

## *Chapitre 1*

# **Émissions de gaz à effet de serre et impact du changement climatique**

*Le présent chapitre décrit les tendances antérieures et les prévisions d'évolution des émissions de gaz à effet de serre. Il expose les conséquences potentielles du changement climatique en cas d'inaction et analyse les risques et les incertitudes associés. Ce chapitre évalue quatre scénarios différents de stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre, et examine la variation des coûts de l'action en fonction de l'objectif de stabilisation, de l'année où les émissions culminent et du degré de dépassement de l'objectif. Tous ces scénarios partent de l'hypothèse que les politiques d'atténuation sont efficaces par rapport à leur coût, c'est-à-dire qu'une tarification de l'ensemble des sources d'émissions de carbone est possible au niveau mondial, afin de fournir un point de repère pour l'examen, dans les chapitres ultérieurs, de scénarios plus réalistes.*

## Principaux messages

- *Les émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) ont approximativement doublé depuis le début des années 70, et elles seront sans doute à nouveau multipliées par deux au cours de la période 2008-2050 si de nouvelles mesures ne sont pas prises pour les réduire. Dans cette éventualité, la concentration de CO<sub>2</sub> passerait à environ 525 parties par million (ppm) et celle de l'ensemble des GES à 650 ppm d'équivalent CO<sub>2</sub> à l'horizon 2050, et les deux continueraient d'augmenter après cette date, avec à la clé une élévation de la température moyenne d'au moins 4 à 6 °C d'ici à 2100 et une hausse plus importante encore dans les décennies suivantes.*
- *Les dommages anticipés dans le cadre de ce scénario sont entourés d'importantes incertitudes économiques et environnementales, mais des pertes très lourdes ne sont pas à exclure et ce sont les pays en développement qui devraient payer le plus lourd tribut. Étant donné ces incertitudes, une réponse économiquement rationnelle consisterait à ramener les émissions mondiales à un niveau assurant une « faible » probabilité de voir le changement climatique provoquer des dommages extrêmes et irréversibles.*
- *Quatre scénarios mondiaux de stabilisation de la concentration atmosphérique de GES sont examinés. Alors que la différence entre eux tient surtout aux délais retenus, la plupart supposent une réduction substantielle des émissions mondiales par rapport au niveau actuel et par rapport au niveau de référence à l'horizon 2050 en l'absence de nouvelles mesures.*
- *Les résultats montrent que des objectifs ambitieux de réduction des émissions de GES peuvent être atteints de façon efficace et économe grâce à une tarification mondiale du carbone, et ce pour un coût économique (perte de PIB) qui pourrait être relativement modeste. En effet, en cas de tarification mondiale, il serait possible de réduire les émissions d'abord là où c'est le moins coûteux. Ainsi, d'après les projections, stabiliser les concentrations à long terme de CO<sub>2</sub> à environ 450 ppm et les concentrations de l'ensemble des GES à environ 550 ppm d'équivalent CO<sub>2</sub>, en permettant un léger dépassement de l'objectif, abaisserait de 0.1 point de pourcentage la croissance annuelle moyenne du PIB mondial entre 2012 et 2050. Cela se traduirait en 2050 par un PIB mondial inférieur de seulement 4 % environ à celui du scénario de référence, malgré une forte hausse du prix du carbone, qui passerait de moins de 30 USD en 2008 à quelque 280 USD en 2050. En outre, cette perte de PIB de 4 % en 2050 est à rapprocher de la croissance cumulée du PIB au cours de la période considérée, qui serait supérieure à 250 %.*
- *Compte tenu de cette hausse du PIB, la situation financière des citoyens serait en moyenne meilleure dans trente ou quarante ans qu'aujourd'hui. En revanche, si les GES continuent de s'accumuler dans l'atmosphère au rythme actuel, le coût d'un abaissement de la concentration atmosphérique à un niveau acceptable deviendra à terme prohibitif. En outre, la mise au point de technologies peu émettrices de carbone prendra du temps, et les investisseurs ont besoin aujourd'hui d'un signal-prix à long terme clair et crédible pour prendre les décisions appropriées.*

## Introduction

Le rythme des émissions atmosphériques de gaz à effet de serre s'est considérablement accéléré depuis le milieu des années 90, sous l'effet principalement de la forte croissance économique enregistrée dans les pays en développement. Si l'on peut s'attendre à ce que les émissions mondiales baissent quelque peu du fait de l'actuelle crise économique – et de la probable contraction de la production

mondiale en 2009 –, il est vraisemblable que cela n'aura qu'un effet temporaire sur l'accumulation de GES dans l'atmosphère. De fait, au vu des tendances récentes et en l'absence de mesures d'atténuation d'envergure, les émissions devraient quasiment doubler d'ici à 2050 et continuer de progresser par la suite, contribuant ainsi à un réchauffement continu de la planète.

