions nettes de GES, qui affectent souvent plus d'un

**Tableau RT 11** : estimations du potentiel d'atténuation des GES agricoles selon une perspective économique (Mt CO<sub>2</sub>-éq/an) vers 2030 suivant le coût du carbone postulé, sous une situation de référence RSSE B2 [Tableau 8.7].

	Coût du carbone (US\$ / tCO <sub>2</sub> -éq)		
	Jusqu'à 20	Jusqu'à 50	Jusqu'à 100
OCDE	330 (60-470)	540 (300-780)	870 (460-1280)
EET	160 (30-240)	270 (150-390)	440 (230-640)
Hors OCDE/ EET	1140 (210-1660)	1880 (1040-2740)	3050 (1610-4480)

**Note** : Les chiffres entre parenthèses représentent l'écart-type autour de l'estimation moyenne, le potentiel à l'exclusion des mesures d'efficacité énergétique et la commutation des combustibles fossiles vers la bioénergie.

GES. L'efficacité de ces pratiques dépend de facteurs comme le climat, le type de sols et le système agricole (bon accord, nombreuses mises en évidence).

Environ 90% du potentiel d'atténuation total provient de l'amélioration des puits (stockage de C dans les sols) et environ 10% de la réduction des émissions (accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses). Celles des options d'atténuation qui sortent du lot dans le secteur agricole (potentiels exprimés en Mt CO<sub>2</sub>-éq/an pour des coûts allant jusqu'à 100 US\$ / t CO<sub>2</sub>-éq vers 2030) sont (v. aussi la figure RT 20) :

- Restauration des sols organiques cultivés (1260)
- Meilleure gestion des terres arables (y compris l'agronomie, la gestion des substances nutritives, la gestion des labours / des tourteaux et la gestion de l'eau (y compris

l'irrigation et le drainage) et des mises en jachère / de l'agroforesterie (1110)

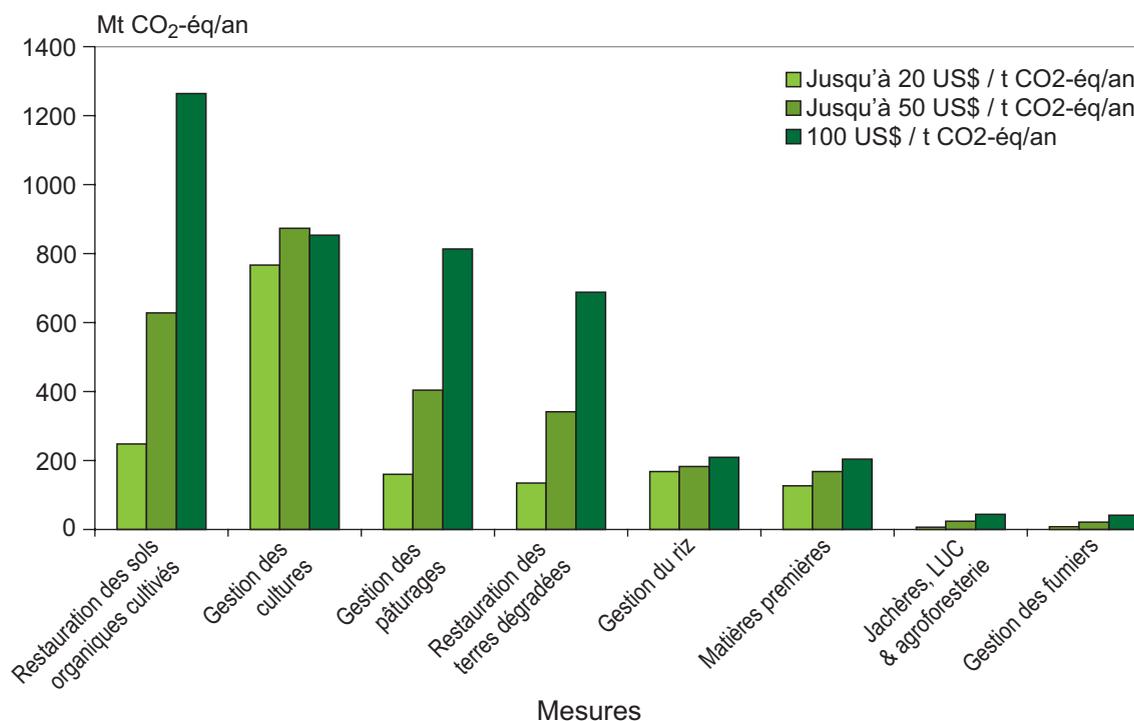
- Meilleure gestion des pâturages (y compris l'intensité de pâture, l'augmentation de la productivité, la gestion de l'engrais, des incendies et des introductions d'espèces) (810)
- La restauration des terres dégradées (à l'aide du contrôle de l'érosion, d'amendements organiques et d'amendements à l'aide de substances nutritives (690)

On trouve des potentiels d'atténuation plus faibles, mais encore substantiels dans :

- La gestion du riz (210)
- La gestion des matières premières (y compris des pratiques de nourrissage améliorées, des additifs alimentaires, la reproduction et autres changements structurels, et une meilleure gestion du fumier (meilleur stockage, meilleures manipulations et digestion anaérobie) (260) (accord moyen, mises en évidence limitées).

En outre, 770 Mt CO<sub>2</sub>-éq/an pourraient provenir d'une meilleure efficacité énergétique dans l'agriculture. Une large fraction de ce chiffre est toutefois intégrée dans le potentiel d'atténuation des constructions et des transports [8.1 ; 8.4]

À des coûts du carbone moindre, des mesures à faible coût très semblables à la pratique actuelle recueillent beaucoup de suffrages (p.ex. les options de gestion des cultures) mais si le coût du carbone s'élève, des mesures plus chères disposant de potentiels d'atténuation supérieurs sont préférés (p.ex. la restauration de sols organiques ou tourbeux cultivés ; fig. RT



**Figure RT 20** : Potentiel d'atténuation des GES d'origine agricole en 2030 pour une plage de coûts du carbone, situation de référence RSSE B2 [figure 8.9]

**Note** : Le scénario B2 est représenté ici, bien que le tableau soit similaire pour tous les scénarios du RSSE. Les mesures d'efficacité énergétique (770 MtCO<sub>2</sub>-éq) sont intégrées dans le potentiel d'atténuation des secteurs de la construction et de l'énergie.

20) (*accord moyen, mises en évidence limitées*) [8.4.3].

Les émissions de GES pourraient aussi être réduites par la substitution des combustibles fossiles par une production énergétique à partir de matières premières biologique (tourteaux, fumiers, cultures à fins énergétiques) qui sont comptabilisés dans le secteur de la consommation finale d'énergie (particulièrement la production énergétique et le transport d'énergie). On ne dispose pas d'estimations précises de la future production de biomasse agricole, les chiffres allant de 22 EJ/an en 2025 à plus de 400 EJ/an en 2050.

La contribution effective de l'agriculture au potentiel d'atténuation par l'usage de bioénergie dépend, cependant, des prix relatifs des carburants et de l'équilibre de l'offre et de la demande. Les estimations descendantes qui intègrent des postulats relatifs à cet équilibre estiment le potentiel d'atténuation économique de l'énergie tirée de la biomasse fournie par l'agriculture à 70 à 1260 Mt CO<sub>2</sub>-éq / an pour un coût du carbone allant jusqu'à 20 US\$ / tCO<sub>2</sub>-éq, et à 560-2320 Mt CO<sub>2</sub>-éq / an pour un coût allant jusqu'à 50 US\$ / t CO<sub>2</sub>-éq. On ne dispose pas d'estimations du potentiel complémentaire issu de modèles descendants pour des coûts du carbone allant jusqu'à 100 US\$ / t CO<sub>2</sub>-éq, mais les estimations pour la plage de prix se situant au-dessus de 100 US\$ / t CO<sub>2</sub>-éq est de 2720 Mt CO<sub>2</sub>-éq/an. Ces potentiels représentent une atténuation allant de 5 à 80%, et de 20 à 90% de toutes les autres mesures d'atténuation agricoles combinées, pour un prix du carbone allant respectivement jusqu'à 20 et 50 US\$ / t CO<sub>2</sub>-éq. Au-delà du niveau où les produits et les résidus agricoles constituent la seule matière première, la bioénergie est en concurrence avec les autres affectations des terres pour la surface de terre, pour l'eau et pour les autres ressources. Les potentiels d'atténuation de la bioénergie et de l'amélioration de l'efficacité énergétique ne sont pas intégrés ni dans le Tableau RT 11 ni dans la Figure RT 20, car le potentiel est comptabilisé pour la plus grande part dans les secteurs liés aux utilisateurs, respectivement les transports et la construction (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [8.4.4].

Les estimations du potentiel d'atténuation dans le secteur agricole se situent vers la limite inférieure des plages indiquées par le Deuxième Rapport d'évaluation (DRE) et le TRE. Ce fait est principalement dû à la différence de période considérée (2030 ici versus 2050 dans le TRE). À moyen terme, une bonne part du potentiel d'atténuation est dérivée du retrait du CO<sub>2</sub> atmosphérique et de sa conversion en carbone terrestre, mais l'ampleur de ce processus diminuera au fur et à mesure que le carbone terrestre approchera de son maximum, et l'atténuation à long terme compta de plus en plus sur une réduction des émissions de N<sub>2</sub>O, de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub> issus de la consommation énergétique, dont les avantages se poursuivront indéfiniment (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [8.4.3].

Interactions des options d'atténuation avec la vulnérabilité et l'adaptation

Les actions issues de l'agriculture visant à atténuer les GES pourraient : a) réduire la vulnérabilité (p.ex. si le captage du carbone dans les sols réduit l'impact des sécheresses ou b) augmenter la vulnérabilité (p.ex. si une lourde dépendance à l'énergie tirée de la biomasse rend l'approvisionnement énergétique plus sensible aux extrêmes climatiques). Les politiques publiques visant à encourager l'atténuation et/ou l'adaptation dans le secteur agricole pourraient devoir considérer ces interactions (*accord moyen, mises en évidence limitées*). De façon similaire, les actions visant à l'adaptation pourraient a) favoriser l'atténuation (p.ex. le retour des résidus dans les champs pour améliorer la rétention d'eau capteront aussi du carbone) ou b) porter atteinte à l'atténuation (p.ex. l'usage de davantage d'engrais azotés pour faire face à la baisse de la productivité, aboutissant sur une recrudescence des émissions de N<sub>2</sub>O). Les stratégies qui simultanément améliorent la capacité d'adaptation, réduisent la vulnérabilité et atténuent les changements climatiques rencontreront probablement moins d'obstacles à l'heure de leur adoption que celles qui présentent des impacts en conflit. Par exemple, augmenter la masse de matières organiques dans les sols peut améliorer la fertilité et réduire l'impact des sécheresses, améliore la capacité d'adaptation, rendant l'agriculture moins vulnérable aux changements climatiques, tout en captant également du carbone (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [8.5].

Efficacité des politiques publiques climatiques : problèmes liés à l'opportunité, aux obstacles et à la mise en place

Les niveaux actuels de pratiques d'atténuation des GES dans le secteur agricole se situent en-dessous du potentiel économique pour les mesures indiquées ci-dessus (*accord moyen, mises en évidence limitées*). Peu de progrès ont été faits dans la mise en place en raison des coûts de la mise en place et d'autres obstacles, y compris : la pression sur les terres agricoles, la demande de produits agricoles, les demandes concurrentes pour l'eau de même que divers obstacles sociaux, institutionnels et éducationnels (*accord moyen, mises en évidence limitées*). Le captage du carbone dans les sols des terres cultivées d'Europe, par exemple, sera probablement négligeable vers 2010, malgré un potentiel économique significatif. Beaucoup de ces obstacles ne seront pas surmontés sans incitation politiques / économiques (*accord moyen, mises en évidence limitées*) [8.6].

Politiques publiques intégrées et non climatiques affectant les émissions de gaz à effet de serre

L'adoption de pratiques d'atténuation sera souvent impulsée largement par des objectifs qui ne sont pas directement liés

aux changements climatiques. Cela aboutit à des réponses d'atténuation variables selon les régions, et contribue à l'incertitude des estimations du potentiel d'atténuation futur à l'échelle mondiale. Les politiques les plus efficaces pour réduire les émissions peuvent être celles qui atteignent aussi d'autres objectifs sociétaux. Certaines politiques de développement rural qui ont été entreprises pour lutter contre la pauvreté, comme la gestion de l'eau et l'agroforesterie, sont synergétiques avec l'atténuation (accord moyen, mises en évidence limitées). Par exemple, l'agroforesterie qui a été entreprise pour produire du bois de chauffage ou pour faire tampon entre les revenus agricoles et les variations climatiques peuvent aussi faire augmenter le captage du dioxyde de carbone. Dans de nombreuses régions, les options d'atténuation agricoles sont influencées en premier lieu par les politiques non climatiques, y compris les politiques macro-économiques, agricoles et environnementales. Certaines de ces politiques peuvent être basées sur des conventions de l'ONU (p.ex. La biodiversité et la désertification) mais elles sont souvent entreprises en raison de questions nationales ou régionales. Parmi les politiques non climatiques qui comptent le plus grand nombre d'avantages associés, il faut citer celles qui promeuvent l'usage durable des sols, de l'eau et des autres ressources en agriculture car ces dernières contribuent à l'augmentation du stockage de carbone dans les sols et minimisent le gaspillage de ressources (énergie, engrais) (bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses) [8.7].

#### Avantages associés des politiques d'atténuation des gaz à effet de serre

Certaines pratiques agricoles aboutissent sur des résultats purement « gagnant-gagnant », mais la plupart impliquent de faire des choix. Les écosystèmes agricoles sont intrinsèquement complexes. Les avantages associés et les choix dans les pratiques agricoles peuvent varier d'un site à l'autre en raison des différences de climat, de sols ou de la manière dont la pratique est adoptée (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*).

Dans la production de bioénergie, par exemple, si la matière première est constituée de résidus de cultures, les matières organiques du sol peuvent baisser en raison du fait que moins de carbone retourne à la terre, aboutissant à une baisse de la qualité de la terre ; à l'inverse, si la matière première est une culture pérenne à enracinement dense, les matières organiques du sol peuvent être régénérées et la qualité de la terre ainsi améliorée.

Beaucoup d'activités d'atténuation agricoles font montre de synergies avec les objectifs de la durabilité. Les politiques d'atténuation qui encouragent un usage efficace des engrais, qui maintiennent le carbone des sols et soutiennent la production agricole montreront probablement le plus haut niveau de synergies avec le développement durable (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*).

Par exemple, une augmentation du carbone dans les sols peut aussi améliorer la sécurité alimentaire et les revenus

économiques. D'autres options d'atténuation ont des impacts moins certains sur le développement durable. Par exemple, l'utilisation de certains amendements organiques peut améliorer le captage de carbone, mais les impacts sur la qualité de l'eau peuvent varier en fonction de l'amendement. Les avantages associés proviennent souvent de l'amélioration de l'efficacité, de coûts amoindris et d'avantages associés environnementaux. Les choix sont liés à la concurrence pour les terres, à la baisse de la productivité agricole et aux stress environnementaux (*accord moyen, mises en évidence limitées*) [8.4.5]

#### Recherche, développement, déploiement, diffusion et transfert de technologie

Beaucoup des stratégies d'atténuation décrites pour le secteur agricole emploient des technologies existantes. Par exemple, les réductions d'émissions par unité de production seront atteintes par des augmentations du rendement des cultures et de la productivité animale. De telles augmentations de productivité peuvent avoir lieu via une large palette de pratiques – meilleures gestion, cultures génétiquement modifiées, meilleurs variétés, systèmes de recommandation d'engrais, agriculture de précision, meilleures races animales, nutrition animale améliorée, additifs alimentaires et stimulants de croissance, amélioration de la fertilité animale, matières premières bioénergétiques, digestion anaérobie du lisier et systèmes de captage du CH<sub>4</sub> – tous ceux-ci reflétant des technologies déjà existantes (bon accord, nombreuses mises en évidence). Certaines stratégies impliquent de nouvelles façons d'utiliser des technologies existantes. Par exemple, les huiles ont été utilisées dans les aliments du bétail depuis de nombreuses années pour augmenter la valeur énergétique de leur message, mais leur rôle dans la réduction du CH<sub>4</sub> est encore nouveau et n'est pas encore complètement défini. Pour certaines technologies, il sera nécessaire de faire davantage de recherche et développement [8.9].

#### Perspectives à long terme

Il est possible que la demande alimentaire mondiale double vers 2050, aboutissant à des pratiques de production intensifiées (p.ex. l'augmentation de l'utilisation d'engrais azotés). De plus, les augmentations projetées dans la consommation de produits d'élevage augmenteront les émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O si le nombre de têtes de bétail augmente, aboutissant à des émissions plus importantes dans la situation de référence après 2030 (bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses). Les mesures d'atténuation dans l'agriculture contribueront à réduire les émissions de GES par unité de production, par rapport à la situation de référence. Cependant, jusqu'en 2030, seuls 10% du potentiel d'atténuation sont liés au CH<sub>4</sub> et au N<sub>2</sub>O. Le déploiement de nouvelles pratiques d'atténuation pour les systèmes d'élevage et les applications d'engrais seront essentiels pour prévenir une augmentation des émissions d'origine agricole après 2030.

La projection des potentiels d'atténuation à long terme est aussi rendu difficile par d'autres incertitudes. Par exemple,

les effets des changements climatiques ne sont pas clairs : les changements climatiques à venir peuvent réduire les taux de captage du carbone dans les sols, et pourraient même émettre du carbone issu du sol, bien que l'effet soit incertain car les changements climatiques peuvent aussi augmenter les entrées de carbone dans le sol via une production plus importante des plantes. De nombreuses études ont suggéré que les améliorations technologiques pourraient potentiellement contrebalancer les impacts négatifs des changements climatiques sur les stocks de carbone dans les sols de cultures et de prairies, faisant du progrès technologique un facteur-clé pour l'atténuation future des GES. De telles technologies pourraient, par exemple, agir par le truchement d'une augmentation de la production, augmentant ainsi le retour du carbone dans les sols et faisant baisser la demande de terres arables vierges (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [8.10].

## 9 Secteur forestier

Depuis le TRE, de nouvelles estimations d'atténuation ont été publiées de l'échelle locale à l'échelle mondiale. Des enquêtes économiques majeures et des évaluations à l'échelle du globe sont maintenant disponibles. On dispose de recherches précoces dans l'intégration des options d'atténuation et d'adaptation et de leurs liens avec le développement durable. Une attention croissante est portée à la réduction des émissions issues de la déforestation en tant qu'option d'atténuation à faible coût, une option qui aurait des effets collatéraux positifs importants. On dispose de preuves que les impacts des changements climatiques peuvent aussi limiter le potentiel d'atténuation des forêts.

### Situation du secteur, tendances de développement y compris production et consommation, et implications

Les forêts couvrent 3952 millions d'hectares au niveau mondial (Tableau RT 12), soit à peu près 30% des terres émergées.

Le facteur le plus pertinent pour ce qui concerne le cycle du carbone est qu'entre 2000 et 2005, la déforestation générale a continué au rythme de 12,9 millions d'ha / an, principalement à la suite de la conversion de zones de forêt en terres arables, mais aussi en raison de l'expansion des établissements et des infrastructures, souvent pour l'exploitation forestière. Dans les années 1990, la déforestation brute était légèrement plus importante, à hauteur de 13,1 millions d'ha / an. En raison de l'afforestation, de la restauration du paysage et de l'expansion naturelle des forêts, la perte nette de forêts entre 2000 et 2005 s'est établie à 7,3 millions d'ha / an, les plus grandes pertes étant enregistrées en Amérique du Sud, en Afrique et en Asie du sud-est. Le rythme net de pertes était inférieur au chiffre de 8,9 millions d'ha / an connu dans les années 1990 (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [9.2.1].

### Sources et puits d'émissions; tendances

À l'échelle mondiale, au cours de la dernière décennie du 20<sup>e</sup> siècle, la déforestation sous les tropiques et la re-croissance de la forêt dans la zone tempérée et dans certains endroits de la zone boréale est restée le principal facteur responsable respectivement des émissions et des captages de CO<sub>2</sub> (Tableau RT 12, Figure RT 21). Les émissions issues de la déforestation pendant les années 1990 sont estimées à 5,8 GtCO<sub>2</sub> / an.

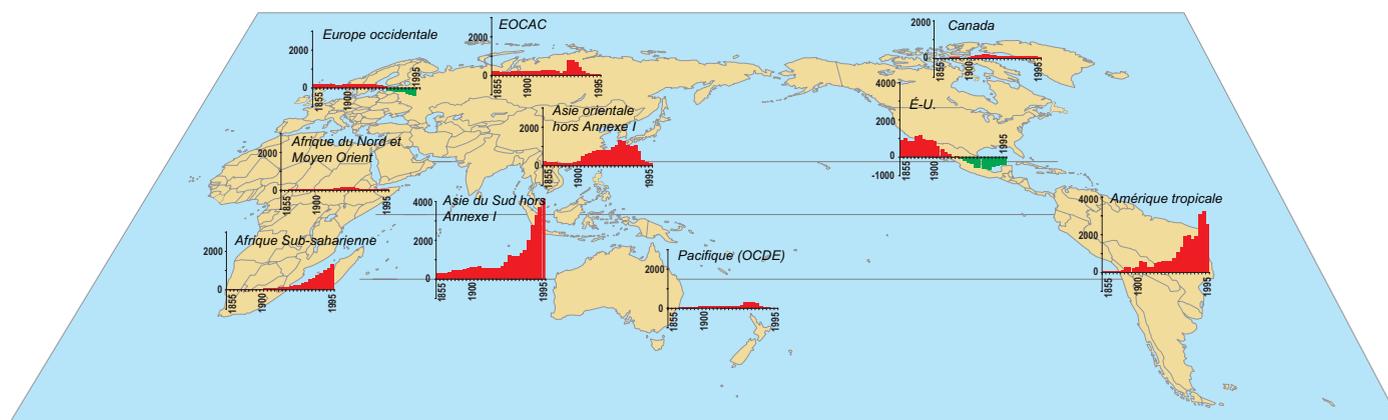
Cependant, l'étendue de la compensation de la perte de carbone due à la déforestation tropicale par l'extension de la superficie forestière et l'accumulation de biomasse ligneuse dans les zones tempérée et boréale reste un point de désaccord entre les observations réellement faites sur terre et les estimations qui utilisent des modèles descendants. Les méthodes descendantes basées sur l'inversion des modèles de circulation atmosphérique estiment le puits de carbone terrestre net dans les années 1990, le bilan entre les puits dans les latitudes septentrionales et les sources situées sous les tropiques à environ 9,5 GtCO<sub>2</sub>. Les nouvelles estimations sont cohérentes avec les augmentations

**Tableau RT 12 :** estimations de la surface de forêts et leurs variations nettes (les chiffres négatifs indiquent une diminution), stockage de carbone dans la biomasse vivante et stock croissant en 1990, 2000 et 2005 [Tableau 9.1].

Region	Superficie forestière Millions d'hectares	Variation annuelle Mha/an		Stockage de carbone dans la biomasse vivante MtCO <sub>2</sub>			stock croissant en 2005, Mm <sup>3</sup>
	2005	1990-2000	2000-2005	1990	2000	2005	(million m <sup>3</sup> )
Afrique	635.412	-4.4	-4.0	241267	228067	222933	64957
Asie	571.577	-0.8	1.0	150700	130533	119533	47111
Europe <sup>a)</sup>	1001.394	0.9	0.7	154000	158033	160967	107264
Amérique Centrale et du Nord	705.849	-0.3	-0.3	150333	153633	155467	78582
Océanie	206.254	-0.4	-0.4	42533	41800	41800	7361
Amérique du Sud	831.540	-3.8	-4.3	358233	345400	335500	128944
Monde	3952.026	-8.9	-7.3	1097067	1057467	1036200	434219

**Note :**

<sup>a)</sup> y compris la Fédération de Russie tout entière.



**Figure TS.21:** Bilan du carbone forestier historique (MtCO<sub>2</sub>) par région, 1855–2000 [Figure 9.2].

**Notes :** en vert = puits. EOCAC = Europe orientale, Caucase et Asie Centrale. Les données sont moyennées par périodes de cinq ans ; les années indiquent la première année de la période.

constatées précédemment dans les puits de carbone terrestre dans les années 1990 par rapport aux années 1980, mais les nouvelles estimations de puits et le rythme d'augmentation peuvent être moindres qu'on ne l'a dit précédemment. L'estimation des puits résiduels, résultat de l'inversion des modèles de circulation atmosphérique est significativement plus importante que toutes les estimations de puits de carbone basées sur des observations terrestres à l'échelle du globe.

L'amélioration de notre compréhension de la complexité des effets des changements de la surface des terres sur le système climatique montre l'importance de la prise en compte du rôle de l'albédo de surface, des flux de chaleur sensible et latente, de l'évaporation et d'autres facteurs encore dans la formulation de politiques publiques destinées à l'atténuation des changements climatiques dans le secteur forestier. Il est nécessaire de disposer d'outils de modélisation complexes pour prendre en compte l'entier de l'effet climatique du changement d'affectation des terres et de gérer les stocks de carbone dans la biosphère, outils qui ne sont pas encore disponibles. L'effet potentiel des changements climatiques projetés sur le bilan net du carbone dans les forêts reste incertain [9.3, 9.4].

Comme le fonctionnement actuel de la biosphère est incertain, la projection du bilan du carbone du secteur forestier à l'échelle mondiale reste un exercice très difficile. Généralement, le manque d'études largement acceptées, et donc de situations de référence, se fait sentir. Les tendances des développements prévus dans pays hors OCDE, et donc le rythme de déforestation, ne sont pas claires. Dans les pays de l'OCDE et dans les économies en transition, le développement de tendances de gestion, le marché du bois, et les impacts des changements climatiques restent peu clairs. Les modèles à long terme tels que ceux qui sont cités dans le chapitre 3, font état d'émissions de référence de CO<sub>2</sub> issues du changement d'affectation des terres et de la foresterie en 2030 semblables ou légèrement plus faibles qu'en 2000 (accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses) [9.3, 9.4].

### Description et évaluation des technologies, des pratiques, des options, des potentiels, des coûts et de la durabilité de l'atténuation

La dynamique du carbone terrestre est caractérisée par de longues périodes de faible taux de captage par hectare, interrompues par de courtes périodes d'émissions rapides et importantes de carbone à l'occasion de perturbations ou à l'occasion des moissons. Bien que certains sites forestiers puissent agir aussi bien comme des sources que comme des puits, le bilan du carbone de la forêt est déterminé par la somme du bilan net de tous les sites.

Les alternatives disponibles pour réduire les émissions source par source et/ou pour augmenter le captage par les puits, dans le secteur forestier, sont groupées en quatre catégories générales :

Options available to reduce emissions by sources and/or increase removals by sinks in the forest sector are grouped into four general categories:

- Maintenir ou étendre la surface forestière ;
- Maintenir ou augmenter la densité carbone à l'échelle du site ;
- Augmenter les stocks de carbone hors du site, dans les produits du bois,
- Augmenter les stocks de carbone hors du site, dans les produits du bois, améliorer la commutation de produits et de combustibles.

Chaque activité d'atténuation possède une séquence chronologique d'actions qui lui est caractéristique, de même que des avantages et des coûts liés au dioxyde de carbone (figure RT 22). Par rapport à une situation de référence, les gains à court terme les plus importants sont toujours réalisés par des activités d'atténuation visant à réduire les émissions (réduction de la déforestation ou de la dégradation, protection contre les incendies, brûlis, etc.).

Activités d'atténuation	Type d'impact	Déroulement de l'impact	Déroulement des coûts
1A Etendre la superficie forestières (p.ex., de nouvelles forêts)	↑	S-curve	U-curve
1B Maintenir la superficie forestière (p.ex. prévenir la déforestation, LUC)	↓	S-curve	U-curve
2A Augmenter la densité C à l'échelle du site (p.ex. gestion intensive, fertilisation)	↑	S-curve	U-curve
2B Maintenir la densité C à l'échelle du site (p.ex. éviter la dégradation)	↓	S-curve	U-curve
3A Augmenter les stocks de C à l'échelle du paysage (p.ex. gestion durable des forêts (SFM), agriculture, etc.)	↑	S-curve	U-curve
3B Maintenir les stocks de C à l'échelle du paysage (p.ex. supprimer les perturbations)	↓	S-curve	U-curve
4A Augmenter le C hors site dans les produits (nécessite aussi 1B, 2B et 3B)	↑	S-curve	U-curve
4B Augmenter la bioénergie et la substitution (nécessite aussi 1B, 2B et 3B)	↓	S-curve	U-curve

Légende

Type d'impact	Déroulement (variation du carbone à travers le temps)	Déroulement du coût (dollars (\$) à travers le temps)
Améliorer les puits ↑	Retardé	Retardé
Réduire les sources ↓	Immédiat	Baisse rapidement
	Durable ou répété	Continu

Figure TS 22 : Résumé généralisé des options disponibles dans le secteur forestier et leur type et le déroulement des effets sur les stocks de carbone et déroulement des coûts [figure 9.4].

Toutes les activités de gestion forestière qui ont pour objectif d'augmenter la densité carbone aux niveaux du site et du paysage sont des pratiques courantes qui sont techniquement faisables, mais leur étendue et leurs lieux de mise en place pourraient être considérablement augmentés. Des considérations économiques sont typiquement la principale contrainte, parce que la rétention de davantage de carbone sur site retarde la perception des revenus de la moisson.

Sur le long terme, une stratégie de gestion durable de la forêt ayant pour objectif de maintenir ou d'augmenter les stocks de carbone forestiers, tout en dégageant une production annuelle de bois, de fibres ou d'énergie à partir des forêts, générera le bénéfice d'atténuation durable le plus important.

Évaluation modélisées à l'échelle régionale

Des études ascendantes au niveau régional ont révélé que les options d'atténuation en foresterie ont le potentiel économique (à des coûts allant jusqu'à 100 US\$ / tCO<sub>2</sub>-éq) de contribuer à 1,3-4,2 MtCO<sub>2</sub> / an (moyenne : 2,7 G tCO<sub>2</sub> / an) en 2030, sans tenir compte de la bioénergie. Environ 50% peuvent être atteints à un coût inférieur à 20 US\$ / tCO<sub>2</sub> (1,6 GtCO<sub>2</sub> / an) avec des différences notables entre les régions.

Les effets combinés d'un ralentissement de la déforestation et de la dégradation, de l'afforestation, de la gestion forestière, de l'agroforesterie et de la bioénergie ont un potentiel d'extension entre le présent, 2030 et au-delà. Cette analyse postule la mise en

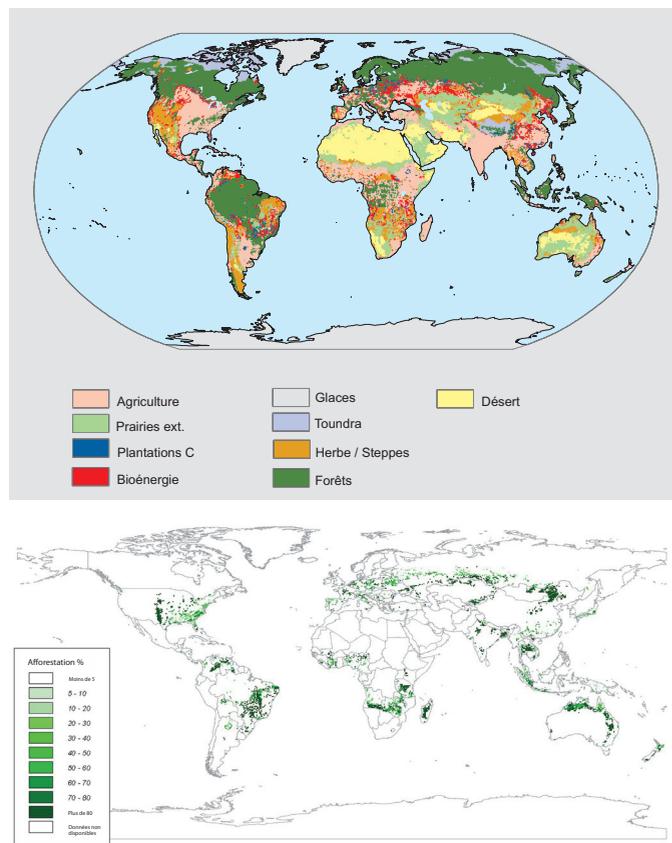


Figure RT 24 : Allocation des activités d'afforestation à l'échelle mondiale, selon deux modèles ascendants mondiaux. En haut : localisation des plantations liées à la bioénergie et au carbone dans le monde en 2100 ; en bas : pourcentage de cellules planisphériques en cours d'afforestation en 2100 [Figure 9.11].

place graduelle d'activités d'atténuation démarrant maintenant (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [9.4.4].

Les modèles descendants mondiaux de la réduction de la déforestation prédisent des potentiels d'atténuation de 13,8 G tCO<sub>2</sub> -éq / an en 2030 à des coûts du carbone inférieurs ou égaux à 100 US\$ / tCO<sub>2</sub>. La somme des prédictions régionale se monte à 22% de ce chiffre pour la même année. Les études régionales ont tendance à utiliser des données plus détaillées et à prendre en considération une plus large palette d'options d'atténuation. Elles sont ainsi à même de refléter plus précisément les circonstances et les contraintes régionales que des modèles globaux plus simples, plus agrégés. Cependant, les études régionales varient pour ce qui concerne la structure du modèle, la couverture, l'approche analytique et les postulats (y compris ceux qui sont dérivés de la situation de référence). Des recherches complémentaires sont indispensables pour combler les lacunes qui subsistent entre les estimations des potentiels d'atténuation des évaluations régionales et celles des évaluations globales (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [9.4.3].

La meilleure-estimation du potentiel économique d'atténuation pour le secteur forestier ne peut donc, à ce stade,

pas être plus certain qu'un intervalle de 2,7 à 13,8 tCO<sub>2</sub> /an en 2030, pour des coûts <100 US / tCO<sub>2</sub> ; pour des coûts <20 US\$ / tCO<sub>2</sub> l'intervalle va de 1,6 à 5 G tCO<sub>2</sub> /an. Environ 65% du potentiel d'atténuation total (jusqu'à 100 US\$/ tCO<sub>2</sub> -éq) est situé sous les tropiques et environ 50% du total pourrait être réalisé en réduisant les émissions issues de la déforestation (faible accord, mises en évidence moyennement nombreuses).

La foresterie peut aussi contribuer à la création de bioénergie à partir des résidus forestiers. Le potentiel de la bioénergie, cependant, est comptabilisé dans les secteurs de l'approvisionnement énergétique, des transports (biocarburants), de l'industrie et de la construction [v. le chapitre 11 pour un aperçu]. Selon les études ascendantes de l'approvisionnement potentiel en biomasse forestière et en postulant qu'elle serait intégralement utilisée (ce qui dépend entièrement des coûts de la biomasse forestière en comparaison des autres sources), la foresterie pourrait contribuer à environ 0,4 G tCO<sub>2</sub> /an.

Les modèles descendants globaux commencent à nous montrer où les options d'atténuation et lesquelles pourraient être au mieux affectées à l'échelle du globe (figure RT 24)

#### Interactions des options d'atténuation avec la vulnérabilité et l'adaptation

Les activités d'atténuation pour le secteur forestier peuvent être conçues de façon à s'adapter aux changements climatiques, à maintenir la biodiversité et à promouvoir le développement durable. La comparaison entre les avantages et coûts associés en matière environnementale et sociale vis-à-vis des bénéfices du carbone mettra l'accent sur les choix à faire et les synergies permettant d'aider la promotion du développement durable.

La littérature qui s'intéresse à l'interaction entre l'atténuation forestière et les changements climatiques est encore balbutiante. Les forêts souffriront probablement des impacts des changements climatiques, ce qui réduirait leur potentiel d'atténuation. Une première option d'adaptation de gestion consiste à réduire autant que possible les stress accessoires de la forêt. Maintenir des populations d'espèces viables et dispersées sur un vaste territoire minimise la probabilité d'événements catastrophiques localisés aboutissant à l'extinction d'espèces. La formation de zones protégées ou de réserves naturelles est un exemple d'atténuation aussi bien que d'adaptation. Protéger des zones (avec des corridors) aboutit aussi à la conservation de la biodiversité, ce qui réduit à son tour la vulnérabilité aux changements climatiques.

Les projets d'atténuation forestiers génèrent des avantages associés pour les autres secteurs en termes d'adaptation. Parmi les exemples, on peut citer l'agroforesterie qui réduit la vulnérabilité aux sécheresses du revenu issu des cultures irriguées par la pluie, les mangroves qui réduisent la vulnérabilité des établissements côtiers, et les brise-vents qui ralentissent la désertification (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [9.5].

#### Efficacité et expérience des politiques climatiques, potentiels, obstacles, questions d'opportunité / de mise en place

La foresterie peut apporter une contribution significative à un portefeuille d'atténuation à bas coût au niveau global qui présente des synergies avec l'adaptation et avec le développement durable. Le chapitre 9 du présent rapport identifie toute une palette d'options et de politiques permettant d'atteindre ce potentiel d'atténuation. Toutefois, ces perspectives n'ont pas encore été exploitées jusqu'à présent en raison du contexte institutionnel, du manque d'incitations pour les gestionnaires forestiers et du manque d'entrée en force des réglementations existantes. En l'absence de meilleurs instruments politiques, il est probable qu'une petite partie seulement de ce potentiel se réalisera.

La réalisation du potentiel d'atténuation a besoin de capacité institutionnelle, de capital d'investissement, de technologie, de R&D et de transfert de même que de politiques (internationales) et d'incitations adéquates. Dans de nombreuses régions, leur absence a représenté un obstacle à la mise en place d'activités d'atténuation forestières. Il y a toutefois de notables exceptions, comme les succès régionaux dans la réduction des taux de déforestation et dans la mise en place de programmes d'afforestation (bon accord, nombreuses mises en évidence).

Des stratégies multiples liées aux diverses localisations sont nécessaires pour servir de guides aux politiques publiques d'atténuation du secteur. Les choix optimaux dépendent de la situation actuelle des forêts, des principaux facteurs de changements dans les forêts, et de la dynamique future anticipée des forêts au sein de chaque région. La participation de toutes

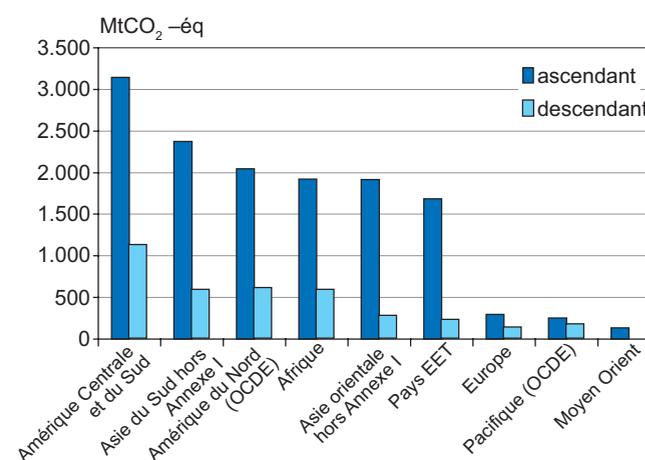


Figure RT 23 : Comparaison des résultats du potentiel économique d'atténuation à <100 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq en 2030 dans le secteur forestier, basés sur des modèles mondiaux descendants versus les résultats modélisés à l'échelle régionale [Figure 9.13].

les parties prenantes et des décideurs politiques est nécessaire pour promouvoir des projets d'atténuation et pour concevoir un panier de mesures optimal. L'intégration de l'atténuation du secteur forestier dans la planification de l'affectation des terres pourrait être importante dans cette perspective.

La plupart des politiques existantes qui visent à freiner la déforestation tropicale ont eu un impact minime en raison du manque de capacité législative et institutionnelle ou d'incitations de profit faisant contrepoids. Outre une entrée en force et un cadre légal plus appuyé, des marchés du carbone bien construits et d'autres concepts de paiement des services environnementaux pourraient aider à surmonter les obstacles à la réduction de la déforestation, en fournissant des incitations financières positives au maintien de la couverture forestière.

De nombreuses propositions ont été formulées pour opérationnaliser les activités d'après 2012, comprenant des approches basées sur le marché comme des approches hors marché ; par exemple, via un fonds dédié à la réduction volontaire des émissions provenant de la déforestation. Des mesures politiques telles des subventions ou des exonérations fiscales ont été utilisées avec succès pour encourager l'afforestation et la reforestation, aussi bien dans les pays développés que dans les pays en voie de développement. Il faut prendre garde, toutefois, d'éviter les possibles impacts négatifs en termes environnementaux et humains de l'établissement de plantations à grande échelle.

Malgré le coût relativement faible et les nombreux avantages associés potentiels de l'afforestation et de la reforestation sous le Mécanisme pour un développement propre (MDP), peu d'activités de projets ont encore été mis en place en raison d'un certain nombre d'obstacles, y compris le temps qu'il a fallu pour aboutir à un accord et la complexité des règles des activités de projet d'afforestation et de reforestation du MDP. Pour que des projets d'atténuation forestière soient viables sur une plus grande échelle, il leur est nécessaire de disposer d'une certitude sur les engagements à venir, des règles simplifiées et uniformisées, et des réductions de coûts de transaction. La standardisation de l'évaluation des projets peut jouer un rôle important dans la résolution des incertitudes parmi les acheteurs potentiels, les investisseurs et les participants au projet (bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses) [9.6].

### Forêts et développement durable

Alors que l'évaluation du chapitre sur le secteur forestier identifie un certain nombre d'incertitudes qui subsistent à propos de l'ampleur des avantages retirés de l'atténuation et de leurs coûts, les technologies et les savoirs requis pour mettre en place les activités d'atténuation existent aujourd'hui. La foresterie peut apporter une contribution significative et durable à un portefeuille global d'atténuation, tout en atteignant aussi un large éventail d'objectifs sociaux, économiques et écologiques. Des avantages associés importants peuvent être dégagés de la considération des options d'atténuation forestière comme l'élément de plans de gestion des terres plus larges.

Les plantations peuvent contribuer positivement, par exemple, à l'emploi, à la croissance économique, aux exportations, à l'approvisionnement en énergie renouvelable et à l'allègement de la pauvreté. Dans certains cas, les plantations peuvent aussi avoir des impacts sociaux négatifs en raison de la perte de terrains pouvant servir de pâturage et de la perte de modes de vie traditionnels. L'agroforesterie peut dégager un large éventail de bénéfices économiques, sociaux et environnementaux ; probablement davantage que l'afforestation à grande échelle. Comme certains bénéfices accessoires ont tendance à se manifester à l'échelle locale plutôt qu'à l'échelle globale, leur identification et leur comptabilisation peut réduire ou compenser partiellement le coût des mesures d'atténuation (bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses) [9.7].

### Recherche, développement, déploiement, diffusion et transfert de technologie

Le déploiement, la diffusion et le transfert de technologies comme les systèmes avancés de gestion forestière, les pratiques forestières et des technologies de processus, y compris la bioénergie sont les clés de l'amélioration de la viabilité économique et sociale des différentes options d'atténuation. Les gouvernements pourraient jouer un rôle crucial en fournissant un soutien financier et technique ciblé, en promouvant la participation des communautés, des institutions et des ONG (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [9.8].

### Perspectives à long terme

Les incertitudes dans le cycle du carbone, l'incertitude liée aux impacts des changements climatiques sur les forêts et des nombreuses rétroactions dynamiques qui les accompagnent, les délais liés aux processus d'émission-séquestration, de même que les incertitudes liées aux futurs trajectoires socio-économiques (p.ex. dans quelle mesure la déforestation peut-elle être substantiellement réduite au cours des décennies à venir) peuvent causer des variations importantes dans les futures projections du bilan carbone des forêts.