Le présent chapitre examine l'évolution récente des émissions par type de gaz, par région et par secteur. Il décrit ensuite le scénario de politiques inchangées (scénario de référence), par rapport auquel peuvent être évalués ceux qui tablent sur l'adoption de nouvelles mesures destinées à faire baisser les émissions (scénarios d'action). Dans ce scénario de référence, on suppose qu'aucune nouvelle mesure de lutte contre le changement climatique n'est mise en œuvre, et les émissions futures sont calculées sur la base d'un certain nombre d'hypothèses concernant l'évolution à long terme de la croissance de la production, des prix relatifs des combustibles fossiles et des gains potentiels d'efficacité énergétique (voir les détails à l'annexe 1). Ce chapitre passe aussi brièvement en revue les principales répercussions qu'aura vraisemblablement le changement climatique sur différentes facettes du bien-être humain, en particulier les activités économiques, mettant en évidence certaines différences entre les grandes régions de la planète. Puis, il analyse différents scénarios qui correspondent chacun à un abaissement substantiel des émissions mondiales entre aujourd'hui et 2050, et qui supposent tous qu'il est possible d'instituer un prix mondial du carbone. Tous ces scénarios sont évalués au moyen d'un modèle d'équilibre général calculable (ENV-Linkages) qui permet une ventilation des effets par secteur de production (voir les détails à l'annexe 2).

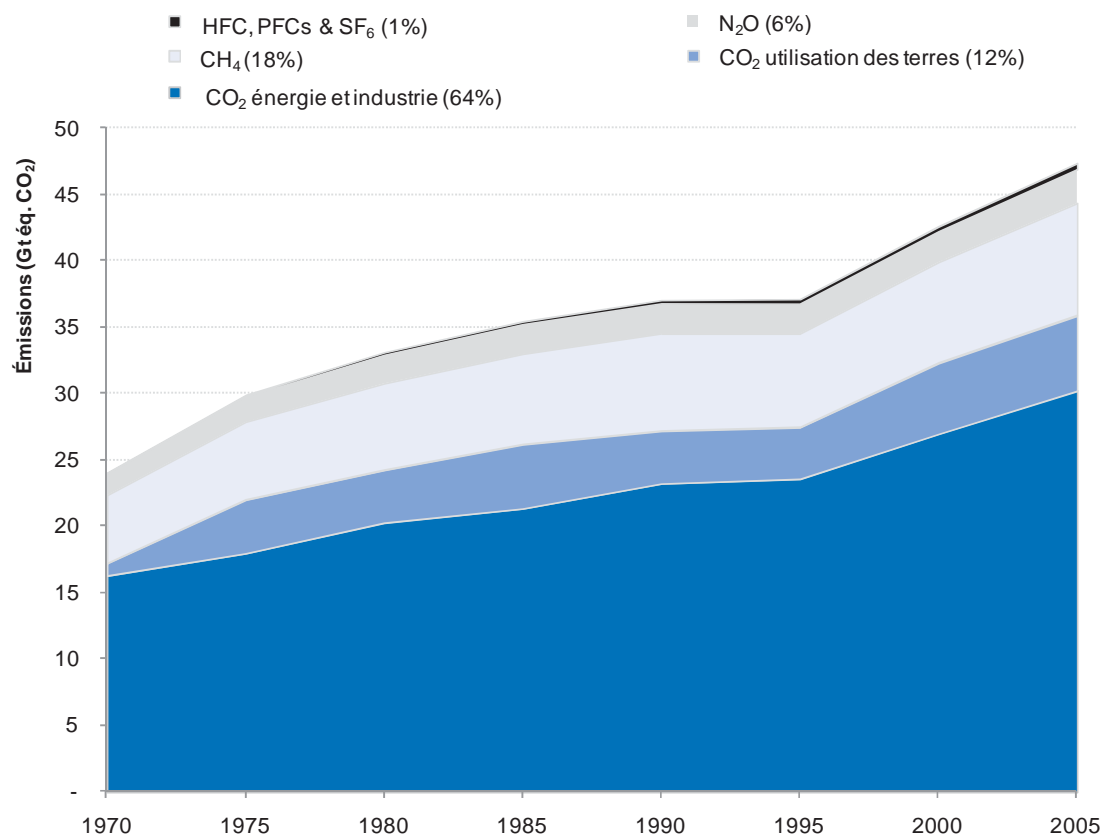
### 1.1. Évolutions antérieures des émissions