Globalement, on s'attend à ce que dans le long terme les activités d'atténuation contribueront à renforcer le puits de carbone, le bilan net dépendant de la région. Les forêts boréales primaires seront soit des sources limitées soit des puits en fonction de l'effet net du renforcement de leur croissance versus la perte de matière organique dans les sols et les émissions des incendies, plus nombreux. Les forêts des régions tempérées continueront probablement à jouer un rôle de puits net, une tendance également renforcée par l'accélération de leur croissance liée aux changements climatiques. Dans les régions tropicales, on s'attend à ce que les changements d'affectation des sols dus aux humains continuent à être le moteur des dynamiques à l'œuvre pendant des décennies. Après 2040, en fonction très particulièrement de l'impact effectif des politiques ayant pour objectif la réduction de la dégradation des forêts et de la déforestation, les forêts tropicales pourraient devenir des

puits nets, selon l'influence des changements climatiques. Dans le moyen à long terme, on s'attend aussi à ce que la bioénergie commerciale prenne une importance croissante.

Le développement de stratégies régionales optimales pour l'atténuation des changements climatiques qui impliquent les forêts requerra des analyses complexes des choix (synergies et concurrence) dans l'affectation des sols entre la foresterie et les autres usages de la terre ; les choix entre la conservation de la forêt pour le stockage du carbone et d'autres services environnementaux telles la biodiversité, la conservation des bassins hydrographiques et l'utilisation durable de la forêt et de ses richesses pour approvisionner la société en fibres contenant du carbone, en bois et en ressources bioénergétiques ; et les choix entre les stratégies d'utilisation des produits du bois récoltés, avec pour objectif un stockage maximum dans des produits à longue durée de vie, le recyclage, et l'utilisation bioénergétique [9.9].

## 10 Gestion des déchets

### Situation du secteur, tendances de développement et implications

La production de déchets est liée à la population, à la concentration de population et à l'urbanisation. Le taux global de création de déchets de post-consommation se situe, selon les estimations, entre 900 et 1300 Mt/an. Le rythme s'est accéléré ces dernières années, en particulier dans les pays en voie de développement dotés d'une forte croissance démographique, économique et de l'urbanisation. Dans les pays les plus développés, l'un des objectifs actuels consiste à découpler la création de déchets des facteurs économiques tel le PIB – les tendances récentes suggèrent que les taux de création de déchets de post-consommation pourraient connaître leur pic actuellement en raison du recyclage, de la réutilisation, de la réduction des déchets à la source, et d'autres initiatives encore (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.1, 10.2].

Les déchets de post-consommation contribuent pour une petite part aux émissions de GES (<5%), le CH<sub>4</sub> de décharge représentant >50% des émissions actuelles. Les sources secondaires d'émissions sont le CH<sub>4</sub> issu des eaux usées et le N<sub>2</sub>O ; en outre, des émissions mineures de CO<sub>2</sub> sont le résultat de l'incinération de déchets contenant du carbone à l'état fossile. En général, de grandes incertitudes subsistent par rapport à la quantification des émissions directes, des émissions indirectes et des potentiels d'atténuation pour le secteur des déchets, incertitudes qu'on pourrait diminuer en appliquant des méthodes cohérentes et coordonnées de récolte et d'analyse des données au niveau national. On ne dispose actuellement pas de méthodes d'inventaires pour la quantification annuelle des émissions de GES issues du transport des déchets, ni pour les émissions annuelles de gaz fluorés provenant des déchets de post-consommation (*bon accord, nombreuses mises en*

*évidence*) [10.3].

Il est important de souligner que les déchets de post-consommation constituent une ressource importante d'énergie renouvelable qui peut être exploitée à l'aide de processus thermiques (incinération et co-combustion industrielle), via l'utilisation des gaz de décharge et de biogaz issus de la digestion anaérobie. Les déchets ont un avantage économique sur beaucoup de ressources de biomasse parce qu'ils sont régulièrement collectés aux frais de la collectivité. C'est par le truchement de processus thermiques que le contenu énergétique des déchets peut être exploité le plus efficacement : pendant la combustion, de l'énergie est directement tirée de la biomasse (produits du papier, bois, textiles naturels, aliments) et des sources de carbone fossile (matières plastiques, textiles synthétiques). En postulant une valeur calorifique moyenne de 9 GJ/t, l'ensemble des déchets du monde contiennent >8 EJ d'énergie extractible, qu'on pourrait pousser jusqu'à 13 EJ (presque 2% de la demande d'énergie primaire \$\$[mondiale]\$\$) en 2030 (accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses) [10.1]. Actuellement, plus de 130 millions de tonnes de déchets sont brûlées chaque année dans le monde, ce qui équivaut à > 1 EJ/an. L'extraction du CH<sub>4</sub> de décharge à titre de source d'énergie renouvelable a connu une exploitation commerciale depuis plus de 30 ans, avec une valeur énergétique actuelle de >0,2 EJ / an. De conserve avec les processus thermiques, les gaz de décharge et les gaz issus de la digestion anaérobie peuvent être une source locale importante d'énergie supplétive (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [10.1, 10.3].

En raison du fait que l'extraction du gaz de décharge et des mesures complémentaires (augmentation du recyclage et diminution de la mise en décharge par la mise en place de technologies alternatives) les émissions de CH<sub>4</sub> issu des décharges dans les pays développés se sont largement stabilisées. Parmi les choix de technologies matures de gestion des déchets à grande échelle permettant d'éviter ou de réduire les émissions de GES en comparaison avec la mise en décharge, on peut citer l'incinération à des fins de production énergétique et les processus biologiques tels que le compostage ou le traitement biomécanique (TBM). Cependant, dans les pays en voie de développement, les émissions de CH<sub>4</sub> augmentent car des pratiques davantage contrôlées de mise en décharge (anaérobie) se mettent en place. Cela est spécialement vrai pour les zones en processus d'urbanisation rapide où les décharges prévues comme telles représentent une stratégie de traitement des déchets plus acceptable que les décharges publiques à ciel ouvert en termes de vecteurs de maladie, d'odeurs toxiques, de combustion incontrôlée et d'émissions de polluants dans l'air, les eaux et les sols. Paradoxalement, les émissions de GES sont plus importantes lorsque la production de CO<sub>2</sub> aérobie (par combustion et par décomposition aérobie) cède la place à la production anaérobie de CH<sub>4</sub>. Dans une large mesure, il s'agit de la même transition vers des décharges sanitaires que celle qui s'est produite dans beaucoup de pays développés entre 1950 et 1970. L'augmentation des émissions de CH<sub>4</sub> peut être atténuée en accélérant l'entrée en scène de l'extraction des gaz,

à l'aide de mécanismes de Kyoto tels le MDP et la Mise en œuvre conjointe (MOC). Vers la fin octobre 2006, les projets d'extraction des gaz de décharge représentaient 12% des Unités de réduction d'émissions (URE) certifiées sous l'empire du MDP. De plus, des stratégies alternatives de gestion des déchets comme le recyclage et le compostage peuvent être mises en place dans les pays en voie de développement. Le compostage peut représenter une alternative peu chère et durable aux décharges contrôlées, particulièrement là où des stratégies technologiques plus intensives en travail et de moindre niveau technologique sont appliquées à certains flux de déchets biodégradables sélectionnés (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.3].

Les initiatives de recyclage, de réutilisation et de réduction des déchets à la source, publiques comme privées, réduisent indirectement les émissions de GES en diminuant la masse de déchets nécessitant qu'on s'en occupe. En fonction du cadre réglementaire, des politiques publiques, des marchés, des priorités économiques et des contraintes locales, les pays développés mettent en place des taux de recyclage de plus en plus hauts pour conserver les ressources, contrebalancer l'utilisation de carburants fossiles, et pour éviter la création de GES. La quantification des taux de recyclage à l'échelle mondiale n'est pas possible à ce jour en raison des différences de définition et des valeurs de référence ; cependant, on a atteint des réductions de >50%. Le recyclage pourrait être étendu dans la plupart des pays pour aboutir à des réductions supplémentaires. Dans les pays en voie de développement, puiser dans les déchets et recycler informellement sont des pratiques courantes. Par le truchement de diverses activités de diversion et de recyclage à petite échelle, les personnes qui gagnent leur vie à partir de sites de gestion des déchets décentralisés peuvent réduire significativement la masse de déchets qui nécessitent des solutions davantage centralisées. Les études indiquent que les activités de recyclage à basse technologie peuvent aussi créer des emplois d'une manière significative par l'intermédiaire de microfinancement créatif et d'autres investissements à petite échelle. Le défi consiste à fournir des conditions de travail plus sûres et plus saines que celles qui sont actuellement subies par les petits récupérateurs dans les décharges publiques non contrôlées (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.3].

Pour ce qui concerne les eaux usées, seuls 60% de la population du globe dispose de couverture sanitaire (épuration). Presque 90% de la population dans les pays développés, mais moins de 30% dans les pays en voie de développement, dispose d'installations sanitaires avancées (y compris l'épuration et le traitement des eaux usées, les fosses septiques, ou les latrines). En complément de l'atténuation des GES, un meilleur assainissement et une meilleure gestion des eaux usées débouchent sur une large palette d'avantages associés en termes de santé et d'environnement (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [10.2, 10.3].

Par rapport aussi bien à la gestion des déchets qu'à celle

des eaux usées dans les pays en voie de développement, deux contraintes-clés face au développement durable sont le manque de ressources financières et la sélection de technologies appropriées et réellement durables pour une situation donnée. Il s'agit d'un défi significatif et coûteux dans le cadre de la mise en place de la collecte des déchets et des eaux usées, du transport, du recyclage, du traitement et de la gestion des résidus dans beaucoup de pays en voie de développement. Cependant, la mise en place d'infrastructures durables pour les déchets et les eaux usées dégagent de multiples avantages associés pour contribuer à la réalisation des Objectifs de développement du Millénaire (ODM) via l'amélioration de la santé publique, la conservation des ressources hydriques, la réduction des rejets non traités dans l'air, les eaux de surface, les eaux souterraines, les sols et les zones côtières (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [10.4].

#### Tendances à l'œuvre dans les émissions

Avec un total d'émissions se fixant à 1300 MtCO<sub>2</sub>-éq / an environ pour 2005, la contribution du secteur des déchets aux émissions totales en GES des pays de l'Annexe I et des EET se monte à 2-3%, et à 4-5% pour celles des pays ne figurant pas en Annexe I (v. Tableau RT 13). Pour 2005-2020, les projections de type la-machine-continue-de-tourner indiquent que le CH<sub>4</sub> de décharge demeurera la source la plus importante, constituant 55 à 60% du total. Les émissions de CH<sub>4</sub> de décharge se stabilisent et baissent dans la plupart des pays développés en raison d'une recrudescence de l'extraction des gaz de décharge combinée aux retenues de déchets avant qu'ils aboutissent en décharge grâce au recyclage, à la réduction à la source et aux stratégies de gestion des déchets thermiques et biologiques alternatives. Cependant, les émissions de CH<sub>4</sub> de décharge augmentent dans les pays en voie de développement en raison de l'accroissement des quantités de déchets municipaux solides provenant de populations urbaines en croissance, du développement économique en accélération et, dans une certaine mesure, le remplacement des décharges publiques et des feux ouverts par des décharges contrôlées. Sans mesures complémentaires, une augmentation de 50% des émissions de CH<sub>4</sub> de décharge est projetée pour la période 2005-2020, principalement en provenance des pays ne figurant pas en Annexe I. Les émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O provenant des eaux usées des pays en voie de développement augmentent aussi rapidement avec la croissance démographique et l'urbanisation. De plus, comme les émissions provenant des eaux usées relevées dans le tableau RT 13 sont basées sur l'assainissement humain seulement et ne sont pas disponibles pour tous les pays en voie de développement, ces émissions sont sous-estimées (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.1, 10.2, 10.3, 10.4].

#### Description et évaluation des technologies et pratiques d'atténuation, options et potentiels, coûts et durabilité

Les technologies existantes de gestion des déchets peuvent atténuer les émissions de GES de ce secteur – une large palette de stratégies matures, de technicité basse à haute, efficaces

**Tableau RT 13 :** Tendances à l'œuvre dans les émissions de GES des déchets à l'aide des lignes directrices pour la tenue des inventaires de la CCNUCC de 1996 et 2006, extrapolations et projections AC\$ Affaires-courantes/la-machine-continue-de-tourner=BA. (MtCO<sub>2</sub>-éq, arrondies) [Tableau 10.3].

Source	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	Notes
CH <sub>4</sub> de décharge	550	585	590	635	700	795	910	Moyenné à l'aide des lignes directrices 1996/2006
CH <sub>4</sub> des eaux usées <sup>a)</sup>	450	490	520	590	600	630	670	lignes directrices 1996
N <sub>2</sub> O des eaux usées <sup>a)</sup>	80	90	90	100	100	100	100	lignes directrices 1996
CO <sub>2</sub> d'incinération	40	40	50	50	50	60	60	lignes directrices 2006
Total	1120	1205	1250	1375	1450	1585	1740	

**Note :**

<sup>a)</sup> Les émissions en provenance des eaux usées sont sous-estimées – v. texte.

d'un point de vue environnemental sont commercialement disponibles pour atténuer les émissions et dégager des avantages associés pour la santé et la sécurité publiques, la protection des sols, la prévention de la pollution et l'approvisionnement énergétique local. Collectivement, ces technologies peuvent réduire directement les émissions de GES (via l'extraction et l'utilisation du CH<sub>4</sub> de décharge, des pratiques de décharge améliorées, la gestion contrôlée des eaux usées, l'utilisation de biogaz de digestion anaérobie) ou éviter de générer une quantité significative de GES (via le compostage contrôlé des déchets organiques, l'incinération de dernière génération, l'extension de la couverture de l'assainissement). En outre, la réduction des déchets à la source, le recyclage et la réutilisation représentent un potentiel important et croissant de réduction indirecte des émissions de GES via la conservation des matériaux bruts, l'amélioration de l'efficacité énergétique en termes de ressources et l'évitement des combustibles fossiles. Pour les pays en voie de développement, la gestion des déchets responsable du point de vue environnemental, à un niveau technologique approprié, promeut le développement durable et améliore la santé publique (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [10.4].

Parce que les décisions de gestion des déchets sont souvent prises localement sans quantification correspondante de l'atténuation des GES, l'importance du secteur des déchets dans la réduction des émissions de GES au niveau mondial a été sous-estimée (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.1 ; 10.4]. Des stratégies flexibles et des

incitations financières peuvent étendre les options de gestion de déchets pour aboutir à des objectifs d'atténuation des GES – dans le contexte de la gestion intégrée des déchets, les décisions technologiques locales sont fonction de nombreuses variables en concurrence, y compris la quantité et les caractéristiques des déchets, le coût et les questions de financement, les contraintes réglementaires et les nécessités infrastructurelles, y compris la superficie de terrain disponible et les considérations liées à la collecte et au transport. Une estimation de cycle de vie (ECV) peut fournir des outils de soutien à la décision (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [10.4].

Les émissions de CH<sub>4</sub> de décharge sont directement réduites par l'intermédiaire de l'extraction contrôlée des gaz et de systèmes de récupération constitués de puits verticaux et/ou de collecteurs horizontaux. De plus, les gaz de décharge contrebalancent l'usage des combustibles fossiles pour le chauffage des processus industriels ou commerciaux, pour la production d'électricité sur site ou en tant que matière première pour synthétiser des combustibles de gaz naturel. La récupération commerciale du CH<sub>4</sub> de décharge s'est mise en place à plein régime depuis 1975 avec l'utilisation documentée, en 2003, de 1150 centrales récupérant 105 MtCO<sub>2</sub>-éq / an. En raison du fait qu'il y a aussi de nombreux projets qui brûlent les gaz en torchère sans les utiliser, la récupération totale serait probablement le double de ce chiffre au moins (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.1 ; 10.4]. Une régression linéaire utilisant les données historiques allant du

**Tableau RT 14 :** Intervalles du potentiel économique d'atténuation pour les émissions régionales de CH<sub>4</sub> de décharge à divers catégories de coûts en 2030, v. les Notes [Tableau 10.5].

Région	Emissions projetées en 2030 (MtCO <sub>2</sub> -éq)	Potentiel d'atténuation économique total à < 100 US\$/tCO <sub>2</sub> -éq (MtCO <sub>2</sub> -éq)	Potentiel d'atténuation économique (MtCO <sub>2</sub> -éq) À divers niveaux de coût du carbone (US\$/tCO <sub>2</sub> -éq)			
			<0	0-20	20-50	50-100
OCDE	360	100-200	100-120	20-100	0-7	1
EET	180	100	30-60	20-80	5	1-10
Hors OCDE	960	200-700	200-300	30-100	0-200	0-70
Monde	1500	400-1000	300-500	70-300	5-200	10-70

**Notes :**

1. Les coûts et les potentiels de l'atténuation des eaux usées ne sont pas disponibles.
2. Les chiffres régionaux sont arrondis pour refléter l'incertitude des estimations et leur total peut ne pas être égal au chiffre mondial.
3. Le piégeage du carbone en décharge n'est pas pris en considération.
4. Le déroulement des mesures qui limitent l'utilisation des décharges affecte le potentiel annuel d'atténuation en 2030. Les limites supérieures postulent que le placement en décharges est limité, dans les années à venir, à 15% des déchets produits à l'échelle mondiale. La limite inférieure reflète un déroulement plus réaliste de mise en place des mesures qui réduisent la mise en décharge.

début des années 1980 à 2003 indiquent un rythme de croissance du CH<sub>4</sub> de décharge d'environ 5% par an. Outre la récupération du gaz de décharge, la continuation du développement et la mise en place de « couvertures biologiques » des décharges peut représenter une stratégie biologique complémentaire à bas coût pour atténuer les émissions puisque les émissions de CH<sub>4</sub> de décharge (et de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) sont aussi réduites par l'oxydation microbienne aérobie dans les sols de couverture de décharge (bon accord, nombreuses mises en évidence) [10.4].

L'incinération et la co-combustion industrielles à des fins de valorisation énergétique des déchets dégage des avantages associés significatifs en termes d'énergie renouvelable et de commutation des combustibles fossiles pour >600 centrales dans le monde, tout en produisant des émissions de GES très faibles par rapport aux décharges. Les processus thermiques pourvus de contrôles d'émissions avancés sont une technologie qui a fait ses preuves, mais qui reste plus coûteuse que la mise en décharge avec extraction des gaz de décharge (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.4].

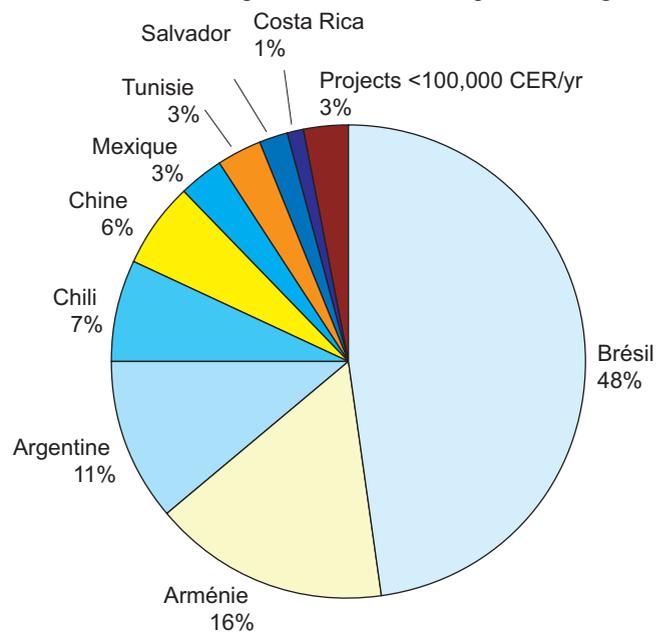
Les processus biologiques contrôlés peuvent aussi être à la source d'importantes stratégies d'atténuation des GES, de préférence lorsqu'ils se basent sur des flux de déchets séparés à la source. Le compostage aérobie des déchets évite de générer des GES et c'est une stratégie adéquate pour beaucoup de pays développés et de pays en voie de développement, en tant que processus isolé ou en faisant partie intégrante d'un traitement biomécanique. Dans de nombreux pays en voie de développement, notamment la Chine et l'Inde, la digestion anaérobie à petite échelle et basse technicité a aussi été pratiquée depuis des décennies. Comme les centrales d'incinération et les stations de compostage de haute technologie se sont montrées non durables dans un certain nombre de pays en voie de développement, le compostage ou la digestion anaérobie à plus faible niveau de technicité peuvent être mis en place pour fournir des solutions durables de gestion des déchets (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.4].

Pour 2030, le potentiel économique de réduction total pour les émissions de CH<sub>4</sub> des déchets mis en décharge à des coûts de <20 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq va de 400 à 800 MtCO<sub>2</sub>-éq. De ce total, 300 à 500 MtCO<sub>2</sub>-éq / an ont des coûts négatifs (Tableau RT 14). À long terme, si le prix de l'énergie continue à monter, il y aura des changements plus profonds dans les stratégies de gestion des déchets liées à l'énergie et à la récupération des matériaux, aussi bien dans les pays développés que dans les pays en voie de développement. Les processus thermiques, qui montrent des coûts unitaires supérieurs à ceux de la mise en décharge, deviennent plus viables à mesure que le prix de l'énergie monte. Parce que les décharges continueront à produire du CH<sub>4</sub> pour de nombreuses décennies, les processus thermiques et biologiques sont complémentaires pour améliorer l'extraction de gaz de décharge sur des périodes plus brèves (*bon accord, mises en évidence limitées*) [10.4].

Pour les eaux usées, l'amélioration du niveau général de l'assainissement dans les pays en voie de développement peut dégager de multiples avantages pour l'atténuation des GES, l'amélioration de la santé publique, la conservation des ressources hydriques et la réduction des rejets non traités dans l'eau et dans les sols. Historiquement, l'assainissement urbain dans les pays développés s'est concentré sur des centrales d'épuration et de traitement des eaux usées centralisées, qui sont trop chères pour les zones rurales où la densité de population est moindre et qui peuvent ne pas être pratiques à mettre en place dans les zones périurbaines à développement rapide et à haute densité de population. On a montré qu'une combinaison de technologies à bas coût avec des efforts concentrés pour gagner l'acceptation, la participation et la gestion de la communauté peut étendre avec succès la zone couverte par l'assainissement. Les eaux usées sont aussi une ressource secondaire d'eau pour les pays qui en manquent, là où la réutilisation et le recyclage de l'eau pourraient aider de nombreux pays, développés comme en voie de développement, qui souffrent d'intermittences dans leur approvisionnement en eau. Ces mesures encouragent aussi des centrales de traitement des eaux usées plus petites, avec des charges en matières nutritives moindres et des émissions de GES plus faibles en termes relatifs. Aucune estimation des coûts et des potentiels globaux ou régionaux de l'atténuation des eaux usées n'est disponible actuellement (*bon accord, abondance de preuves*) [10.4].

#### Efficacité et expérience des politiques climatiques, potentiels, obstacles et questions d'opportunité / de mise en place

Comme le CH<sub>4</sub> de décharge est le principal GES de ce secteur, la mise en place de standards qui encouragent ou



**Figure RT 25** : Distribution des projets MDP de gaz de décharge, basée sur les URE annuelles moyennes pour les projets enregistrés à la fin octobre 2006 [Figure 10.9].  
**Note** : Dont 11 MtCO<sub>2</sub> éq/an d'URE de CH<sub>4</sub> de décharge sur un total de MtCO<sub>2</sub> éq/an. Les projets de <100'000 URE/an sont situés en Israël, Bolivie, Bangladesh et Malaisie.

obligent à l'extraction du CH<sub>4</sub> de décharge est une stratégie de premier plan. Dans les pays développés, la récupération du CH<sub>4</sub> a augmenté en raison de réglementations directes qui rendent le captage du gaz de décharge obligatoire, de mesures volontaires comprenant l'échange de crédits d'émissions de GES et des incitations financières (y compris les crédits d'impôt) pour l'énergie renouvelable ou le courant vert. Dans les pays en voie de développement, on anticipe que la récupération de CH<sub>4</sub> de décharge augmentera au cours des deux décennies à venir à mesure que les décharges contrôlées deviennent la principale stratégie de gestion des déchets. La MOC et le MDP ont déjà démontré leur fonction d'utiles mécanismes pour générer des investissements externes en provenance des pays industrialisés, particulièrement pour les projets de récupération des gaz de décharge pour lesquels le manque de financement est un obstacle majeur. Les bénéfices ont deux volets : réduction des émissions de GES avec dégagement d'énergie en provenance du CH<sub>4</sub> de décharge plus meilleure conception et gestion des décharges. Actuellement (fin octobre 2006), sous le MDP, les URE moyennes pour les 33 projets de récupération des gaz de décharge constituent environ 12% du total. La plupart de ces projets (Figure RT 25) sont localisés dans les pays d'Amérique Latine (72% des URE de gaz de décharge), le Brésil figurant en première place (9 projets, 48% des URE) (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.4].

Dans l'UE, la récupération de gaz de décharge est obligatoire à certains endroits, et la mise en décharge des déchets organiques est en train d'être stoppée par la directive sur les décharges (1999/31/CE). Cette directive impose une réduction de 65% en 2016 par rapport à 1995 de la masse des déchets organiques biodégradables mise en décharge chaque année. Les déchets ménagers sont donc acheminés vers l'incinération et les traitements biomécaniques (TBM) avant la mise en décharge pour récupérer les matières recyclables et réduire le contenu carboné. En 2002, les centrales de production énergétique à partir de déchets dans l'UE ont généré environ 40 millions de GJ d'énergie électrique et 110 millions de GJ d'énergie thermique, alors qu'entre 1990 et 2002, les émissions de CH<sub>4</sub> de décharge dans l'UE ont baissé de presque 30% à cause de la directive sur les décharge et des législations nationales correspondantes (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [10.4, 10.5].

**Politiques intégrées et politiques non climatiques affectant les émissions de gaz à effet de serre: atténuation des GES en tant qu'avantage associé des politiques publiques et des réglementations relatives aux déchets; rôle du développement durable**

L'atténuation des GES n'est souvent pas le premier mobile, mais elle est elle-même un avantage associé des politiques publiques et des mesures issues du secteur des déchets qui traitent de larges objectifs environnementaux, qui encouragent la valorisation énergétique des déchets, la réduction de l'utilisation des matériaux vierges, qui réduisent l'éventail des choix pour l'élimination finale des déchets, qui promeuvent le recyclage des déchets et la réutilisation et encouragent la réduction des déchets à

la source. Les politiques publiques et les mesures qui promeuvent la réduction à la source, la réutilisation et le recyclage réduisent indirectement les émissions de GES provenant des déchets. Ces mesures comprennent la responsabilité étendue des producteurs, la taxation à l'unité (ou JP : « jeteur-payeur ») et les taxes sur les décharges. Parmi les autres mesures, on peut citer la collecte séparée et efficace des matières recyclables avec aussi bien les systèmes de taxation à l'unité que de taxes sur les décharges. Certains pays asiatiques encouragent « l'économie circulaire » ou « la société d'un cycle de la matière saine » vue comme une nouvelle stratégie de développement dont le concept-clé est le flux circulaire (fermé) de matériaux et l'utilisation répétée à de multiples reprises de matériaux bruts et d'énergie. A cause du manque de données, des différences dans les valeurs de référence et d'autres conditions régionales encore, il n'est actuellement pas possible de quantifier l'impact effectif de ces stratégies au niveau global dans la perspective de la réduction des émissions de GES (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.5].

Dans de nombreux pays, les politiques publiques de gestion des déchets et des eaux usées sont très liées aux politiques environnementales et aux normes liées à la qualité de l'air, de l'eau et des sols de même qu'aux initiatives liées aux énergies renouvelables. Les programmes d'énergies renouvelables comprennent des normes de production d'électricité à partir de sources renouvelables, des obligations faites aux installations publiques d'acheter du courant de petits producteurs renouvelables, des crédits d'impôt en faveur des énergies renouvelables, et des initiatives de courant vert, qui permettent aux consommateurs de choisir des fournisseurs renouvelables. En général, la décentralisation des installations de production énergétique par l'intermédiaire des énergies renouvelables fournit de fortes incitations à produire de l'énergie à partir de CH<sub>4</sub> de décharge et de processus thermiques de valorisation énergétique des déchets (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [10.5].

Bien que les instruments politiques du secteur des déchets soient principalement composés de réglementations, il existe aussi des mesures économiques dans un certain nombre de pays pour encourager certaines technologies de gestion des déchets, de recyclage et de réduction à la source. Ces mesures comprennent des subsides aux incinérateurs ou des exonérations fiscales pour la valorisation énergétique des déchets. Les processus thermiques peuvent exploiter la valeur énergétique des déchets de post-consommation avec la plus grande efficacité, mais ils doivent comprendre des contrôles des émissions pour limiter les émissions de polluants atmosphériques secondaires. Les subventions à la construction d'incinérateurs ont été mises en place dans de nombreux pays, généralement en combinaison avec des standards d'efficacité énergétique. L'exonération fiscale de l'énergie créée par les incinérateurs de déchets et celle de l'élimination des déchets avec récupération d'énergie ont aussi été adoptées (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [10.5].

Le avantages associés de la collecte efficace et durable des déchets et des eaux usées, leur transport, leur recyclage, leur

traitement et leur élimination comprennent l'atténuation des GES, une meilleure santé publique, la conservation des ressources hydriques et une réduction des rejets de polluants non traités dans l'air, les sols, les eaux de surface et dans les eaux souterraines. En raison du fait qu'il existe de nombreux exemples d'usines abandonnées qui étaient dédiées au traitement des déchets et des eaux usées dans les pays en voie de développement, il faut souligner qu'un aspect-clé du développement durable est la sélection des technologies adéquates qui peuvent être maintenues dans le cadre des infrastructures locales spécifiques (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [10.5].

### Recherche, développement et diffusion de la technologie

En règle générale, le secteur des déchets est caractérisé par des technologies matures qui nécessiteront une poursuite de leur diffusion dans les pays en voie de développement. Parmi les avancées en cours de développement, on peut citer :

- Les décharges : la mise en place de systèmes de captage des gaz optimisés tôt dans le développement des décharges améliore l'efficacité du captage des gaz à long terme. L'optimisation de la biodégradation en décharge (bioréacteurs) pour fournir un meilleur contrôle du processus et des durées de vie de la dégradation des déchets plus courtes. La construction de « couvertures biologiques » des décharges qui optimisent l'oxydation microbienne du CH<sub>4</sub> et des COVNM pour minimiser les émissions.
- Processus biologiques : pour les pays en voie de développement, stratégies durables et abordables, à basse technicité, de compostage et de digestion anaérobie pour les déchets biodégradables triés à la source.
- Processus thermiques : technologies avancées de valorisation énergétique qui peuvent montrer une efficacité thermique et électrique plus importante que celle des incinérateurs actuels (10-20% d'efficacité électrique nette). Mise en place accélérée de co-combustion industrielle utilisant des matières premières issues de diverses parties des déchets pour remplacer les combustibles fossiles. Gazéification et pyrolyse des fractions de déchets triées à la source et combinaison avec des technologies avancées et à bas coût de production de combustibles et de matières premières.
- Recyclage, réutilisation, réduction à la source, prétraitement (processus de traitement biomécanique avancé) : innovations dans la technologie du recyclage et amélioration des processus aboutissant à une baisse de l'usage des matériaux nouveaux, à la conservation de l'énergie, et au remplacement des combustibles fossiles. Développement de solutions de recyclage innovantes mais de basse technicité pour les pays en voie de développement.
- Eaux usées : nouvelles conceptions écologiques à basse technicité pour une amélioration de l'assainissement au niveau des ménages et des petites communautés, ce qui peut être mis en place de façon durable pour un traitement des eaux usées efficace à petite échelle et pour la conservation de l'eau, aussi bien dans les pays développés que dans les pays en voie de développement (*bon accord, mises en évidence limitées*) [10.5 ; 10.6].

### Perspectives à long terme, transitions systémiques

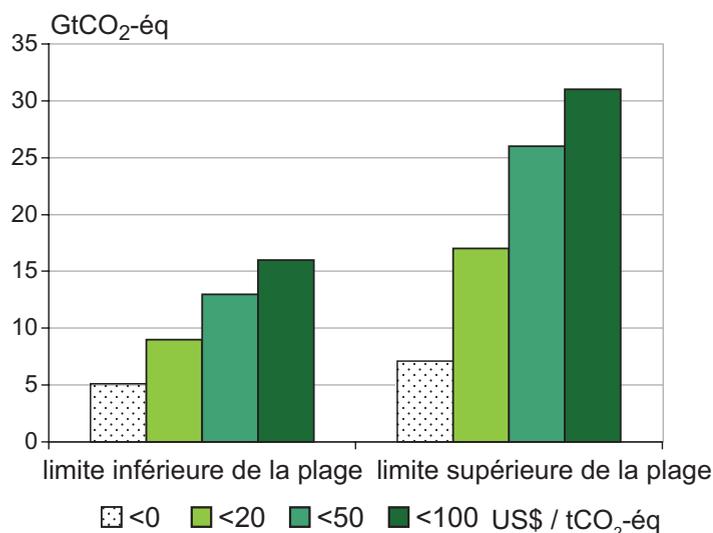
Pour minimiser les futures émissions de GES du secteur des déchets, il est important de préserver les options locales pour toute une palette de stratégies de gestion intégrées et durables. De plus, les réductions primaires dans la création de déchets par le recyclage, la réutilisation, la réduction à la source peuvent dégager des avantages substantiels pour la conservation des matériaux bruts et de l'énergie. Sur le long terme, parce que les décharges continueront à produire du CH<sub>4</sub> pendant des décennies, la récupération du gaz de décharge sera nécessaire dans les décharges existantes même si de nombreux pays laissent cette manière de gérer les déchets pour se tourner vers des technologies non liées aux décharges comme l'incinération, la co-combustion industrielle, le traitement biomécanique, le compostage à grande échelle et la digestion anaérobie. De plus, les décharges « de débordement » resteront un composant crucial de la planification des déchets municipaux solides. Dans les pays en voie de développement, les investissements dans l'amélioration de la gestion des déchets et des eaux usées dégagent des avantages associés significatifs en termes de santé et de sécurité publiques, de protection de l'environnement et de développement des infrastructures.

## 11 Options d'atténuation intersectorielles

### Option d'atténuation à travers les différents secteurs

Alors que de nombreuses options technologiques, comportementales et politiques parmi celles qui sont mentionnées dans les chapitres 4 à 10 concernent des secteurs spécifiques, certaines technologies et certaines politiques participent à de nombreux secteurs; par exemple, l'utilisation de la biomasse et la commutation de combustibles gourmands en carbone au gaz affecte l'approvisionnement énergétique, les transports, le secteur industriel et celui de la construction. Outre les potentiels issus des technologies communes, ces exemples mettent aussi en évidence les possibles concurrences pour les ressources, comme les finances et le soutien à la R&D [11.2.1].

La compilation ascendante des potentiels d'atténuation par secteur est compliquée par les interactions et les débordements entre secteurs, à travers le temps, les régions et les marchés. Une série de procédures formelles a été utilisée pour éliminer les doublons possibles dans la comptabilisation, comme la réduction des capacités nécessaires pour le secteur de l'énergie en raison des économies d'électricité réalisées dans les secteurs industriels et de la construction. Une telle intégration des potentiels sectoriels est nécessaire pour faire la somme des évaluations sectorielles présentées dans les chapitres 4 à 10. L'incertitude du résultat est influencée par les questions de comparabilité entre les calculs sectoriels, par la différence de couverture entre les secteurs (le secteur des transports par exemple) et l'agrégation elle-même, dans laquelle les principales interactions directes entre secteurs a été prise en compte [11.3.1].

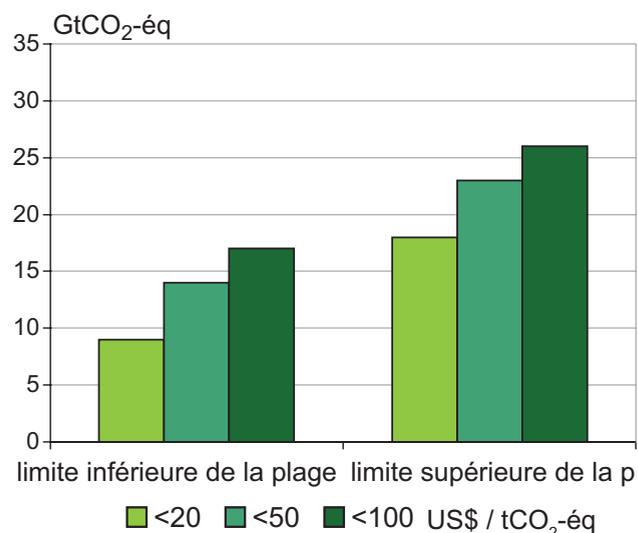


**Figure RT 26A :**  
Potentiel économique mondial d'atténuation en 2030, selon les estimations ascendantes. Données tirées du Tableau RT 15. [Figure 11.3]

Les estimations descendantes ont été dérivées des scénarios de stabilisation, c'est-à-dire des processus aboutissant à la stabilisation de la concentration des GES atmosphériques à long terme [3.6].

Les figures RT 26 et RT 27 montrent que les estimations locales mettent l'accent sur les occasions d'options sans regrets dans de nombreux secteurs, une estimation ascendante de tous les secteurs vers 2030 arrivant à environ 6 GtCO<sub>2</sub>-ék à des coûts négatifs, c'est-à-dire un bénéfice net. Une large part des options sans regrets se situe dans le secteur de la construction. Le total des options ascendantes à bas coût (sans regrets et autres options coûtant moins que 20 US\$/tCO<sub>2</sub>-ék) se situe autour de 13 GtCO<sub>2</sub>-ék (les intervalles sont traités ci-dessous). Il existe encore d'autres potentiels ascendants d'environ 6 et 4 GtCO<sub>2</sub>-ék pour des coûts supplémentaires de <50 et 100 US\$/tCO<sub>2</sub>-ék respectivement (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [11.3.1].

Il y a plusieurs qualifications de ces estimations outre celles qui sont mentionnées ci-dessus. En premier lieu, dans les estimations ascendantes, une série d'options de réduction d'émissions, principalement issues de la cogénération, sont exclues car la littérature existante n'a pas permis une évaluation fiable. On estime que les potentiels ascendants sont ainsi sous-estimés de 10 à 15%. En second lieu, les chapitres identifient un certain nombre de sensibilités-clés qui n'ont pas été quantifiées, en lien avec les prix de l'énergie, les taux d'escompte et la mise à l'échelle des résultats régionaux pour les options agricoles et forestières. Troisièmement, on manque d'estimations pour beaucoup de pays EET et une fraction substantielle de la région hors OCDE / hors EET [11.3.1].



**Figure RT 26B :**  
Potentiel économique mondial d'atténuation en 2030, selon les estimations descendantes. Données tirées du Tableau RT 16. [Figure 11.3]

Les estimations des potentiels à des prix du carbone <20 US\$/tCO<sub>2</sub>-ék sont plus faibles que les estimations ascendantes du TRE qui avaient été évaluées pour des prix du carbone <27 US\$/tCO<sub>2</sub>-ék, en raison de la meilleure information contenue dans la littérature récente (*bon accord, nombreuses mises en évidence*).

Les tableaux RT 16 et 17 montrent que le potentiel ascendant total est comparable à celui des résultats des modèles pour 2030 issus de modèles descendants, comme rapport dans le chapitre 3.

Au niveau sectoriel, on trouve des différences plus importantes entre les chiffres ascendants et descendants, principalement parce que les définitions des secteurs dans les modèles descendants diffèrent souvent de celles qui sont employées dans les évaluations descendantes (Tableau RT 17). Bien qu'il y ait de légères différences entre les valeurs de référence postulées pour les estimations ascendantes et descendantes, les résultats sont assez proches pour fournir une estimation solide du potentiel économique d'atténuation total vers 2030. Le potentiel d'atténuation à des prix du carbone de <100 US\$/tCO<sub>2</sub>-ék est d'environ 20 à 50% des émissions de référence de 2030 (*bon accord, nombreuses mises en évidence*).

Le tableau RT 17 montre que pour l'analyse du site d'émission<sup>18</sup>, une grande partie du potentiel d'atténuation à long terme réside dans le secteur de l'approvisionnement énergétique : Toutefois, pour une analyse du secteur d'utilisation finale comme il a été utilisé dans les résultats de la figure RT 27, le potentiel le plus important réside dans les

<sup>18</sup> Dans une analyse des débits d'émission, les émissions provenant de l'usage de l'électricité sont attribuées au secteur de la distribution d'énergie. Dans une analyse du secteur de l'utilisation finale, les émissions d'électricité sont attribuées au secteur de l'utilisation finale y relatif (particulièrement pertinent pour l'industrie et la construction).

**Tableau RT 15 :** Potentiel économique mondial d'atténuation en 2030, selon les estimations ascendantes

Coût du carbone (US\$/tCO <sub>2</sub> -éq)	Potentiel économique (GtCO <sub>2</sub> -éq/an)	Réduction relative au RSSE A1 B (68 GtCO <sub>2</sub> -éq/an) (%)	Réduction relative au RSSE B2 (49 GtCO <sub>2</sub> -éq/an) (%)
0	5-7	7-10	10-14
20	9-17	14-25	19-35
50	13-26	20-38	27-52
100	16-31	23-46	32-63

**Tableau RT 16 :** Potentiel économique mondial d'atténuation en 2030, selon les estimations descendantes.

Coût du carbone (US\$/tCO <sub>2</sub> -éq)	Potentiel économique (GtCO <sub>2</sub> -éq/an)	Réduction relative au RSSE A1 B (68 GtCO <sub>2</sub> -éq/an) (%)	Réduction relative au RSSE B2 (49 GtCO <sub>2</sub> -éq/an) (%)
20	9-18	13-27	18-37
50	14-23	21-34	29-47
100	17-26	25-38	35-53

secteurs de la construction et de l'agriculture. Pour l'agriculture et le secteur forestier, les estimations descendantes sont plus basses que celles qui proviennent des études ascendantes. Cela est dû au fait que ces secteurs ne sont généralement pas bien couverts par les modèles descendants. Les estimations issues de l'approvisionnement énergétique et de l'industrie dans les modèles descendants sont généralement plus hautes que celles qui proviennent des évaluations ascendantes (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [11.3.1].

Les options bioénergétiques sont importantes pour de nombreux secteurs jusqu'en 2030, avec un potentiel de croissance substantiel après cette date, bien qu'aucune étude complète et intégrée ne soit disponible pour les bilans offre – demande. Les pré-conditions-clés pour ce genre de contributions sont le développement de capacité de biomasse (cultures énergétiques) en équilibre avec des investissements dans les pratiques agricoles, les capacités logistiques et les marchés, de même que la commercialisation d'unités de production de biocarburants de seconde génération. La production et l'usage durables de biomasse pourrait assurer que les questions liées à la compétition pour les terres, les ressources alimentaires, la biodiversité et les impacts socio-économiques ne créent pas d'obstacles (*bon accord, mises en évidence limitées*) [11.3.1.4].

Outre les options d'atténuation mentionnées dans les chapitres sectoriels (4-10), on a mis en avant des solutions de géo-ingénierie à la recrudescence de l'effet de serre. Cependant, les options qui consistent par exemple à soustraire le CO<sub>2</sub> directement de l'air, par fertilisation ferreuse des océans, ou de bloquer le rayonnement solaire, restent hautement spéculatives et peuvent présenter des risques d'effets collatéraux inattendus. Bloquer la lumière du soleil n'a pas d'impact sur la hausse des niveaux de CO<sub>2</sub> atmosphérique à laquelle on s'attend, mais cela pourrait réduire ou éliminer le réchauffement correspondant. Cette déconnexion du lien entre la concentration en CO<sub>2</sub> et

les températures mondiales pourrait avoir des conséquences bénéfiques, par exemple, en augmentant la productivité de l'agriculture et de la foresterie (tant que la fertilisation par le CO<sub>2</sub> se produit) mais elle n'atténue ni ne traite les autres impacts telle l'acidification accélérée des océans. Des estimations de coûts détaillées de ces options n'ont pas été publiées et elles ne disposent pas de cadre institutionnel clair pour leur mise en place (*accord moyen, mises en évidence limitées*) [11.2.2].