Les émissions mondiales de GES ont *grosso modo* doublé depuis le début des années 70 pour s'établir à environ 47 gigatonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> (Gt éq. CO<sub>2</sub>) en 2005 (graphique 1.1). Les émissions anthropiques de GES sont constituées actuellement à plus de 99 % de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de méthane (CH<sub>4</sub>) et d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), la part restante étant composée d'hydrofluorocarbones (HFC), d'hydrocarbures perfluorés (PFC) et d'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>). Les émissions de gaz autres que le CO<sub>2</sub> proviennent entre autres de l'agriculture (riziculture, élevage, utilisation d'engrais), de l'extraction de charbon et de gaz, des décharges et de différents procédés chimiques qui entrent en jeu dans la production d'acier et de produits chimiques. Si le plus gros des émissions de CO<sub>2</sub> est lié à l'énergie, une proportion non négligeable – plus de 20 % – est le résultat de changements d'affectation des terres qui comprennent le déboisement, et la production de ciment est une autre source notable d'émissions non énergétiques de CO<sub>2</sub>.

Après deux décennies de ralentissement<sup>1</sup>, les émissions sont reparties résolument à la hausse en 1995, progressant au rythme d'environ 2.5 % par an en moyenne durant la période 1995-2005. L'accroissement des émissions mondiales intervenu au cours des quatre dernières décennies, y compris la récente accélération, a été en grande partie le fait de pays non membres de l'OCDE (graphique 1.2). Cependant, les émissions ont augmenté dans quasiment toutes les grandes régions entre 1990 et 2005 (sauf en Europe de l'Ouest, où un léger recul a été enregistré)<sup>2</sup>. Conséquence de ces évolutions, la part des pays de l'OCDE dans les émissions totales de GES est passée de 55 % en 1970 à un peu plus de 35 % aujourd'hui. Ce sont les secteurs de l'électricité et des transports qui ont contribué le plus à la récente reprise de l'augmentation des émissions mondiales, du fait de leur croissance rapide dans les pays en développement (graphique 1.3).

**Graphique 1.1. Évolution des émissions mondiales par gaz<sup>1</sup>**

(1970-2005)

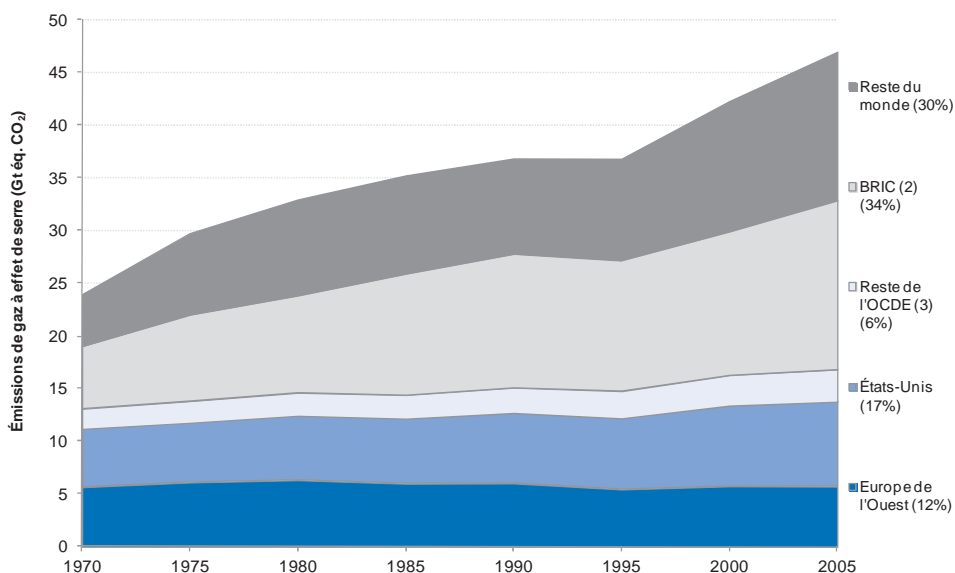


1. Le pourcentage entre parenthèses correspond à la part dans les émissions totales en 2005.

Source : Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030 (2008b).

Même si leur part des émissions mondiales a diminué, les pays de l'OCDE continuent d'afficher des rejets par habitant bien plus élevés que la plupart des autres régions de la planète (graphique 1.4). Comparées aux émissions par habitant de la Chine, de l'Inde, des pays exportateurs de pétrole et du reste du monde, celles du Japon et de l'Union européenne restent presque deux fois supérieures, celles de la Russie, trois fois supérieures, et celles du Canada, de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande et des États-Unis, entre quatre et six fois supérieures. L'explication tient dans une large mesure au fait que le PIB par habitant est beaucoup plus élevé dans ces économies avancées. En revanche, le classement des pays et régions en fonction des émissions de CO<sub>2</sub> par unité produite est assez différent (graphique 1.5), ce qui s'explique généralement par la plus grande efficacité énergétique et/ou la plus faible intensité de carbone du bouquet énergétique dans les économies plus avancées. Cependant, les émissions de CO<sub>2</sub> par unité produite varient sensiblement à l'intérieur du groupe de ces économies, puisque les structures de production du Japon et de l'Europe se caractérisent par une intensité d'émissions de CO<sub>2</sub> sensiblement moins élevée que celles des États-Unis, du Canada et de l'Australie. La moindre efficacité énergétique affichée par les pays émergents, conjuguée à leur poids de plus en plus important dans la croissance du PIB mondial, a contribué à ralentir ces dernières années la progression de cette efficacité – et la baisse de l'intensité de CO<sub>2</sub> – au niveau mondial.

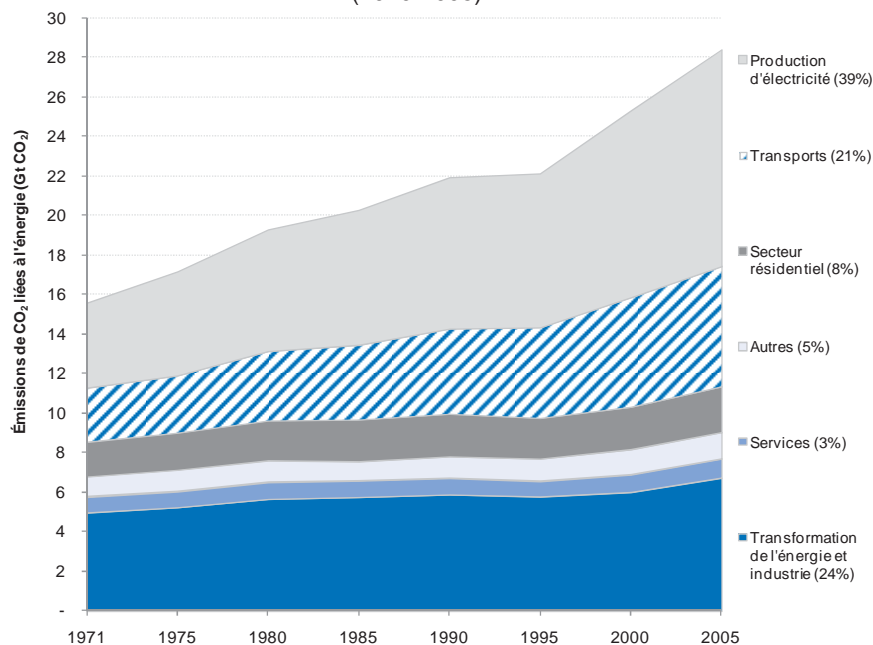
**Graphique 1.2. Évolution des émissions mondiales par pays/région<sup>1</sup>**  
(1970-2005)



1. Y compris les émissions imputables à l'utilisation des terres, aux changements d'affectation des terres et à la foresterie. Le pourcentage entre parenthèses correspond à la part dans les émissions totales en 2005.
2. Brésil, Russie, Inde et Chine.
3. Le Reste de l'OCDE ne comprend pas la Corée, le Mexique et la Turquie, qui sont comptabilisés dans le Reste du monde (RdM).

Source : Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030 (2008b).