#### Coûts de l'atténuation intersectorielle et coûts macro-économiques

On s'attend à ce que les coûts de mise en place du Protocole de Kyoto soient bien moindres que les estimations du TER par suite du refus des Etats-Unis de ratifier le Protocole. En utilisant complètement les mécanismes flexibles de Kyoto, on estime que les coûts se monteront à moins de 0,05% du PIB de l'Annexe B (hors Etats-Unis) (Annexe B TRE: 0,1-1,1%). Sans les mécanismes flexibles, on estime aujourd'hui les coûts à moins de 0,1% (TRE 0,2-2%) (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [11.4].

Les études qui modélisent l'atténuation après 2012 ont été évaluées en fonction de leurs effets sur la diminution du CO<sub>2</sub> vers 2030, le coût du carbone nécessaire et leurs effets sur le PIB ou le PNB (pour les effets à long terme de la stabilisation après 2030, voir le chapitre 3). Pour les processus de Catégorie IV<sup>19</sup> (Stabilisation à environ 650 ppm CO<sub>2</sub>-éq) avec une baisse du CO<sub>2</sub> de moins de 20% en dessous de la situation de référence et jusqu'à un coût du carbone de 25 \$US/tCO<sub>2</sub>, les études laissent à penser que le produit mondial brut serait, au pire, d'environ 0,7% inférieur à la situation basale vers 2030, ce qui est cohérent avec la médiane de 0,2% et l'intervalle du 10e au 90e percentile, soit -0,6 à 1,2% pour tous les scénarios cités au chapitre 3.

Les effets sont plus incertains pour les modèles de

<sup>19</sup> V. le chapitre 3 pour une définition des processus de catégorie III et IV.

**Tableau RT 17 :** Potentiel économique d'atténuation sectorielle vers 2030; comparaison d'études ascendantes [issues du Tableau 11.] et descendantes [issues de la Section 3.6] [Tableau 11.5].

Ch. du Rapport	Secteurs	Potentiel sectoriel ("ascendant") vers 2030 (GtCO <sub>2</sub> -éq/an)				Photographie de l'atténuation vers 2030, selon le modèle à l'échelle de l'économie ("descendant") (GtCO <sub>2</sub> -éq/an)	
		Affectation sectorielle pour l'utilisation finale (affectation des économies d'électricité aux secteurs d'utilisation finale)		Affectations au site d'émissions (réduction d'émissions des économies d'électricité d'utilisation finales allouées au secteur de l'approvisionnement énergétique)		Faible	Haut
		Carbon price <20 US\$/tCO <sub>2</sub> -éq					
		Faible	Haut	Faible	Haut		
4	Approvisionnement & conversion énergétiques	1.2	2.4	4.4	6.4	3.9	9.7
5	Transports	1.3	2.1	1.3	2.1	0.1	1.6
6	Construction	4.9	6.1	1.9	2.3	0.3	1.1
7	Industrie	0.7	1.5	0.5	1.3	1.2	3.2
8	Agriculture	0.3	2.4	0.3	2.4	0.6	1.2
9	Foresterie	0.6	1.9	0.6	1.9	0.2	0.8
10	Déchets	0.3	0.8	0.3	0.8	0.7	0.9
11	Total	9.3	17.1	9.1	17.9	8.7	17.9
coût du carbone <50 US\$/tCO <sub>2</sub> -éq							
4	Approvisionnement & conversion énergétiques	2.2	4.2	5.6	8.4	6.7	12.4
5	Transports	1.5	2.3	1.5	2.3	0.5	1.9
6	Construction	4.9	6.1	1.9	2.3	0.4	1.3
7	Industrie	2.2	4.7	1.6	4.5	2.2	4.3
8	Agriculture	1.4	3.9	1.4	3.9	0.8	1.4
9	Foresterie	1.0	3.2	1.0	3.2	0.2	0.8
10	Déchets	0.4	1.0	0.4	1.0	0.8	1.0
11	Total	13.3	25.7	13.2	25.8	13.7	22.6
coût du carbone <100 US\$/tCO <sub>2</sub> -éq							
4	Approvisionnement & conversion énergétiques	2.4	4.7	6.3	9.3	8.7	14.5
5	Transports	1.6	2.5	1.6	2.5	0.8	2.5
6	Construction	5.4	6.7	2.3	2.9	0.6	1.5
7	Industrie	2.5	5.5	1.7	4.7	3.0	5.0
8	Agriculture	2.3	6.4	2.3	6.4	0.9	1.5
9	Foresterie	1.3	4.2	1.3	4.2	0.2	0.8
10	Déchets	0.4	1.0	0.4	1.0	0.9	1.1
11	Total	15.8	31.1	15.8	31.1	16.8	26.2

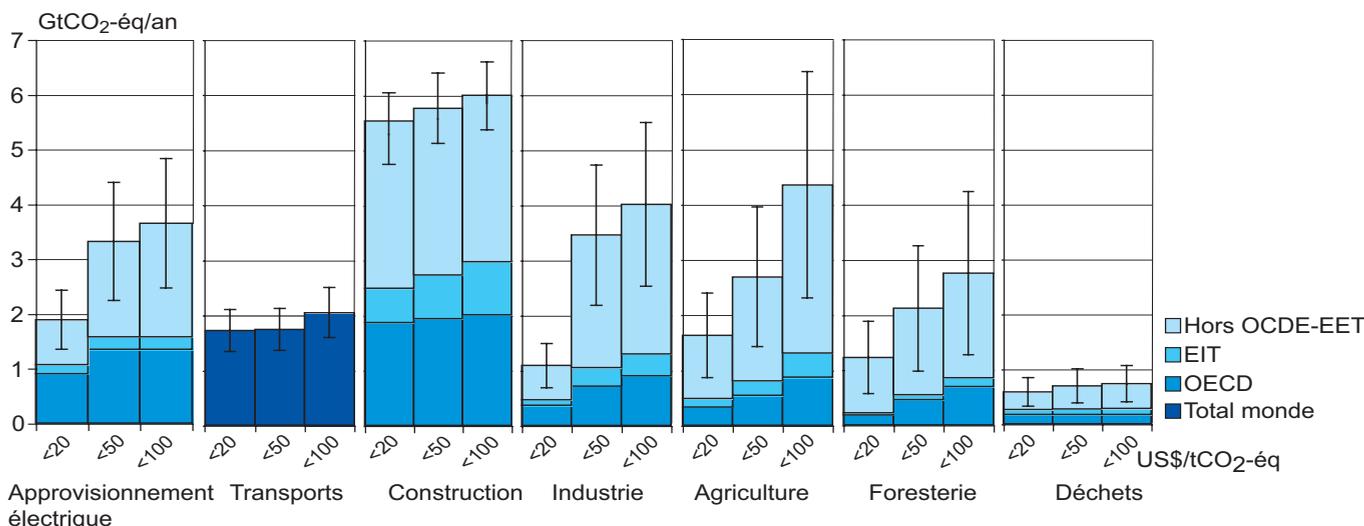
Sources : Tableaux 3.16, 3.17 et 11.3

V. les notes des Tableaux 3.16, 3.17 et 11.3, et l'annexe 11.1.

développement plus astreignants en Catégorie III (stabilisation autour de 550 ppm CO<sub>2</sub>-éq) avec une baisse du CO<sub>2</sub> de moins de 40% et un coût du carbone allant jusqu'à 50 US\$/tCO<sub>2</sub>, la plupart des études suggérant des coûts inférieurs à 1% du produit mondial brut, ce qui est cohérent avec la médiane de 0,6% et l'intervalle des 10e au 90e percentile de 0 à 2,5% pour tout le lot du Chapitre 3. Encore une fois, les estimations dépendent largement des approches et des postulats. Les rares études comportant des valeurs de référence qui requièrent des réductions de CO<sub>2</sub> plus importantes pour atteindre leurs objectifs requièrent aussi des coûts du carbone plus élevés et la plupart rapportent des coûts plus importants pour le PIB. Pour ce qui concerne les études des catégories I et II (stabilisation entre

445 et 535 ppm CO<sub>2</sub>-éq), les coûts sont inférieurs à une perte de 3 points de PIB, mais le nombre d'études est relativement restreint et elles utilisent généralement des valeurs de référence basses. Les estimations les plus basses des études ici évaluées, comparées au lot complet rapporté au chapitre 3, proviennent principalement d'une plus grande partie d'études qui permettent une innovation technologique plus avancée, déclenchée par des politiques publiques, particulièrement pour les scénarios d'émissions les plus astreignants (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [11.4].

Toutes les approches indiquent qu'il n'existe pas de secteur ou de technologie isolée qui pourrait traiter le défi de l'atténuation



**Figure RT 27 :** estimation du potentiel économique sectoriel d'atténuation mondiale pour différentes régions en fonction du coût du carbone en 2030, selon les études ascendantes, en comparaison avec les valeurs de références en postulées dans l'évaluation du secteur. On trouvera une explication complète de la dérivation du chiffre en section 11.3.

**Notes :**

1. Les plages de données pour les potentiels économiques mondiaux tels qu'ils ont été estimés pour chaque secteur sont représentées par des lignes verticales. Les plages de données sont basées sur l'allocation des émissions en utilisation finale, ce qui signifie que les émissions dues à l'utilisation de l'électricité sont comptabilisées dans les secteurs d'utilisation finale et non dans le secteur de la production énergétique.
2. L'estimation des potentiels a été restreinte par la disponibilité des études, particulièrement pour les plus hauts niveaux de coût du carbone.
3. Les secteurs utilisent différentes valeurs de référence. Pour l'industrie, on a utilisé les valeurs de référence RSSE B2, pour la production et le transport de l'énergie, on a utilisé les valeurs de référence WEO de 2004 ; le secteur de la construction se base sur des valeurs de référence situées entre les RSSE B2 et A1B ; pour les déchets, les facteurs du RSSE A1B ont été utilisés pour construire une valeur de référence spécifique aux déchets ; l'agriculture et la foresterie ont utilisé des valeurs de références qui sont principalement basées sur les facteurs B2.
4. Ne figurent que les chiffres des totaux mondiaux de transport car l'aviation internationale n'est pas comprise [5.4].
5. Les catégories exclues sont : les émissions non-CO<sub>2</sub> dans la construction et les transports, une partie des options d'efficacité matérielle, la production de chaleur et la cogénération dans la production énergétique, les poids lourds, le transport de fret et les transports de passagers à haut taux d'occupation, la plupart des options à coûts élevés pour la construction, le traitement des eaux usées, la réduction des émissions des mines de charbon et les gazoducs, les gaz fluorés issus de la production énergétique et les transports. La sous-estimation du potentiel économique total de ces émissions est de l'ordre de 10 à 15%.

avec succès en restant isolé, ce qui laisse à penser qu'il est nécessaire de mettre au point des portefeuilles diversifiés, basés sur une variété de critères. Les évaluations descendantes se joignent aux résultats des évaluations ascendantes pour suggérer que des coûts du carbone compris entre 20 et 50 US\$ / tCO<sub>2</sub>-éq (73-183 US\$/tC-éq) sont suffisants pour conduire des commutations de carburant à grande échelle et stimuler le CCS et des ressources sobres en carbone économique à mesure que les technologies atteignent leur stade de maturité. Des incitations de cet ordre peuvent aussi jouer un rôle important pour éviter la déforestation. Les différents modèles à court et à long terme aboutissent à des estimations différentes, dont la variation peut être principalement expliquée par les approches et les postulats quant à l'utilisation des revenus des taxes et des permis du carbone, le traitement des changements technologiques, le degré de substituabilité entre les produits commercialisés internationalement, et la désagrégation des produits et des marchés régionaux (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [11.4, 11.5, 11.6].

Le développement du coût du carbone et les réductions d'émissions correspondantes vont déterminer le niveau auquel les concentrations atmosphériques de GES peuvent être stabilisées. Les modèles laissent à penser qu'une augmentation prévisible et continue du coût du carbone qui atteindrait 20 à 50 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq vers 2020-2030 correspond à une stabilisation de catégorie III (550 ppm CO<sub>2</sub>-éq). Pour une stabilisation de

catégorie IV (650 ppm CO<sub>2</sub>-éq), ce niveau de prix pourrait être atteint après 2030. Pour aboutir à une stabilisation à des niveaux situés entre 450 et 550 ppm CO<sub>2</sub>-éq, un coût du carbone allant jusqu'à 100 US\$/tCO<sub>2</sub>-éq devra être atteint en 2030 environ (accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses) [11.4, 11.5, 11.6].

Dans tous les cas, les trajectoires aboutissant à des niveaux de stabilisation moindre, particulièrement pour la catégorie III et en-dessous, requerraient de nombreuses mesures complémentaires tournant autour de l'efficacité énergétique, l'approvisionnement énergétique sobre en carbone, d'autres actions d'atténuation et actions évitant d'investir dans des stocks de capital à haute teneur en carbone et à longue durée de vie. L'étude des décisions politiques sous incertitude souligne le besoin de renforcer les actions précoces, particulièrement lorsque des infrastructures à longue durée de vie et d'autres stocks de capital sont impliqués. Les infrastructures du secteur énergétique (y compris les centrales électriques) à elles seules auront besoin d'environ 20 billions de dollars US jusqu'en 2030 au moins et les options de stabilisation seront sévèrement limitées par la nature et par l'intensité carbone de ces investissements, les investissements complémentaires nets allant de chiffres négligeables jusqu'à moins de 5% (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [11.6].

Pour ce qui concerne l'analyse du portefeuille des actions

gouvernementale, une conclusion générale consiste à dire que ce portefeuille d'options, s'il tente de ventiler les réductions entre les secteurs d'une façon apparemment équitable (p.ex. en imposant des réductions égales en pourcentage), sera probablement plus coûteux qu'une approche prioritairement guidée par la rentabilité. Des portefeuilles d'options énergétiques entre secteurs qui comprennent des technologies sobres en carbone réduiront les risques et les coûts, parce qu'on s'attend à ce que les prix des combustibles fossiles soient davantage volatils par rapport aux coûts représentés par les alternatives, en complément aux avantages habituels retirés de la diversification. Une seconde conclusion générale est que les coûts baisseront si les options corrigent les imperfections du marché à la fois sur les dommages des changements climatiques et sur les avantages de l'innovation technologiques, par exemple en recyclant les revenus tirés de la vente aux enchères des permis d'émissions pour soutenir des innovations à haute efficacité technologiques et sobres en carbone (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [11.4].

#### Progrès technologiques entre secteurs

L'intégration de nombreux modèles descendants des changements technologiques endogènes représente un développement très important depuis le TRE. A l'aide de différentes approches, les études modélisées laissent à penser que le fait de permettre une évolution technologique endogène peut conduire à des réductions substantielles dans les coûts du carbone de même que des coûts du PIB, en comparaison avec la plupart des modèles qui étaient utilisés à l'époque du TRE (alors qu'on postulait que l'évolution technologique était comprise dans la situation de référence et largement indépendante des actions et politiques d'atténuation). Les études ne tenant pas compte de l'évolution technologique induite démontrent que des coûts du carbone atteignant 20 à 80 US\$ / t CO<sub>2</sub>-éq vers 2030 et 30 à 155 US\$ / tCO<sub>2</sub>-éq vers 2050 sont en cohérence avec une stabilisation se fixant aux environs de 550 ppm CO<sub>2</sub>-éq vers 2100. Pour le même niveau de stabilisation, les études menées depuis le TRE qui prennent en compte l'évolution technologique induite font baisser cet intervalle de prix jusqu'à 5 à 65 US\$ / t CO<sub>2</sub>-éq en 2030 et 15 à 130 US\$/t CO<sub>2</sub>-éq en 2050. Le degré auquel les coûts sont réduits dépend de façon cruciale des postulats posés par rapport aux retours des dépenses effectuées en faveur de la R&D de l'atténuation climatique, sur les effets de débordements entre secteurs et entre régions, sur l'éviction d'autres R&D et, dans les modèles qui intègrent l'apprentissage par l'expérience, les rythmes d'apprentissage (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [11.5].

Des mutations technologiques majeures comme le captage et stockage du carbone, les énergies renouvelables, nucléaires et hydrogène avancées, ont besoin d'une longue transition et de l'accumulation d'apprentissage par l'expérience et d'une expansion des marchés. L'amélioration de l'efficacité d'utilisation finale offre donc des occasions plus importantes à court terme. Cela est illustré par la part relativement importante des secteurs industriels et de la construction dans les potentiels

pour 2030 (Tableau RT 17). D'autres options et d'autres secteurs peuvent jouer un rôle plus significatif au cours de la seconde moitié du siècle [v. Chapitre 3] (bon accord, nombreuses mises en évidence).

#### Effets de débordement de l'atténuation des pays figurant dans l'Annexe I en direction des pays n'y figurant pas

Les effets de débordement de l'atténuation dans une perspective intersectorielle sont les effets des politiques et des mesures d'atténuation d'un pays ou d'un groupe de pays sur les secteurs d'autres pays. Un des aspects en est la « fuite de carbone » : l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> en dehors des pays prenant des mesures intérieures divisée par les réductions d'émissions au sein de ces pays. Le simple indicateur de fuite de carbone ne couvre pas la complexité et la variété des effets, qui intègrent des évolutions dans le schéma et dans l'ampleur des émissions au niveau mondial. Les études de modélisation fournissent des résultats variés de fuites de carbone en fonction des postulats qu'elles ont posés sur les rendements d'échelle, le comportement des industries intensives en carbone, les élasticités du marché et d'autres facteurs encore. Comme dans le TRE, les estimations de fuite de carbone issues de l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto figurent généralement dans l'intervalle de 5 à 20% vers 2010. Les études empiriques sur les industries intensives en énergie qui bénéficient d'exemptions sous le Mécanisme d'échange d'émissions de l'UE (MEE) mettent en évidence le fait que les coûts de transport, les conditions des marchés locaux, la variété des produits et une information incomplète favorisent la production locale, et elles parviennent à la conclusion que les fuites de carbone ne seront probablement pas substantielles (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [11.7].

Les effets des actions d'atténuation existantes sur la compétitivité ont fait l'objet d'études. Les preuves empiriques semblent indiquer que les pertes de compétitivité des pays qui ont mis en place Kyoto ne sont pas significatives, ce qui confirme les conclusions auxquelles était parvenu le TRE. L'effet bénéfique potentiel des transferts de technologie vers les pays en voie de développement provenant de développements technologiques fournis par les actions découlant de l'Annexe I peut être substantiel pour les industries à haute intensité énergétique, mais il n'a pas encore été quantifié de façon fiable (*accord moyen, mises en évidence limitées*) [11.7].

Peut-être les débordements issus des actions d'atténuation entreprises dans une région affectent-ils le plus les autres régions par l'intermédiaire des prix mondiaux des combustibles fossiles. Lorsqu'une région réduit sa demande en combustibles fossiles grâce à ses politiques d'atténuation, elle réduit d'autant la demande mondiale pour cette matière première et provoque donc une pression des prix vers le bas. En fonction de la réponse des producteurs de combustibles fossiles, les prix du pétrole, du gaz et du charbon peuvent tomber, aboutissant à une perte de revenu pour les producteurs, et à des charges d'importation moindres pour les consommateurs. Comme dans

le TRE, quasiment toutes les études de modélisation qui ont été considérées montrent des effets adverses plus prononcés sur les pays exportateurs de pétrole que sur la plupart des pays de l'Annexe I qui prennent les mesures de diminution des émissions. Des stratégies de protection du prix du pétrole pourraient limiter les pertes des pays producteurs de pétrole (*bon accord, mises en évidence limitées*) [11.7]

#### Avantages associés de l'atténuation

Beaucoup d'études récentes ont démontré l'existence de nombreux avantages associés des stratégies d'atténuation du carbone sur la santé humaine, principalement parce qu'elles réduisent aussi d'autres émissions aériennes, par exemple le SO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub> et les particules. On a projeté que cela permettra la prévention de dizaines de milliers de décès prématurés dans les pays d'Asie et d'Amérique Latine chaque année, et de plusieurs milliers en Europe. Cependant, la monétarisation des risques de mortalité demeure un sujet de controverse, et c'est ainsi qu'on trouvera des estimations des bénéfices très variées dans la littérature. Cependant, toutes les études s'accordent à dire que les bénéfices sanitaires monétarisés peuvent compenser une fraction substantielle des coûts liés à l'atténuation (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [11.8].

De plus, on a estimé que l'évitement des émissions de polluants atmosphérique dans le cadre de la production agricole et l'impact des précipitations sur les écosystèmes naturels représente un avantage. Des bénéfices à court terme de ce genre constituent le socle de politiques de réduction des GES sans regrets, pour lesquelles des avantages substantiels se font jour même si l'impact des changements climatiques induits par les humains se révèle inférieur à ce que les projections actuelles laissent entendre. Intégrer des avantages associés autres que ceux qui sont liés à la santé humaine et à la productivité agricole (p.ex. une meilleure sécurité énergétique, l'emploi) rehausserait encore les économies de coûts réalisées (*bon accord, mises en évidence limitées*) [11.8].

Toute une littérature récemment parue a mis en évidence que le traitement des changements climatiques et de la pollution de l'air, simultanément à l'aide d'une seule série de mesures et de politiques publiques, permet d'aboutir à des réductions de coûts potentiellement importantes dans le contrôle de la pollution de l'air. Il est nécessaire de disposer d'une approche intégrée pour traiter de ces polluants et des processus pour lesquels il faut faire des choix. Il s'agit par exemple du contrôle des NO<sub>x</sub> des véhicules et des usines d'acide nitrique, qui peuvent faire augmenter les émissions de N<sub>2</sub>O, ou la recrudescence de l'utilisation de véhicules diesel énergétiquement efficaces, qui émettent davantage de particules, en termes relatifs, que leurs homologues à essence (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [11.8].

#### Adaptation et atténuation

On peut trouver des synergies et des choix à faire parmi les

options politiques qui soutiennent l'adaptation et l'atténuation. Le potentiel synergétique est élevé pour les options utilisant l'énergie de la biomasse, la gestion de l'affectation des sols et d'autres approches basées sur la gestion des terres. Les synergies entre adaptation et atténuation pourraient apporter une contribution unique au développement rural, en particulier dans les pays les moins développés : de nombreuses actions qui se concentrent sur la gestion durable des ressources naturelles pourraient dégager aussi bien des avantages significatifs en termes d'adaptation que des avantages en termes d'atténuation, principalement sous la forme de piégeage du carbone. Cependant, dans d'autres cas il se peut qu'il y ait des choix à faire, comme l'expansion des cultures énergétiques qui peuvent mettre à mal les cultures vivrières et la couverture forestières, augmentant d'autant la vulnérabilité aux impacts des changements climatiques (*accord moyen, mises en évidence limitées*) [11.9].