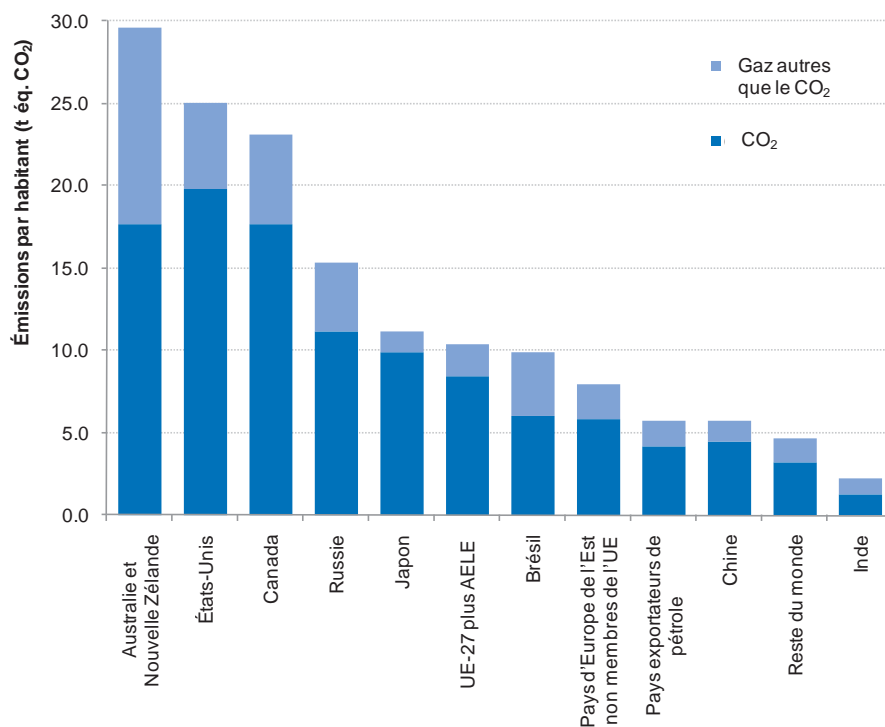
**Graphique 1.3. Évolution des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie par secteur<sup>1</sup>**  
(1970-2005)



1. Le pourcentage entre parenthèses correspond à la part dans les émissions totales en 2005.

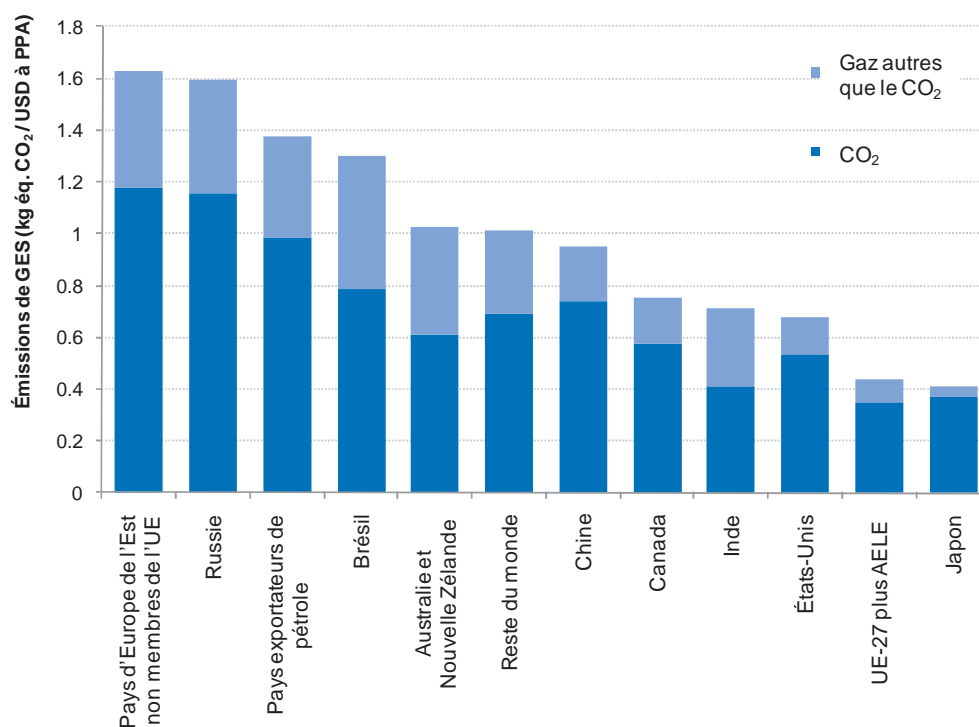
Source : Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030 (2008b).

Graphique 1.4. Émissions de GES par habitant, par pays/région, 2005



Source : AIE.

Graphique 1.5. Émissions de GES par unité de PIB, par pays/région, 2005



Source : AIE.

## 1.2. Évolutions prévues des émissions

Pour pouvoir évaluer les coûts et les effets des politiques d'atténuation du changement climatique, il faut commencer par déterminer quelle serait l'évolution future des émissions mondiales en l'absence de nouvelles politiques, c'est-à-dire établir une « projection au fil de l'eau » ou « projection de référence », dans laquelle on présume qu'aucune mesure de limitation des émissions ne sera prise en plus de celles déjà en vigueur ou prévues en 2005. En l'occurrence, un profil de la période 2005-2050 est généré au moyen d'un modèle d'équilibre général calculable qui assure une ventilation poussée par secteur (le modèle ENV-Linkages de l'OCDE, voir l'annexe 2). Par ailleurs, la projection de référence se fonde sur l'hypothèse d'une convergence qui voit les niveaux de revenu dans les pays en développement se rapprocher de ceux des pays développés au cours des prochaines décennies (encadré 1.1 et annexe 1). Étant donné que le scénario a été construit avant la récession mondiale de 2009, il retient l'hypothèse d'une croissance annuelle moyenne du PIB mondial (en USD de 2005 à parités de pouvoir d'achat – PPA – constantes) d'environ 3.5 % sur la période 2006-2050 (tableau A2.1, annexe 1), soit un chiffre légèrement inférieur à la moyenne de la période 2000-2006. Globalement, le PIB mondial moyen par habitant en USD à PPA constantes devrait plus que tripler entre 2006 et 2050. Exprimée en USD de 2005 constants aux taux de change du marché, la croissance de référence du PIB mondial par habitant jusqu'en 2030 se situe à peu près au milieu de la fourchette d'estimations donnée dans le Rapport spécial sur les scénarios d'émissions du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) (Nakicenovic *et al.* 2000). Outre la croissance du PIB, les principaux déterminants des émissions prévues sont notamment les hypothèses concernant les prix des combustibles fossiles et gains d'efficacité énergétique futurs (encadré 1.1 et annexe 2). Enfin, la projection de référence suppose le maintien à l'avenir du système d'échange de quotas d'émission de l'UE (SCEQE) (voir le chapitre 7), ainsi qu'une convergence graduelle du prix de la tonne de CO<sub>2</sub> vers 25 USD et sa stabilisation à ce niveau (en termes réels) après 2012.

### Encadré 1.1. Méthode de construction du scénario économique de référence

#### *Hypothèses concernant les déterminants du PIB*

Les scénarios économiques de référence des projections relatives au changement climatique – comme ceux élaborés pour le GIEC (Nakicenovic *et al.*, 2000) – supposent généralement une certaine convergence graduelle des niveaux de revenu vers ceux des économies les plus avancées. L'approche adoptée ici est comparable, mais elle s'attache plus particulièrement à intégrer une partie des connaissances théoriques et empiriques actuelles concernant la croissance économique à long terme, et à formuler des hypothèses transparentes s'agissant des déterminants de la croissance du PIB au cours de la période de prévision (pour une présentation des hypothèses, des résultats détaillés et des sources de données, voir l'annexe 1).

Comme dans les travaux antérieurs de l'OCDE (OCDE, 2004), les projections intègrent une hypothèse de « convergence conditionnelle ». Compte tenu des résultats d'études antérieures (par exemple, Hall et Jones, 1999 ; Easterly et Levine, 2001) et sur la base d'une fonction de production agrégée standard de Cobb-Douglas comprenant le capital physique, le capital humain, le travail et le progrès technologique générateur d'économies de travail, le PIB par habitant est dans un premier temps décomposé comme suit pour 2005 :

$$Y_t / Pop_t = (K_t / Y_t)^{\alpha/(1-\alpha)} A_t h_t (L_t / Pop_t)$$

où  $Y_t/Pop_t$ ,  $K_t/Y_t$ ,  $A_t$ ,  $h_t$  et  $L_t/Pop_t$  désignent respectivement le niveau du PIB par habitant (obtenu en utilisant les taux de change à PPA pour convertir les PIB nationaux en une monnaie commune), le coefficient de capital, la productivité totale des facteurs (PTF), le capital humain par travailleur et le taux d'emploi.  $\alpha$  est la part du capital dans la production globale.