## 12 Atténuation et développement durable

### Relations entre développement durable et atténuation des changements climatiques

Le concept de développement durable a été adoptée par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement et on s'accorde à dire que le développement durable implique une approche exhaustive et intégrée des processus économiques, sociaux et environnementaux. Les discussions qui ont pour objet le développement durable se sont néanmoins concentrées en premier lieu sur les dimensions environnementale et économique. L'importance des facteurs sociaux, politiques et culturels est en train de gagner en reconnaissance. L'intégration est essentielle pour articuler des trajectoires de développement durable, y compris en prenant en compte le problème des changements climatiques [12.1].

Bien qu'encore à ses balbutiements, l'usage de plus en plus répandu d'indicateurs permettant de mesurer et de gérer la durabilité du développement aux niveaux macro-économique et sectoriel, ce qui est en partie dû à l'accent de plus en plus marqué sur la traçabilité dans le contexte des initiatives de gouvernance et de stratégie. Au niveau sectoriel, les progrès réalisés en direction du développement durable sont de plus en plus mesurés et rapportés par les industries et les gouvernements à l'aide, entre autres, des certifications vertes, des outils de suivi ou des registres d'émissions. Le passage en revue de ces indicateurs montre toutefois que peu de macro-indicateurs intègrent des mesures du progrès relatif aux changements climatiques (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [12.1.3].

Les changements climatiques sont influencés non seulement par les politiques spécifiquement climatiques qui sont mises en place (approche « le climat d'abord ») mais aussi par le mélange de choix de développement qui sont faits et les trajectoires de développement auxquelles ces politiques conduisent (approche « le développement d'abord ») – une caractéristique encore renforcée par les analyses de scénarios publiées depuis le

TRE. Rendre le développement plus durable en modifiant les modèles de développement peut ainsi apporter une contribution significative aux objectifs climatiques. Il est toutefois important de souligner que changer les modèles de développement ne consiste pas à choisir une route tracée sur une carte, mais plutôt à naviguer dans un paysage non cartographié et en constante évolution (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [12.1.1].

On a aussi affirmé que le développement durable pourrait faire baisser la vulnérabilité de tous les pays, et particulièrement des pays en voie de développement, aux impacts des changements climatiques. Cadrer le débat en tant que problème de développement plutôt que problème environnemental correspond mieux aux objectifs immédiats de tous les pays, en particulier les pays en voie de développement avec leur vulnérabilité particulière aux changements climatiques, et en même temps traite des facteurs de tête des émissions qui sont liés au modèle de développement sous-jacent [12.1.2].

### Rendre le développement plus durable

La prise de décision sur le développement durable et l'atténuation des changements climatiques n'est plus seulement l'apanage des gouvernements. La littérature constate un glissement vers un concept de gouvernance plus large, qui intègre les contributions des différents niveaux de gouvernement, le secteur privé, les acteurs non gouvernementaux et la société civile. Plus les questions de changements climatiques percolent pour devenir partie intégrante des perspectives de planification au bon niveau de mise en place, plus toutes ces parties concernées s'impliquent dans le processus de prise de décision de façon cohérente, plus elles auront de chance d'atteindre les objectifs fixés (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [12.2.1].

Pour ce qui concerne les gouvernements, une partie substantielle de la théorie politique identifie et explique l'existence de styles politiques nationaux ou de cultures politiques. Le postulat sous-jacent de ces travaux est que certains pays ont tendance à traiter les problèmes d'une manière spécifique, quels que soient les traits distinctifs ou spécifiques de tel ou tel problème ; une « façon de faire » nationale. De plus, le choix des instruments politiques est affecté par la capacité institutionnelle des gouvernements à mettre en place ces instruments. Ceci implique que le meilleur panachage de décisions politiques et la réalité de leur impact en termes de développement durable et d'atténuation des changements climatiques dépend largement des caractéristiques nationales (*bon accord, nombreuses mises en évidence*). Cependant, on ne comprend encore que les grandes lignes de l'optimisation de certaines politiques fonctionneront dans certains pays possédant des caractéristiques nationales particulières [12.2.3].

Le secteur privé est un acteur central dans le pilotage écologique et de la durabilité. Au cours des 25 dernières années, le nombre de sociétés privées qui prennent des mesures pour

traiter les questions de durabilité a augmenté, au niveau de la firme ou de l'industrie. Bien que des progrès aient été faits, le secteur privé a la capacité de jouer un rôle bien plus important dans le processus qui tente de rendre le développement plus durable, si la prise de conscience que cela profitera aussi à ses performances grandit (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [12.2.3].

Les groupes de citoyens jouent rôle significatif dans la stimulation du développement durable et ce sont des acteurs cruciaux dans la mise en place des politiques de développement durable. A part la mise en place des projets de développement durable eux-mêmes, ils peuvent faire pression sur les réformes politiques en augmentant la prise de conscience publique, en défendant des causes et en manifestant. Ils peuvent aussi susciter l'action politique en remplissant des lacunes et en fournissant des services politiques, y compris dans le domaine de l'innovation politique, du suivi et de la recherche. Les interactions peuvent prendre la forme de partenariats ou de dialogues entre parties prenantes qui peuvent fournir aux groupes de citoyens un levier pour exercer davantage de pressions aussi bien sur les gouvernements que sur l'industrie (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [12.2.3].

Les partenariats délibératifs public-privé fonctionnent à leur maximum d'efficacité lorsque les investisseurs, les gouvernements locaux et les groupes de citoyens montrent de la bonne volonté à collaborer pour lancer de nouvelles technologies et pour fournir des terrains de discussion de ces technologies qui englobent tous les acteurs locaux (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [12.2.3].

### Implication des choix de développement pour l'atténuation des changements climatiques

Dans un monde hétérogène, la compréhension des différentes conditions et priorités régionales est essentielle pour injecter des politiques publiques relatives aux changements climatiques dans les stratégies du développement durable. Des études de cas spécifiques à une région ou à un pays ont démontré que les différents modèles et politiques de développement peuvent atteindre des réductions d'émissions importantes, selon leur capacité à réaliser la durabilité et les objectifs liés aux changements climatiques [12.3.).

Dans les pays industrialisés, les changements climatiques sont encore considérés principalement comme un problème environnemental distinct à traiter à l'aide de politiques climatiques spécifiques. Aucune discussion large et fondamentale sur les implications des modèles de développement sur les changements climatiques n'a été sérieusement lancée au sein de la société. Les domaines d'atténuation prioritaires pour les pays de ce groupe peuvent tourner autour de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables, du CCS, etc. Cependant, les modèles à basses émissions ne s'appliquent pas seulement aux choix énergétiques. Dans certaines régions, le développement de l'utilisation des sols, particulièrement l'expansion des

infrastructures, est identifié comme étant une variable-clé dans la détermination des futures émissions de GES [12.2.1, 12.3.1].

Les économies en transition ne forment plus un seul groupe en tant que telles. Néanmoins, l'Europe centrale et orientale et les pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie Centrale (EOCAS) partagent réellement certains traits communs pour ce qui concerne le développement socio-économique, l'atténuation des changements climatiques et le développement durable. Les mesures permettant de découpler la croissance économique de la croissance des émissions seraient particulièrement importantes au sein de ce groupe-là [12.2.1, 12.3.1].

On projette que les émissions de certains grands pays en voie de développement croîtront à un rythme plus rapide que le monde industrialisé et que le reste des pays en voie de développement car ils se trouvent dans une phase d'industrialisation rapide. Pour ces pays, l'atténuation des changements climatiques et les politiques de développement durable peuvent se compléter les unes les autres ; cependant, des ressources financières et technologiques complémentaires amélioreraient leur capacité à poursuivre un modèle de développement sobre en carbone [12.2.1 ; 12.3.1].

Pour la plupart des autres pays en voie de développement, les capacités d'adaptation et d'atténuation sont faibles et l'aide au développement peut réduire leur vulnérabilité aux changements climatiques. Elle peut aussi contribuer à la réduction de la croissance de leurs émissions tout en traitant des problèmes de sécurité énergétique et d'accès à l'énergie. Le MDP peut fournir les ressources financières de tels développements. Les membres de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) occupent une place à part dans le sens qu'ils peuvent être affectés négativement par les modèles de développement qui réduisent la demande en combustibles fossiles. La diversification de leurs économies occupe une place de premier rang dans leur agenda politique [12.2.1, 12.3.1].

Des conclusions générales émergent des études de cas passées en revue dans ce chapitre sur la façon dont les changements dans les modèles de développement au niveau sectoriel ont contribué (ou pourraient contribuer) à la baisse des émissions (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [12.2.4] :

- Les émissions de GES sont influencées par (mais pas liées de façon rigide à) la croissance économique : les choix politiques peuvent faire la différence.
- Les secteurs où la production effective se situe bien au-dessous du niveau maximum réalisable avec la même quantité d'entrants – c'est-à-dire, des secteurs qui sont loin de leur limite de production – ont des occasions d'adopter des politiques « gagnant-gagnant-gagnant », c'est-à-dire des politiques qui libèrent des ressources et stimulent la croissance, qui atteignent d'autres objectifs de développement durable et qui réduisent aussi les émissions de GES par rapport aux chiffres de référence.
- Les secteurs où la production est proche de l'optimum

avec les entrants donnés – c'est-à-dire des secteurs qui sont proches de leur limite de production – ont l'occasion de réduire leurs émissions tout en atteignant d'autres objectifs de développement durable. Cependant, plus on s'approche de la limite de production, plus il est probable qu'il faille faire des choix.

- Ce qui compte, ce n'est pas seulement que le « bon » choix soit fait à un moment donné, mais aussi que les politiques choisies soient maintenues pendant longtemps – parfois plusieurs décennies – pour faire réellement effet.
- Il est souvent nécessaire non pas de prendre une décision politique, mais un faisceau de décisions pour influencer sur les émissions. Cela pose le problème de la coordination entre politiques publiques entre plusieurs secteurs à diverses échelles.

La percolation rend nécessaire que les politiques, les programmes et/ou les actions individuelles non climatiques prennent en considération l'atténuation des changements climatiques, aussi bien dans les pays développés que dans les pays en voie de développement. Cependant, il est improbable que le griffonnage hâtif des changements climatiques sur un agenda politique déjà existant ait du succès. La facilité ou la difficulté rencontrée par la percolation dans sa mise en place dépend aussi bien des pratiques et des technologies d'atténuation que du modèle de développement sous-jacent. Peser les autres avantages de développement par rapport aux bénéfices climatiques sera une base essentielle pour choisir les secteurs de développement sujets à percolation. Les décisions portant sur la politique macro-économique, sur l'agriculture, les prêts des banques multilatérales de développement, les pratiques d'assurance, la réforme du marché de l'électricité, la sécurité énergétique et la conservation des forêts par exemples, qui sont souvent considérées à part des politiques climatiques, peuvent avoir des impacts profonds sur les émissions, sur l'étendue de l'atténuation nécessaire, et sur les coûts et bénéfices qui en résultent. Cependant, dans certains cas comme le glissement de la cuisson basée sur la biomasse à celle basée sur le gaz de pétrole liquéfié (GPL) dans les zones rurales des pays en voie de développement, il peut être rationnel de ne pas prendre en considération les aspects liés aux changements climatiques en raison de la faible augmentation des émissions comparée aux avantages développementaux (v. Tableau RT 18) (*bon accord, mises en évidence moyennement nombreuses*) [12.2.4].

De manière générale, il existe une grande convergence sur les conclusions qualitatives figurant dans ce chapitre à propos des liens entre atténuation et développement durable : les deux sont liés, et les synergies et les choix peuvent être identifiés. Cependant, la littérature qui traite de ces liens et plus particulièrement la façon dont ces liens peuvent être mis à l'œuvre pour capter les synergies et éviter les choix est encore restreinte. Les lignes directrices de bonnes pratiques pour l'intégration des considérations de changements climatiques dans les politiques non climatiques pertinentes, y compris l'analyse des rôles des différents acteurs, souffrent de la même tare. L'élaboration de modèles de développement possibles que les nations et les régions peuvent

**Tableau RT 18 :** Percolation des changements climatiques dans les choix de développement – exemples choisis [Tableau 12.3].

Secteurs choisis	Instruments politiques non climatiques et actions qui candidates à percolation	Décideurs et acteurs principaux	Emissions globales de GES qui pourraient être modifiées par des politiques non climatiques (% des émissions globales de GES) <sup>a, d</sup>		Commentaires
Macro-économie	Mettre en place des taxes / subventions non climatiques et / ou d'autres politiques fiscales et réglementaires de promotion du développement durable	Etat (tous niveaux de gouvernement)	100	Émissions de GES totales au niveau du globe	Combinaison de politiques économiques, réglementaires, infrastructurelles et non climatiques qui pourraient être utilisées pour traiter les émissions totales au niveau du globe.
Foresterie	Adoption de pratiques de conservation et de gestion durable des forêts	Etat (tous niveaux de gouvernement) et société civile (ONG)	7	GHG emissions from deforestation	Legislation/regulations to halt deforestation, improve forest management, and provide alternative livelihoods can reduce GHG emissions and provide other environmental benefits.
Electricité	Adoption de programmes rentables d'énergies renouvelables, de gestion de la demande, de réduction des pertes au niveau de la transmission et de la distribution	Etat (commissions législatives), marché (sociétés d'utilité publique) et société civile (ONG, organisations de consommateurs)	20 <sup>b</sup>	Émissions de CO <sub>2</sub> du secteur de l'électricité (auto-producteurs non compris)	La part croissante de production d'électricité à haute intensité de GES est une préoccupation mondiale qui peut être traitée via des politiques non climatiques
Importations de produits pétroliers	Diversification du panier de combustibles domestiques et importés et réduction de l'intensité énergétique de l'économie pour améliorer la sécurité énergétique	Etat et marché (industrie des combustibles fossiles)	20 <sup>b</sup>	Émissions de CO <sub>2</sub> du secteur de l'électricité (auto-producteurs non compris)	La part croissante de production d'électricité à haute intensité de GES est une préoccupation mondiale qui peut être traitée via des politiques non climatiques
Energie rurale dans les pays en voie de développement	Politiques de promotion du GPL, du kérosène et de l'électricité de cuisson en milieu rural	Etat et marché (sociétés d'utilité publique et sociétés pétrolières), société civile (ONG)	<2 <sup>c</sup>	Émissions de GES issues de l'utilisation de combustibles issus de la biomasse, à l'exclusion des aérosols	La biomasse utilisée pour la cuisine en milieu rural a des impacts sur la santé en raison de la pollution de l'air intérieur, et rejette des aérosols qui contribuent au réchauffement climatique. Le remplacement de toute la biomasse utilisée pour la cuisine dans les pays en voie de développement avec du GPL émettrait 0,70 GtCO <sub>2</sub> -ég, un montant relativement modeste par rapport aux émissions totales mondiales en 2004.
Assurances des secteurs de la construction et des transports	Primes différenciées, exclusions de couverture, meilleures conditions pour les produits verts	Etat et marché (compagnies d'assurance)	20	Émissions de GES des secteurs de la construction et des transports	L'augmentation des sinistres dus aux changements climatiques est une préoccupation pour les assureurs. Les assureurs pourraient y faire face grâce aux politiques ci-contre.
Finance internationale	Stratégies par pays et par secteur et prêts par projet de réduction d'émissions	Etat (institutions financières internationales) et marché (banques)	25 <sup>b</sup>	Emissions de CO <sub>2</sub> des pays en voie de développement (hors Annexe I)	Les institutions financières internationales peuvent adopter des pratiques qui permettent d'éviter d'octroyer des prêts à des pays à haute intensité en GES qui verrouillent les émissions futures dans les pays en voie de développement.

**Notes :**

- a) Données issues du chapitre 1 sauf mention contraire.  
b) Emissions de CO<sub>2</sub> issues des combustibles fossiles seuls ; AIE (2006).  
c) Emissions de CO<sub>2</sub> Estimation des auteurs, voir le texte.  
d) Les émissions indiquent l'importance relative des secteurs en 2004. Les émissions sectorielles ne s'excluent pas l'une l'autre, peuvent se recouper, et ainsi s'additionner pour former un total supérieur au total des émissions mondiales, visibles dans la rangée Macro-économie.

poursuivre – au-delà des scénarios d'émissions de GES au sens étroit ou des scénarios qui à l'inverse ignorent les changements climatiques – peut préparer le contexte pour de nouvelles analyses des liens, mais de nouveaux outils méthodologiques seront peut-être nécessaires à cette fin [12.2.4].

### Implications des choix d'atténuation pour les trajectoires de développement durable

On comprend de mieux en mieux l'opportunité de choisir telle ou telle option d'atténuation et sa mise en place de façon à ce qu'elle ne se trouve pas en conflit, ou même bénéficie des autres dimensions du développement durable ; ou, lorsqu'il est inévitable de faire des choix, de faire des choix rationnels. Un résumé des implications en termes de développement

durable des principales options d'atténuation des changements climatiques figure dans le Tableau RT 19 [12.3].

Les avantages en développement durable des options d'atténuation varient suivant le secteur et entre les différentes régions (bon accord, nombreuses mises en évidence) :

- Généralement, les options d'atténuation qui améliorent la productivité de l'utilisation de la ressource, qu'il s'agisse d'énergie, d'eau, de terres, aboutit à des résultats positifs pour les trois dimensions du développement durable. D'autres catégories d'options d'atténuation ont un impact plus incertain et dépendent du contexte socio-économique plus large dans lequel l'option est mise en place.
- Les politiques liées au climat telles l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables sont souvent bénéficiaires d'un point de vue économique, elles améliorent la sécurité

**Tableau RT 19 :** Options sectorielles d'atténuation et considérations du développement durable (économique, environnemental au niveau local et social) : synergies et choix [Tableau 12.4].

Secteur et options d'atténuation	Synergies potentielles avec le DD et conditions de mise en place	Choix à faire potentiellement (DD)
Approvisionnement et consommation énergétiques : Chapitres 4–7		
Amélioration de l'efficacité énergétique dans tous les secteurs (construction, transports, industrie, approvisionnement énergétique) (chapitres 4-7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- presque toujours rentable, réduit ou élimine les émissions locales de polluants et les impacts sanitaires qui en découlent, améliore le confort intérieur et réduit les niveaux de bruit à l'extérieur, crée des opportunités économiques et des emplois et améliore la sécurité énergétique</li> <li>- les programmes gouvernementaux et industriels peuvent aider à surmonter le manque d'information et les problèmes des agents principaux</li> <li>- les programmes peuvent être mis en place à tous les niveaux de gouvernement et de l'industrie</li> <li>- il est important de s'assurer que les besoins énergétiques des ménages à faible revenu soient dûment pris en considération, et que le processus et les conséquences de l'implantation d'options d'atténuation sont, ou que leur résultat est neutre du point de vue du genre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la pollution de l'air intérieur et les impacts sanitaires de l'amélioration de l'efficacité thermique des fours de cuisson à biomasse dans les pays en voie de développement sont incertains</li> </ul>
Commutation de combustible et autres options dans les secteurs des transports et de la construction (chapitres 5 et 6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les coûts de réduction du CO<sub>2</sub> peuvent être compensés par les avantages sanitaires</li> <li>- La promotion des transports publics et non motorisés comporte des avantages sociaux importants et cohérents</li> <li>- la commutation des combustibles solides aux combustibles modernes pour la cuisine et le chauffage à l'intérieur peut faire baisser la pollution de l'air intérieur et libérer du temps pour les femmes des pays en voie de développement</li> <li>- l'institutionnalisation des systèmes de planification pour la réduction du CO<sub>2</sub> par la coordination entre les gouvernements nationaux et locaux est importante pour décrire les stratégies communes de systèmes de transports durables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les moteurs diesel sont généralement plus efficaces en termes de carburant que les moteurs à essence et ils émettent donc moins de CO<sub>2</sub> mais plus de particules</li> <li>- d'autres mesures (bus à GNC, bus hybrides diesel-électricité et modernisation des taxis) peuvent avoir un très petit avantage climatique.</li> </ul>
Remplacement des combustibles fossiles importés par des sources alternatives d'énergie indigène (SAEI) (chapitre 4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- important pour s'assurer que les SAEI sont rentables</li> <li>- réduit les émissions de polluants de l'air locaux</li> <li>- peut créer de nouvelles industries indigènes (le programme d'éthanol du Brésil, par exemple) et donc créer des emplois</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- le bilan de l'amélioration du commerce est compensé par l'augmentation du capital d'investissement nécessaire</li> <li>- les pays exportateurs de combustibles peuvent faire face à une baisse des exportations</li> <li>- les centrales hydroélectriques peuvent aboutir à des déplacements de population et créer des dommages environnementaux aux bassins des fleuves et à la biodiversité</li> </ul>
Remplacement des combustibles fossiles indigènes par des sources d'énergie alternatives importées (SEAI) (chapitre 4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- réduit presque toujours les émissions de polluants locaux</li> <li>- la mise en place peut être plus rapide que celle des SAEI</li> <li>- important pour assurer que les SEAI sont rentables</li> <li>- les économies et les sociétés des pays exportateurs d'énergies en tireraient profit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pourrait réduire la sécurité énergétique</li> <li>- la balance commerciale pourrait se détériorer, mais les besoins en capital baisser</li> </ul>
Secteur forestier : chapitre 9		
Afforestation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- peut réduire la dégradation des sols, les friches, et gérer le ruissellement</li> <li>- peut retenir les stocks de carbone dans les sols si la perturbation des sols est minimisée lors de la plantation et de la coupe</li> <li>- peut être mis en place sous forme de plantations d'agroforesterie qui améliorent la production alimentaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'usage de ressources terriennes limitées pourrait se trouver en compétition avec les terres arables et diminuer la sécurité alimentaire tout en augmentant le coût des aliments</li> <li>- les plantations en monoculture peuvent réduire la biodiversité et sont plus vulnérables aux maladies</li> <li>- la conversion de plaines inondables et de zones humides pourrait mettre à mal leurs fonctions écologiques</li> </ul>
- d'autres mesures (bus à GNC, bus hybrides diesel-électricité et modernisation des taxis) peuvent avoir un très petit avantage climatique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Can retain biodiversity, water and soil management benefits, and local rainfall patterns</li> <li>- Reduce local haze and air pollution from forest fires</li> <li>- If suitably managed, it can bring revenue from ecotourism and from sustainably harvested timber sales</li> <li>- Successful implementation requires involving local dwellers in land management and/or providing them alternative livelihoods, enforcing laws to prevent migrants from encroaching on forest land.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Can result in loss of economic welfare for certain stakeholders in forest exploitation (land owners, migrant workers)</li> <li>- Reduced timber supply may lead to reduced timber exports and increased use of GHG-intensive construction materials</li> <li>- Can result in deforestation with consequent SD implications elsewhere</li> </ul>
Eviter la déforestation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peut conserver la biodiversité, avantages en termes de gestion des eaux et des sols et des types de précipitations locales</li> <li>- réduit la brume sèche locale et la pollution de l'air issue des feux de forêt</li> <li>- si bien gérée, peut fournir des revenus issus de l'écotourisme et des ventes de bois produit de manière durable</li> <li>- le succès de la mise en place nécessite l'implication des habitants des sites dans la gestion des terres et/ou de leur fournir des modes de vie alternatifs, de s'assurer que la loi est respectée et d'empêcher les migrants de s'installer illégalement dans les zones de forêt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peut aboutir à une perte de bien-être économique pour certaines parties prenantes de l'exploitation forestière (propriétaires terriens, travailleurs migrants)</li> <li>- la baisse de la production de bois peut aboutir à une baisse des exportations de bois et à un usage plus important de matériaux de constructions intensifs en GES</li> <li>- peut aboutir à la déforestation avec des conséquences importantes pour le DD à d'autres endroits</li> </ul>
Gestion forestière	-v. afforestation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-l'application de fertilisants peut augmenter la production de N<sub>2</sub>O et les rejets de nitrates, aboutissant à une dégradation des eaux (souterraines) locales</li> <li>- la prévention des incendies et des parasites a des avantages à court terme mais elle peut augmenter les stocks de combustibles pour des incendies ultérieurs à moins qu'elle soit adéquatement gérée.</li> </ul>

Tableau RT 19 coninué

Secteur et options d'atténuation	Synergies potentielles avec le DD et conditions de mise en place	Choix à faire potentiellement (DD)
Bioénergie (chapitres 8 et 9)		
production de bioénergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Généralement positive lorsqu'elle est pratiquée à partir de résidus (coquilles, spathes, bagasse et/ou éclats de bois)</li> <li>- crée des emplois en milieu rural</li> <li>- la plantation de cultures / d'arbres exclusivement à des fins bioénergétiques implique que des terres et de la main d'œuvre adéquates sont disponibles pour éviter la concurrence avec les cultures vivrières</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- peut avoir des conséquences environnementales négatives si elle est pratiquée non durablement – pertes de biodiversité, compétition pour les ressources en eau, usage des engrais et des pesticides en recrudescence.</li> <li>- problème potentiel avec la sécurité alimentaire (liée à certains sites) et une augmentation des coûts des aliments.</li> </ul>
Agriculture: chapitre 8		
Gestion des cultures (gestion des matières nutritives, du fumier, des résidus, et agroforesterie; eau, riz et jachères)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- une meilleure gestion des matières nutritives peut améliorer la qualité des eaux souterraines et la santé environnementale de l'écosystème cultivé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les changements dans les politiques liées à l'eau peuvent aboutir à des conflits d'intérêts et menacer la cohésion sociale</li> <li>- pourrait aboutir à une surexploitation de l'eau</li> </ul>
Gestion des pâturages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- améliore la productivité du bétail, lutte contre la désertification, et fournit une sécurité sociale aux populations pauvres</li> <li>- requiert des lois et leur mise en application pour éviter la libre pâture</li> </ul>	
Gestion du bétail	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la combinaison entre la culture traditionnelle du riz et la gestion du bétail améliorerait le revenu, même dans les régions arides et semi-arides</li> </ul>	
Gestion des déchets : chapitre 10		
Assainissement contrôlé Décharges pourvues de captation de gaz de décharge pour extraire le méthane	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peut éliminer les décharges sauvages et les feux de déchets à ciel ouvert, améliorant la santé et la sécurité des travailleurs et des résidents</li> <li>- les sites peuvent dégager des avantages énergétiques locaux et des espaces publics dédiés aux loisirs et à d'autres fins sociales au sein de l'infrastructure urbaine</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Source d'odeurs et de pollution de l'eau s'ils ne sont pas contrôlés et suivis de façon appropriée</li> </ul>
Incinération et autres processus thermique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de retirer le plus d'énergie des déchets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- onéreux par rapport aux décharges contrôlées et au compostage</li> <li>- non durable dans les pays en voie de développement en l'absence d'infrastructures techniques</li> <li>- des investissements complémentaires sont nécessaires pour contrôler la pollution de l'air et pour le tri à la source pour éviter les émissions de métaux lourds et d'autres toxiques aériens</li> </ul>
Recyclage, réutilisation et réduction à la source	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Source d'emplois locaux et de réduction dans l'énergie et les matériaux bruts utilisés dans la fabrication de produits neufs</li> <li>- peuvent être aidés par les efforts des ONG, par les capitaux privés pour les industries du recyclage, par l'entrée en force des réglementations environnementales, et par l'urbanisme pour traiter les déchets séparément et pour éloigner les activités d'élimination des déchets de la vie quotidienne des communautés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- la récupération incontrôlée d'ordures aboutit à des problèmes de santé et de sécurité sérieux pour les personnes qui vivent des déchets</li> <li>- le développement d'industries locales de recyclage nécessite des capitaux</li> </ul>

**Note :** Les données de ce tableau proviennent des chapitres 4–11. Les données nouvelles sont référencées dans le texte ci-dessous, qui décrit les implications du DD pour les options d'atténuation de chaque secteur.

énergétique et réduisent les émissions de polluants locaux. Beaucoup d'options d'atténuation de la production énergétique peuvent aussi être conçues pour dégager des avantages de développement durable comme d'éviter le déplacement de populations, la création d'emplois et des améliorations sanitaires

- La réduction de la déforestation peut dégager des avantages importants en termes de biodiversité et de conservation des eaux et des sols, mais elle peut aboutir, pour certaines parties prenantes, à une baisse de prospérité économique.

Des plantations d'afforestation et de bioénergie bien conçues peuvent aboutir à la restauration des terres dégradées, gérer le ruissellement, retenir le carbone dans les sols et profiter à l'économie rurale, mais elles peuvent se trouver en concurrence avec la demande de terres à fins vivrières et elles peuvent avoir un impact négatif sur la biodiversité.

- Il existe de bonnes possibilités de renforcement du développement durable via les actions d'atténuation dans la plupart des secteurs, mais particulièrement dans ceux de la gestion des déchets, des transports et de la construction,

notamment par l'intermédiaire d'une réduction de l'utilisation d'énergie et de la réduction de la pollution [12.3].

### 13 Politiques publiques, instruments et accords de coopération

#### Introduction

Ce chapitre traite des instruments politiques nationaux et de leur mise en place, des initiatives du secteur privé, des gouvernements locaux et des organisations non gouvernementales, et des accords de coopération internationale. Lorsque c'est faisable, les politiques nationales et les accords internationaux sont traités dans le contexte de critères de quatre principes par lesquels elles peuvent être évaluées ; à savoir la rentabilité économique, la rentabilité environnementale, les considérations de distribution et la faisabilité institutionnelle. Il existe un certain nombre d'autres critères qui pourraient aussi être pris en compte explicitement, comme les effets sur la compétitivité et les coûts administratifs. Les critères peuvent être employés par les gouvernements pour faire des choix ex-ante parmi les instruments et des évaluations ex-post des performances des instruments [13.1].

#### Instruments de politique nationale, leur mise en place et leurs interactions

La littérature continue à refléter le fait qu'une grande variété de politiques et de mesures nationales sont à la disposition des gouvernements pour limiter ou réduire les émissions de GES. Ces dernières comprennent les normes et les règlements, les taxes et les redevances, les permis négociables, les accords volontaires, la disparition des subventions et la création d'incitations financières, les instruments de recherche et de développement et d'information. D'autres politiques publiques, comme celles qui ont un impact sur le commerce, sur les investissements internationaux directs ou sur des objectifs de développement social peuvent aussi avoir un impact sur les émissions de GES. En général, les politiques liées aux changements climatiques, si elles sont intégrées à d'autres politiques gouvernementales, peuvent contribuer au développement durable dans les pays développés comme dans les pays en voie de développement [v. chapitre 12] [13.1].

La réduction des émissions de tous les gaz dans tous les secteurs doit reposer sur un portefeuille de politiques taillées sur mesure pour correspondre aux circonstances nationales spécifiques. Alors que la littérature identifie les avantages et les désavantages de chaque instrument donné, les critères mentionnés ci-dessus sont largement utilisés par les décideurs politiques pour choisir et évaluer les politiques publiques. Tous les instruments peuvent être bien ou mal conçus, astreignants ou laxistes. Il faut que les instruments soient ajustés à travers le temps et encadrés par un système de suivi et d'entrée en force utilisable. De plus, les instruments peuvent interagir avec les institutions et le cadre

législatif existant dans les autres secteurs de la société (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.1].

La littérature contient une quantité importante d'informations permettant d'évaluer avec quel succès les différents instruments se comportent par rapport aux quatre critères mentionnés ci-dessus (v. Tableau RT 20) [13.2]. Particulièrement, elle laisse à penser que :

- **Les mesures réglementaires et les normes** fournissent généralement une certitude environnementale. Ils peuvent être préférables lorsqu'un manque d'information ou d'autres obstacles empêchent les firmes et les consommateurs de répondre aux signaux-prix. Les normes réglementaires ne comprennent généralement pas d'incitation à l'intention des pollueurs pour développer de nouvelles technologies réduisant la pollution, mais il y a quelques exemples où l'innovation technologique a été suscitée par les normes réglementaires. Bien que relativement peu de normes réglementaires aient été adoptées exclusivement pour réduire les émissions de GES, les normes ont réduit ces gaz à titre d'avantage associé (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.2].
- **Les taxes et redevances** (qui peuvent être appliquées au dioxyde de carbone ou à tous les GES) ont été bien notées du point de vue de la rentabilité-coût parce qu'elles fournissent une certaine assurance quant au coût marginal du contrôle de la pollution. Elles ne peuvent pas garantir un niveau particulier d'émissions, mais, conceptuellement, les taxes peuvent être conçues pour être efficaces d'un point de vue environnemental. Les taxes peuvent être difficiles à imposer et à ajuster, d'un point de vue politique. Comme pour les normes réglementaires, leur efficacité environnementale dépend de leur caractère astreignant. Comme pour avec presque tous les autres instruments politiques, il est nécessaire de faire preuve de prudence pour prévenir les effets pervers (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.2].
- **Les permis négociables** sont un instrument économique jouissant d'une popularité croissante pour contrôler les polluants environnementaux et les GES aux niveaux sectoriel, national et international. Le volume des émissions autorisées détermine le prix du carbone et l'efficacité environnementale de cet instrument, tandis que la distribution des autorisations a des implications en matière de compétitivité. L'expérience a montré que les stocks accumulés peuvent fournir une flexibilité temporelle significative et que les dispositions d'application de la loi doivent être conçues avec prudence, si un système de permis veut être efficace (*bon accord, nombreuses mises en évidence*). L'incertitude sur le prix de la réduction des émissions dans un système d'échange de permis rend a priori difficile d'estimer le coût total pour atteindre l'un ou l'autre des objectifs de réduction [13.2].
- **Les accords volontaires entre l'industrie et les gouvernements** et les campagnes d'information sont politiquement séduisants, favorisent la prise de conscience des parties prenantes et ont joué un rôle dans l'évolution de beaucoup de politiques nationales. La majorité des accords

**Tableau RT 20 :** Instruments de politique environnementale nationale et critères d'évaluation [Tableau 13.1].

Instrument	Critère			
	Réalité de l'impact environnemental	Rentabilité-coût	Prend en compte les questions de distribution	Faisabilité institutionnelle
Règlements et normes	Les niveaux d'émissions sont directement donnés, bien qu'avec des exceptions Dépend du report/ajournement et du contrôle de conformité	Dépend de la conception; une application uniforme aboutit souvent à des coûts de contrôle de conformité plus élevés	Dépend du niveau; les acteurs nouveaux ou petits peuvent être désavantagés	Dépend de la capacité technique; populaire parmi les décideurs, dans les pays où les marchés en état de marche sont faibles
Taxes et redevances	Dépend de la capacité de fixer les taxes à un niveau qui stimule le changement de comportement	Meilleur si l'application est large; coûts administratifs plus importants si les institutions sont faibles	Régressif; peut être amélioré avec le recyclage du revenu dégagé	Souvent impopulaire d'un point de vue politique; peut être difficile à faire entrer en force si les institutions sont sous-développées
Permis négociables	Dépend de la couverture d'émissions, de la participation et de la conformité	Baisse avec la participation et avec le nombre de secteurs	Dépend de l'allocation initiale de permis, peut poser des problèmes aux petits émetteurs	Nécessite des marchés en bon état de marche et des institutions complémentaires
Accords volontaires	Dépend de la conception du programme, y compris des objectifs clairs, un scénario de référence, l'implication de tiers dans la conception et l'évaluation, et dans le suivi des dispositions	Dépend de la flexibilité et de l'étendue des incitations gouvernementales, des primes et des pénalités	Les avantages ne s'appliquent qu'aux participants	Souvent populaires d'un point de vue politique; nécessite un personnel administratif important
Subventions et autres incitations	Dépend de la conception du programme; moins certaines que les réglementations et les normes	Dépend du niveau et de la conception du programme; peut induire des distorsions du marché	Bénéficient à des participants choisis; possiblement à certains qui n'en auraient pas besoin	Populaire parmi les destinataires; résistance potentielle de la part de capitaux investis. Peut être difficile à abroger
Recherche et développement	Dépend d'un financement cohérent, quand les technologies sont développées, et de politiques permettant la diffusion. Peut dégager de grands avantages sur le long terme	Dépend de la conception du programme et du degré de risque	Bénéficie initialement à des participants choisis. Il est possible que les fonds soient facilement mal alloués.	Nécessite de nombreuses décisions séparées; dépend de la capacité de la recherche et du financement à long terme.
Politiques d'information	Dépend de comment les consommateurs utilisent l'information; surtout efficaces en combinaison avec d'autres politiques	A bas coût potentiellement, mais dépend de la conception du programme	Peut être moins efficace pour certains groupes (à bas revenus par exemple) qui manquent d'accès à l'information	Dépend de la coopération de certains groupes d'intérêt

**Note :** Les évaluations sont basées sur le postulat que les instruments sont représentatifs des bonnes pratiques plutôt que théoriquement parfaits. Cette évaluation est essentiellement basée sur l'expérience et sur la littérature provenant des pays développés, car les articles soumis au jugement des pairs sur l'efficacité des instruments dans les autres pays étaient limités. L'applicabilité à des pays, des secteurs ou des circonstances particulières – particulièrement les pays en voie de développement et les économies en transition – peut montrer de grandes différences.

volontaires n'ont pas abouti sur des réductions d'émissions significativement au-dessus des niveaux de « la-machine-continue-de-tourner ». Cependant, certains accords récents dans quelques pays ont accéléré la mise en place des meilleures technologies disponibles et elles ont abouti à des réductions d'émissions mesurables en comparaison avec les chiffres de référence (bon accord, nombreuses mises en évidence). Les facteurs de succès comprennent des objectifs clairs, un scénario de référence, l'implication de tiers dans la conception et la révision, et des dispositions formelles de suivi [13.2].

- **Actions volontaires :** les compagnies privées, les gouvernements sub-nationaux, les ONG et les groupes issus de la société civile adoptent toute une variété d'actions volontaires, indépendantes des autorités gouvernementales, qui peuvent limiter les émissions de GES, stimuler les politiques innovantes et encourager le déploiement de nouvelles technologies. En soi, elles ont généralement un impact limité au niveau national ou régional [13.2].
- **Les incitations financières** (subventions et crédits d'impôt) sont fréquemment utilisées par les gouvernements pour stimuler la diffusion de nouvelles technologies, émettant moins de GES. Alors que les coûts économiques des programmes de ce genre sont généralement plus importants

que pour les instruments mentionnés auparavant, ils sont souvent cruciaux pour surmonter les obstacles à la pénétration de nouvelles technologies (bon accord, nombreuses mises en évidence). Comme pour les autres politiques, les programmes d'incitations doivent être conçus avec prudence pour éviter les effets pervers du marché. Des subventions directes ou indirectes pour l'utilisation des combustibles fossiles et l'agriculture restent très répandues dans de nombreux pays, bien que celles qui s'adressent au charbon aient décliné au cours de la dernière décennie dans ne nombreux pays de l'OCDE et dans certains payée en voie de développement [voir aussi les chap. 2, 7, 11] [13.2].

- **Le soutien gouvernemental à la recherche et au développement** est un type d'incitation spécial qui peut se révéler important pour s'assurer que les technologies émettant peu de GES resteront disponibles dans le long terme. Cependant, le financement public de nombreux programmes de recherche sur l'énergie a chuté après les chocs pétroliers des années 1970 et il est ensuite resté constant, même après la ratification de la CCNUCC. Des investissements complémentaires substantiels dans, et des politiques publiques pour, la R&D sont nécessaires pour s'assurer que les technologies sont prêtes pour leur commercialisation pour aboutir à la stabilisation des GES dans l'atmosphère

[v. Chapitre 3], de même que des instruments économiques et réglementaires pour promouvoir leur déploiement et leur diffusion (bon accord, nombreuses mises en évidence) [13.2].

- **Les instruments informatifs** – parfois appelés nécessités de divulgation au public – peuvent avoir un impact positif sur la qualité environnementale en permettant aux consommateurs de faire des choix mieux informés. On n’a que des preuves limitées du fait que la fourniture d’information peut aboutir à des réductions d’émissions, mais cela peut améliorer l’efficacité d’autres politiques (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.2]

L’application d’un mélange d’instruments efficaces d’un point de vue économique et efficaces d’un point de vue environnemental nécessite une bonne compréhension de la question environnementale qu’on essaie de résoudre, des liens avec les autres domaines politiques et les interactions entre les différents instruments du panier. En pratique, les politiques climatiques sont rarement appliquées en isolement complet, car elles recouvrent d’autres politiques nationales liées à l’environnement, à la foresterie, à l’agriculture, à la gestion des déchets, aux transports et à l’énergie et, dans de nombreux cas, nécessitent plus d’un instrument (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.2]

#### Initiatives de gouvernements sub-nationaux, de firmes privées et d’organisations non gouvernementales

La plus grande partie de la littérature passe en revue les instruments gouvernementaux à base nationale, mais les compagnies, les autorités locales et régionales, les ONG et les groupes civils peuvent aussi jouer un rôle de premier plan et adoptent toute une variété d’actions, indépendantes des autorités gouvernementales, pour réduire les émissions de GES. Les actions des firmes privées vont des initiatives volontaires à des objectifs d’émissions et, dans certains cas, aux systèmes d’échange de permis à l’interne. Les raisons pour lesquelles les sociétés privées entreprennent des actions indépendantes comprennent le désir d’influencer ou de prévenir l’action gouvernementale, de créer une valeur financière, et de différencier une compagnie et ses produits. Les actions menées par les gouvernements régionaux, au niveau de l’Etat, de la province ou au niveau local comprennent des normes de portefeuilles renouvelables, des programmes d’efficacité énergétiques, des cadastres d’émissions et des mécanismes sectoriels de bridage et d’échange. Ces actions sont entreprises pour influencer les politiques nationales, pour répondre aux préoccupations des parties prenantes, pour créer des incitations à l’intention des nouvelles industries, ou pour créer des avantages associés environnementaux. Les ONG promeuvent des programmes de réduction d’émissions via la sensibilisation publique, le droit de recours et le dialogue entre parties prenantes. Beaucoup de ces actions peuvent limiter les émissions de GES, stimuler les politiques innovantes, encourager le déploiement de nouvelles technologies et susciter l’expérimentation de nouvelles institutions, mais elles ont généralement un impact limité

en elles-mêmes. Pour atteindre des réductions d’émissions significatives, ces actions doivent aboutir à des changements dans les politiques nationales (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.4].

#### Accords internationaux (accords sur les changements climatiques et autres arrangements)

La CCNUCC et le Protocole de Kyoto ont établi un précédent significatif dans les moyens de résolution des problèmes environnementaux internationaux à long terme, mais il ne s’agit que des premières étapes vers la mise en place d’une stratégie internationale de réponse pour combattre les changements climatiques. Les plus grands succès du protocole de Kyoto sont la stimulation d’une série de politiques nationales, la création de marchés internationaux du carbone et l’établissement de nouveaux mécanismes institutionnels. Ses impacts économiques sur les pays participants doivent encore être montrés. Le MDP, en particulier, a créé un grand « projectoduc » et a mobilisé des ressources financières substantielles, mais il a fait face à des défis méthodologiques par rapport à l’établissement des données de référence et à l’attribution des effets. Le protocole a aussi stimulé le développement de systèmes d’échanges des émissions, mais un système complètement global n’a pas été mis en place. Le Protocole de Kyoto est actuellement borné par ses modestes limites d’émissions et il aura un effet limité sur les concentrations atmosphériques. Il serait plus efficace si la première période d’engagement était suivie de mesures pour aboutir à des réductions plus en profondeur et à la mise en place d’instruments politiques couvrant une plus grande part des émissions à l’échelle du globe (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

Beaucoup d’options sont identifiées dans la littérature pour atteindre des réductions d’émissions dans et en dehors de la Convention et du Protocole de Kyoto, par exemple : réviser la forme et l’astreinte des objectifs d’émissions ; étendre la portée des accords sectoriels et sub-nationaux ; développer et adopter des politiques communes ; améliorer les programmes technologiques de RD&D ; mettre en place des actions orientées vers le développement, et étendre les instruments financiers (bon accord, nombreuses mises en évidence). L’intégration de divers éléments comme une coopération internationale pour le R&D et des programmes de bridage et d’échange au sein d’un accord est possible, mais comparer les efforts faits par les différents pays serait complexe et gourmand en ressources (*accord moyen, mises en évidence moyennement nombreuses*) [13.3].