*Suite de l'encadré 1.1 page suivante*



### Encadré 1.1. Méthode de construction du scénario économique de référence

(suite)

Sur cette base sont ensuite élaborées des projections à long terme pour chacune des quatre composantes afin d'obtenir une prévision de la trajectoire future du PIB par habitant :

- La croissance annuelle à long terme de la PTF « à la frontière », qui est définie comme la moyenne des pays de l'OCDE à « PTF élevée », est de 1.5 %. Le rythme auquel les autres pays convergent vers cette frontière est présumé évoluer progressivement vers la valeur de 2 % par an.
- Là où il culmine actuellement, le capital humain de la tranche d'âge des 25-29 ans est présumé se stabiliser, compte tenu des évolutions observées dans le passé. Le rythme auquel les autres pays convergent vers cette frontière est présumé évoluer progressivement vers la moyenne mondiale de la période 1960-2000. Des projections du capital humain de la population d'âge actif sont ensuite établies par cohortes.
- Dans tous les pays, les coefficients de capital convergent progressivement vers les niveaux actuellement enregistrés aux États-Unis, qui sont présumés implicitement se trouver sur une trajectoire de croissance équilibrée. En d'autres termes, le rendement marginal du capital converge entre les pays à très long terme, dans un contexte mondial de mobilité des capitaux internationaux.
- Les projections concernant l'emploi combinent des scénarios relatifs à la démographie, à la participation et au chômage. Les projections démographiques officielles des Nations Unies (scénario de référence) ont été utilisées. Dans les pays de l'OCDE où la participation est actuellement la plus élevée, l'âge de la retraite futur est en partie indexé sur l'espérance de vie. Ailleurs, les taux de participation convergent progressivement vers la moyenne des pays « à la frontière ». Les taux de chômage convergent vers 5 %.

Ce cadre a été appliqué à 76 pays qui représentaient 90 % du PIB mondial et de la population mondiale en 2005. Pour tous les autres pays, le scénario de convergence de la productivité appliqué renvoie à la productivité du travail ou au PIB par habitant plutôt qu'à la PTF.

L'approche adoptée répond sur deux plans aux critiques formulées récemment à l'encontre des projections économiques faisant appel aux taux de change du marché, qui représentent la grande majorité des scénarios publiés dans les ouvrages spécialisés (Castles et Henderson, 2003a, 2003b ; Henderson, 2005). Elle y parvient par deux moyens : (i) en utilisant les parités de pouvoir d'achat (PPA), et non les taux de change du marché, pour comparer les niveaux de revenu par habitant de départ ; et (ii) en postulant une croissance plus rapide de la productivité à l'avenir dans les secteurs exportateurs que dans les secteurs non exportateurs, conformément aux évolutions observées dans le passé. Étant donné cet effet « Baumol-Balassa-Samuelson », le taux de change réel des pays qui connaissent une croissance rapide s'apprécie généralement. Par conséquent, la trajectoire du PIB par travailleur à PPA produite par le modèle ENV-Linkages combine un effet de volume (croissance du PIB en monnaie nationale constante) et un effet de prix relatif (appréciation du taux de change réel), et c'est le premier des deux qui est le principal déterminant des émissions.

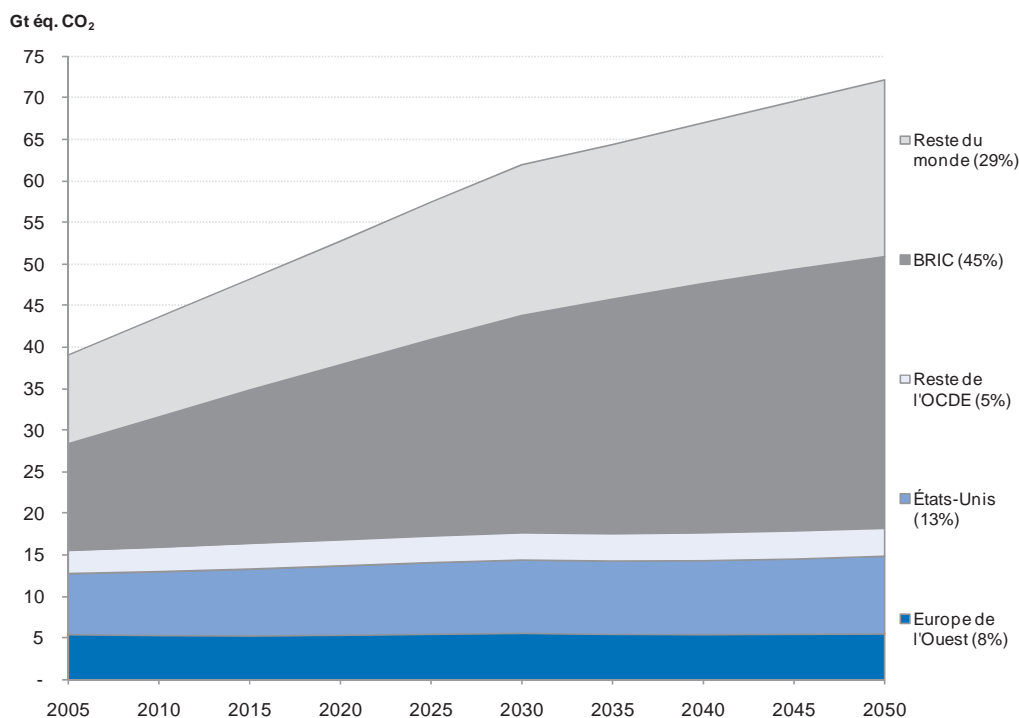
#### *Hypothèses concernant les déterminants des émissions*