Il y a un large consensus dans la littérature qu’un accord, pour être un bon accord, doit être efficace d’un point de vue environnemental, être rentable, intégrer des considérations de distribution et d’équité, et être faisable institutionnellement (bon accord, nombreuses mises en évidence) [13.3].

Une quantité importante de littérature est parue récemment sur les structures disponibles et potentielles permettant la conclusion de futurs accords internationaux ainsi que sur la substance de ces derniers. Comme cela a déjà été souligné dans les précédents rapports du GIEC, parce que les changements climatiques sont

un problème commun à l'échelle mondiale, toute approche qui n'engloberait pas une part plus importante des émissions mondiales serait plus coûteuse ou moins efficace d'un point de vue environnemental (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [voir chapitre 3] [13.3].

La plupart des propositions pour les accords à venir dans la littérature comprennent une discussion des objectifs, des actions spécifiques, des repères chronologiques, la participation, les arrangements institutionnels, des dispositions sur l'établissement de bilans et sur le contrôle de conformité. D'autres éléments traitent des incitations et des pénalités de non participations ou de non conformité (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

### **Objectifs**

La spécification d'objectifs clairs est un élément important pour tout accord climatique. Ils peuvent aussi bien fournir une vision commune sur la direction à court terme qu'offrir une certitude à plus long terme, ce qui est souhaité par le secteur économique. La fixation d'objectifs aide aussi à structurer les engagements et les institutions, fournit une incitation à stimuler les actions et contribuent à établir des critères pour mesurer le succès de la mise en place des mesures (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

Le choix d'ambitions à long terme influence de façon significative les actions nécessaires à court terme et donc la conception du régime international. Les coûts de diminution dépendent de l'objectif, varient en fonction de la région et dépendent de l'allocation de permis d'émissions en fonction de la région et du niveau de participation (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

Les options de conceptions de régimes internationaux peuvent intégrer des objectifs à court, moyen et long terme. L'une des options est de fixer un objectif pour les concentrations de GES à long terme ou un objectif de stabilisation de la température. Un objectif de ce type doit être basé sur les impacts physiques qui doivent être évités, ou conceptuellement sur la base des dommages monétaires et non monétaires à éviter. Une alternative possible à un accord sur des concentrations spécifiques de CO<sub>2</sub> ou des niveaux de température est un accord sur des actions spécifiques à long terme telles que la R&D de la technologie ou des cibles de diffusion – par exemple « éliminer les émissions de carbone du secteur énergétique vers 2060 ». L'avantage de ce genre d'objectifs réside dans le fait qu'ils peuvent être liés à des actions spécifiques (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

Une autre option consisterait à adopter une "stratégie de couverture", qu'on peut définir comme un objectif à court terme sur les émissions mondiales, depuis où il est possible d'atteindre une série d'objectifs désirables à long terme. Une fois que le but à court terme est atteint, les décisions sur les étapes suivantes peuvent être prises à la lumière des nouvelles connaissances et de niveaux d'incertitude moindres (*accord moyen, mises en*

*évidence moyennement nombreuses*) [13.3].

### **Participation**

La participation des Etats dans les accords internationaux peut varier de très modeste à très complète. Les actions à entreprendre de la part des pays participants peuvent être différenciées aussi bien en termes du moment de l'action, par qui elle sera menée et en quoi elle consistera. Les Etats participant aux mêmes « niveaux » se verraient assigner des engagements de types semblables (ou largement similaires). Les décisions sur comment les Etats devraient être répartis entre niveaux peuvent être basées sur des critères quantitatifs ou qualitatifs, ou être prises « ad hoc ». Conformément au principe de souveraineté, les Etats peuvent choisir à quel groupe ils souhaitent appartenir (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

Un accord peut regrouper des participants selon un modèle statique ou évoluer avec le temps. Dans ce dernier cas, les Etats peuvent être « promus » d'un niveau d'engagements à un autre. La promotion peut être liée au passage de seuils quantifiés pour certains paramètres (ou combinaisons de paramètres) qui ont été prédéfinis dans l'accord, comme les émissions, les émissions cumulées, le PIB par tête, la contribution relative à l'augmentation de température ou d'autres mesures de développement, comme l'Indice de développement humain (IDH) (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

Certains affirment qu'un accord international n'a besoin que des plus gros émetteurs pour être efficace, puisque les 15 plus grands pays (y compris les 25 de l'UE considérés comme un seul) produisent jusqu'à 80% des émissions globales de GES. D'autres affirment que ceux qui portent la responsabilité historique sont ceux qui doivent agir en premier. Un autre point de vue encore part du principe que le développement technologique est le facteur critique pour apporter une solution globale aux changements climatiques, et que les accords doivent donc spécifiquement se fixer comme objectifs le développement technologique pour les pays de l'Annexe I – ce qui, à son tour, permettrait de compenser tout ou partie des fuites d'émissions dans les parties non citées à l'Annexe I. D'autres suggèrent qu'un régime d'accords internationaux sur le problème climatique n'est pas exclusivement lié à l'atténuation, mais englobe aussi l'adaptation – et qu'une série de pays beaucoup plus importante est vulnérable aux changements climatiques et devrait faire partie de toute espèce d'accord (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

### **Astreintes du régime : lier les objectifs, la participation et le déroulement**

Selon la plupart des interprétations en équité, les pays développés, en tant que groupe, devraient réduire leurs émissions de façon significative vers 2020 (10-40% en-dessous des niveaux de 1990) et à des niveaux encore inférieurs vers 2050 (40-95% sous les niveaux de 1990) pour des niveaux de stabilisation faibles à moyens (450-550 ppm CO<sub>2</sub>-éq) [voir aussi le chapitre 3]. Selon la plupart des conceptions de régime considérées pour des niveaux de stabilisation de cet ordre de

grandeur, les émissions des pays en voie de développement doivent dévier en-dessous de leurs émissions de référence projetées au cours des décennies à venir (bon accord, nombreuses mises en évidence). Pour la plupart des pays, le choix du niveau d'ambition à long terme sera plus important que la conception du régime d'émissions-réductions [13.3].

Les coûts totaux à l'échelle globale dépendent largement du scénario de référence, des estimations des coûts marginaux de diminution, du niveau postulé de stabilisation de la concentration [v. aussi les chapitres 3 et 11], du niveau (taille de la coalition) et du degré de participation (comment et quand les autorisations d'émissions sont allouées). Si, par exemple, certaines régions émettrices importantes ne participent pas aux réductions immédiatement, les coûts globaux des régions participantes seront plus élevés si l'objectif est maintenu [voir aussi le chapitre 3]. Les coûts régionaux de la diminution dépendent de l'allocation d'autorisations d'émissions aux régions, et particulièrement de leur déroulement chronologique. Cependant, les niveaux de stabilisation postulés et les scénarios de référence sont plus importants dans la détermination des coûts régionaux [11.3, 13.3]

### **Engagements, déroulement et actions**

Un corpus bibliographique important a vu le jour, qui identifie et évalue une série d'options variées pour les engagements qui pourraient être pris par différents groupes. Le type d'engagement le plus souvent évalué est la réduction pour passer sous le plafond absolu obligatoire d'émissions intégré au Protocole de Kyoto pour les pays de l'Annexe I. La conclusion générale de cette littérature est que des régimes de ce type fournissent une certitude quant aux futurs niveaux d'émissions des pays participants (en partant du principe qu'ils sont passés sous le plafond). De nombreux auteurs proposent que les plafonds soient atteints à l'aide de toute une série d'approches dites « de flexibilité », intégrant de nombreux GES et de nombreux secteurs de même que de multiples pays par l'intermédiaire des échanges d'émissions et / ou de mécanismes basés sur les projets (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

Alors qu'une variété d'auteurs proposent que les plafonds absolus soient appliqués à tous les pays dans le futur, beaucoup ont fait part de leur préoccupation par rapport à la rigidité de cette approche, qui pourrait restreindre la croissance économique au-delà du raisonnable. Il n'y a pas d'approche consensuelle, mais la littérature a fourni de multiples alternatives pour faire face à ce problème, y compris des « cibles dynamiques » (où les obligations évoluent avec le temps) et des limites sur les prix (plafonds évoluant avec le temps), et des limites sur les prix (en plafonnant les coûts de la mise en conformité à un niveau donné – ce qui permettrait non seulement de limiter les coûts mais d'aller au-delà de l'objectif environnemental). Ces options ont pour objectif de conserver les avantages de l'échange international d'émissions tout en donnant plus de flexibilité à la mise en conformité (*bon accord, nombreuses mises en évidence*). Cependant, il y a un choix à faire entre les coûts et la certitude d'atteindre un certain niveau d'émissions [13.3].

### **Mécanismes du marché**

Les approches internationales basées sur le marché peuvent offrir des moyens rentables de faire face aux changements climatiques s'ils intègrent une large couverture de pays et de secteurs. Jusqu'à présent, seuls quelques systèmes d'échanges d'émissions domestiques sont en place, le MEE de l'UE étant jusqu'à présent l'effort le plus important pour établir un système de ce type, avec plus de 11'500 usines à qui des droits d'émissions ont été alloués de même que l'autorisation de vendre et d'acheter ces droits (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.2].

Bien que le Mécanisme pour un développement propre soit en croissance rapide, les flux financiers totaux pour le transfert de technologies sont restés limités jusqu'à présent. Les gouvernements, les organisations multilatérales et les firmes privées ont établi près de 6 milliards de dollars US en fonds du carbone pour les projets de réduction du carbone, principalement via le MDP. Les flux financiers en direction des pays en voie de développement via les projets du MDP atteignent des niveaux de l'ordre de plusieurs milliards de US\$ / an, soit plus que le Fonds mondial pour l'environnement FEM), à peu près autant que les flux d'aide au développement liés à l'énergie, et moins (en termes d'ordre de grandeur) que les flux d'investissements internationaux directs (IID) (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

Nombreux sont ceux qui ont affirmé qu'un élément-clé pour qu'un accord sur le changement climatique réussisse sera sa capacité à stimuler le développement et le transfert de technologie – sans quoi il peut se révéler difficile d'atteindre des réductions d'émissions à une échelle significative. Le transfert de technologie en direction des pays en voie de développement dépend principalement des investissements. Créer des conditions-cadres pour les investissements, pour le progrès technologique et pour des accords technologiques internationaux est quelque chose d'important. Un mécanisme permettant le transfert de technologie pourrait consister en la mobilisation des investissements à fins de couvrir le coût incrémental de l'atténuation et de l'adaptation aux changements climatiques. Les accords technologiques internationaux devraient affermir l'infrastructure liée aux connaissances (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

Un certain nombre de chercheurs ont suggéré que les approches sectorielles peuvent fournir un cadre approprié pour les accords post-Kyoto. Dans un système de ce genre, des cibles spécifiques pourraient être fixées, en commençant par des secteurs particuliers ou des industries qui sont particulièrement importantes, plus faciles à prendre en compte d'un point de vue politique, globalement homogènes ou relativement à l'abri de la concurrence des autres secteurs. Des accords sectoriels peuvent fournir un degré supplémentaire de flexibilité politique et rendre les efforts de comparaison au sein d'un secteur entre différents pays plus aisés, mais se révéler moins rentables, en raison du fait que les échanges au sein d'un seul secteur seront intrinsèquement plus coûteux que des échanges entre tous les

secteurs (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

### **Coordination / harmonisation des politiques publiques**

Des politiques et des mesures coordonnées pourraient représenter une alternative ou compléter des objectifs internationalement convenus pour la réduction des émissions. Un certain nombre de politiques publiques ont fait l'objet de discussions dans la littérature, politiques qui pourraient atteindre cet objectif, y compris les taxes (comme les taxes sur le CO<sub>2</sub> ou sur l'énergie) ; la coordination / libéralisation des échanges ; la R&D ; les politiques sectorielles et les politiques qui modifient les investissements étrangers directs. Selon l'une des propositions, toutes les nations participantes – industrialisées et en voie de développement sur pied d'égalité – taxeraient leurs usages domestiques du carbone à un taux commun, atteignant ainsi la rentabilité par rapport aux coûts. D'autres soulèvent que si un prix du carbone égal pour tous les pays est efficient d'un point de vue économique, il pourrait ne pas être politiquement possible dans le contexte des distorsions de taxes existantes (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

Il y a une interaction considérable entre les politiques et les mesures prises au niveau national et sub-national et les actions entreprises par le secteur privé d'une part, et entre les politiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique et les politiques publiques liées à d'autres thématiques d'autre part. Il existe un certain nombre de politiques publiques non climatiques qui peuvent avoir une influence importante sur les émissions de GES [v. chapitre 12] (*bon accord, nombreuses mises en évidence*). Les nouvelles recherches menées sur les futurs accords internationaux pourraient se concentrer sur la compréhension des interrelations entre les politiques climatiques, les politiques non climatiques et le développement durable, et sur les solutions pour accélérer l'adoption des outils technologiques et politiques existants [13.3].

Un aperçu de comment les différentes approches des accords internationaux sur le climat, tels qu'ils sont présentés ci-dessus, sont notés par les critères donnés en introduction figure dans le tableau RT 21. D'autres accords internationaux bénéficieraient d'un soutien plus vif s'ils correspondaient à ces critères (*bon accord, nombreuses mises en évidence*) [13.3].

**Tableau RT 21:** Évaluation des accords internationaux sur les changements climatiquesa [Tableau 13.3].

Approche	Efficacité environnementale	Rapport coût/efficacité	Prend en compte les aspects liés à la distribution	Faisabilité institutionnelle
Objectifs d'émissions nationaux et échanges internationaux d'émissions (y compris les compensations)	Dépend de la participation et de la mise en conformité	Baisse avec la participation, avec le nombre de secteurs et de gaz pris en considération	Dépend des allocations initiales	Dépend de la capacité à préparer des inventaires et des mises en conformité. Les lacunes affaiblissent la stabilité du régime
Accords sectoriels	Tous les secteurs ne sont pas enclins à des accords de ce type, ce qui limite l'efficacité totale. L'efficacité dépend du caractère contraignant ou non de l'accord	Le manque d'échanges entre les secteurs augmente les coûts totaux, bien que les accords puissent être d'un rapport coût/efficacité satisfaisant au sein de l'un ou l'autre secteur. Les questions de concurrence sont réduites au sein de chaque secteur	Dépend de la participation. Les questions de compétitivité intra-sectorielle sont allégées si elles sont traitées sur pied d'égalité au niveau global	Nécessite de nombreuses décisions distinctes et une capacité technique. Chaque secteur peut avoir besoin d'institutions à l'échelle du pays pour gérer les accords
Politiques et mesures coordonnées	Les mesures individuelles peuvent être efficaces; les niveaux d'émissions peuvent être incertains ; le succès sera fonction de la mise en conformité	Dépend de la conception des politiques publiques	L'étendue de la coordination pourrait diminuer la flexibilité nationale, mais accroître l'équité	Dépend du nombre de pays (plus facile dans de petits groupes de pays qu'à l'échelle mondiale)
Coopération technologique sur la R&D	Dépend du financement, du moment où les technologies sont développées et des politiques de diffusion	Varie avec le degré de risque de R&D. La coopération réduit le risque national particulier	Les problèmes de propriété intellectuelle peuvent détruire les avantages de la coopération	Nécessite de nombreuses décisions séparées. Dépend de la capacité de recherche et du financement à long terme.
Actions orientées vers le développement	Dépend des politiques nationales et de la conception pour créer des synergies	Dépend de l'ampleur des synergies avec les autres objectifs de développement	Dépend des effets de distribution des politiques de développement	Dépend de la priorité donnée au développement durable dans les politiques nationales et dans les objectifs des institutions nationales
Mécanismes financiers	Dépend du financement	Dépend du pays et du type de projet	Dépend des critères de sélection du pays et du projet	Dépend des institutions nationales
Renforcement des capacités	Varie à travers le temps et dépend de la masse critique	Dépend de la conception du programme	Dépend de la sélection du groupe destinataire	Dépend du pays et du cadre institutionnel

a) Le tableau examine chaque approche sur la base de sa capacité à remplir ses objectifs internes – non pas en relation avec le fait qu'elle atteigne ou non un objectif environnemental global. Si de tels objectifs doivent être atteints, une combinaison d'instruments devra être adoptée. Toutes les approches n'ont pas d'évaluations équivalentes dans la littérature ; les preuves varient pour étayer les différents éléments de la matrice.

b) Recherche, développement et démonstration

## 14 Lacunes dans les connaissances

Les lacunes dans les connaissances se rapportent à deux aspects de l'atténuation des changements climatiques :

- Lorsque des collectes de données, des modélisations et des analyses complémentaires permettraient de combler les lacunes dans les connaissances, et que le savoir plus complet qui en résulterait pourrait aider à la prise de décision sur les mesures et les politiques d'atténuation des changements climatiques ; dans une certaine mesure, ces lacunes se reflètent dans les incertitudes rapportées dans ce document.
- Lorsque la recherche et le développement permettraient d'améliorer les technologies d'atténuation et/ou en réduire les coûts. Cet aspect important n'est pas envisagé dans cette section, mais il est traité dans les chapitres pertinents.

### *Séries de données et projections d'émissions*

Malgré la grande variété des sources et des bases de données sous-jacentes au présent rapport, il existe encore des lacunes pour disposer de données précises et fiables par secteur et par processus spécifique, spécialement en lien avec les GES non-CO<sub>2</sub>, avec le carbone noir ou le carbone organique, et par rapport au CO<sub>2</sub> de différentes sources, comme la déforestation, la décomposition de la biomasse et les feux de tourbière. Un traitement cohérent des GES non CO<sub>2</sub> dans les méthodologies qui sous-tendent les scénarios d'émissions futures de GES manque souvent [Chapitres 1 et 3].

### *Liens entre les changements climatiques et les autres politiques publiques*

L'une des innovations-clés du présent rapport est l'approche intégrée entre l'évaluation de l'atténuation des changements climatiques et des choix de développement plus larges, comme les impacts des politiques de développement (durable) sur les émissions de GES et vice versa.

Toutefois, il existe toujours un manque de mises en évidence empiriques de l'ampleur et de la direction de l'interdépendance et de l'interaction entre développement durable et changements climatiques, des relations de l'atténuation et de l'adaptation en liaison avec les aspects développementaux, et des implications de l'atténuation et de l'adaptation en termes d'équité. La littérature qui s'intéresse aux liens entre l'atténuation et le développement durable et, plus spécifiquement, sur la façon de capter les synergies et de minimiser les choix à faire, en prenant en compte les rôles de l'Etat, du marché et de la société civile, est encore mince. Il est nécessaire de procéder à de nouvelles recherches sur les liens entre changements climatiques et politiques nationales et locales (y compris, mais sans se limiter à la sécurité énergétique, l'eau, la santé, la pollution de l'eau, la foresterie, l'agriculture) qui pourraient aboutir à des résultats politiquement faisables, économiquement séduisants et bénéfiques d'un point de vue environnemental. Il serait aussi utile d'élaborer des modèles de développement potentiels

que les nations et les régions peuvent mettre en place, ce qui fournirait les chaînons manquants entre la protection du climat et les questions de développement. L'inclusion de macro-indicateurs de développement durable qui peuvent suivre les progrès soutiendrait une analyse de ce genre [chapitres 2, 12 et 13].

### *Études des coûts et des potentiels*

Les études des potentiels et des coûts d'atténuation dont ont disposé diffèrent par leur traitement méthodologique et ne couvrent pas l'ensemble des secteurs, des GES ou des pays. En raison de la différence entre leurs postulats, par exemple, par rapport aux valeurs de référence et à la définition des potentiels et des coûts, leur comparabilité est souvent limitée. De plus, le nombre d'études des coûts d'atténuation, des potentiels et des instruments pour les pays qui appartiennent aux Economies en transition et la plupart des régions en voie de développement est plus restreint que pour les pays développés et pour certains (grands) pays en voie de développement.

Le présent rapport compare les coûts et les potentiels d'atténuation en se basant sur des données ascendantes provenant d'analyses sectorielles, avec les données de coûts et de potentiels provenant de modèles intégrés dans une perspective descendante. La correspondance au niveau sectoriel est encore limitée, en partie à cause du manque de données ou de données incomplètes issues des études ascendantes, et de différences dans les définitions des secteurs et des postulats de référence. Des études intégrées qui intègrent des éléments ascendants et descendants sont nécessaires. [Chapitres 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10].

Une autre lacune importante concerne la compréhension des effets de débordement (les effets des mesures d'atténuation domestiques ou sectorielles sur d'autres pays ou secteurs). Les études indiquent une large amplitude (effets de fuite<sup>20</sup> de la mise en place du protocole de Kyoto se situant entre 5 et 20% vers 2010), mais une base empirique fait défaut. Il serait utile de disposer d'études plus empiriques [chapitre 11].

La compréhension des futurs potentiels et coûts de l'atténuation ne dépend pas seulement de l'impact attendu de la R&D sur les caractéristiques de performance technologique, mais aussi sur "l'apprentissage technologique", sur la diffusion et le transfert de technologie qui ne sont souvent pas pris en compte dans les études sur l'atténuation. Les études portant sur l'influence du progrès technologique sur les coûts de l'atténuation ont la plupart du temps une base empirique restreinte et sont souvent en contradiction.

La mise en place d'un potentiel d'atténuation peut se trouver en concurrence avec d'autres activités. Par exemple, les potentiels de la biomasse sont importants, mais il peut y avoir beaucoup de choix à faire avec la production vivrière,

<sup>20</sup> Les fuites de carbone sont une démonstration des effets de débordement et représentent l'augmentation d'émissions de CO<sub>2</sub> à l'extérieur des pays qui prennent des mesures, divisé par la réduction des émissions dans ces pays.

la foresterie ou la conservation de la nature. L'ampleur du déploiement possible de la biomasse à travers le temps est encore mal comprise.

En général, il subsiste un besoin constant de meilleure compréhension de comment les rythmes d'adoption de technologies d'atténuation climatique sont liés aux politiques nationales et régionales, qu'elles soient climatiques ou non, aux mécanismes du marché (investissements, évolution des préférences des consommateurs), au comportement humain et à l'évolution technologique, aux changements dans les systèmes productifs, au commerce et à la finance et aux arrangements institutionnels.