Le scénario de référence ayant été établi en tenant compte de la flambée du prix international du pétrole brut qui a précédé la crise actuelle, il intégrait l'hypothèse d'un prix du baril qui culmine à 100 USD (aux prix réels de 2007) en 2008, reste constant en termes réels jusqu'en 2020 et augmente ensuite régulièrement pour atteindre 122 USD en 2030. Après cette date, il est prévu que la production de brut des pays producteurs de pétrole accuse une décline progressive – ce qui rend compte de façon approximative du caractère limité des réserves –, de sorte que le prix réel du pétrole brut augmente régulièrement, au rythme de 1 % par an, durant la période 2030-2050 (voir l'annexe 2 pour plus de détails). Le prix international du gaz naturel est supposé suivre celui du pétrole brut jusqu'en 2030, mais ce lien s'affaiblit ensuite quelque peu car l'élasticité de l'offre à long terme est présumée plus forte dans le cas du gaz que dans celui du pétrole. Par ailleurs, il est prévu que les prix du charbon n'augmentent que modestement (en termes réels) par rapport aux niveaux récents. On table sur un prix du charbon vapeur de 100 USD la tonne en 2008, conformément à l'hypothèse de forte élasticité de l'offre à long terme. Les gains futurs d'efficacité énergétique ont été étalonnés sur la base des prévisions de la demande énergétique de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), qui partent de l'hypothèse d'un affaiblissement progressif du lien entre la croissance économique et la croissance de la demande d'énergie, en particulier après 2030.



D'après la projection de référence, les émissions mondiales annuelles de GES – qui comprennent les rejets de gaz autres que le CO<sub>2</sub> mais, fait important, n'intègrent pas les émissions de CO<sub>2</sub> découlant des changements d'affectation des terres – seront presque multipliées par deux entre 2005 et 2050, passant de 39 Gt éq. CO<sub>2</sub> à environ 72 Gt éq. CO<sub>2</sub> (graphique 1.6). Cette progression interviendrait en dépit de l'hypothèse d'un glissement progressif vers un bouquet énergétique caractérisé par une moindre intensité d'émissions de GES, et surtout malgré des gains d'efficacité énergétique présumés importants<sup>3</sup>. Le Brésil, la Chine, l'Inde et d'autres pays en développement seraient à l'origine de la majeure partie de l'augmentation des émissions mondiales, beaucoup d'entre eux affichant des taux d'accroissement des émissions généralement supérieurs à 2 % par an (graphique 1.7). La hausse prévue des rejets de GES dans les pays en développement s'explique par l'accroissement démographique et par l'élévation du PIB par habitant, qui entraînerait de nouvelles augmentations des émissions par habitant au cours de la période considérée en cas de politiques inchangées (graphique 1.8). La croissance des émissions serait faible dans les régions de l'OCDE, avec même une stabilisation ou un léger recul au Japon et dans l'Union européenne, sous l'effet notamment du déclin démographique. Dans ces conditions, la contribution des pays de l'OCDE aux émissions mondiales continuerait de diminuer pour s'établir à environ 25 % en 2050. L'augmentation prévue des émissions mondiales provenant de la combustion de combustibles fossiles entre parfaitement dans la fourchette des valeurs des études similaires présentées par le GIEC.

**Graphique 1.6. Émissions de GES prévues par pays/région<sup>1</sup>**  
(2005-2050, en Gt éq. CO<sub>2</sub>)

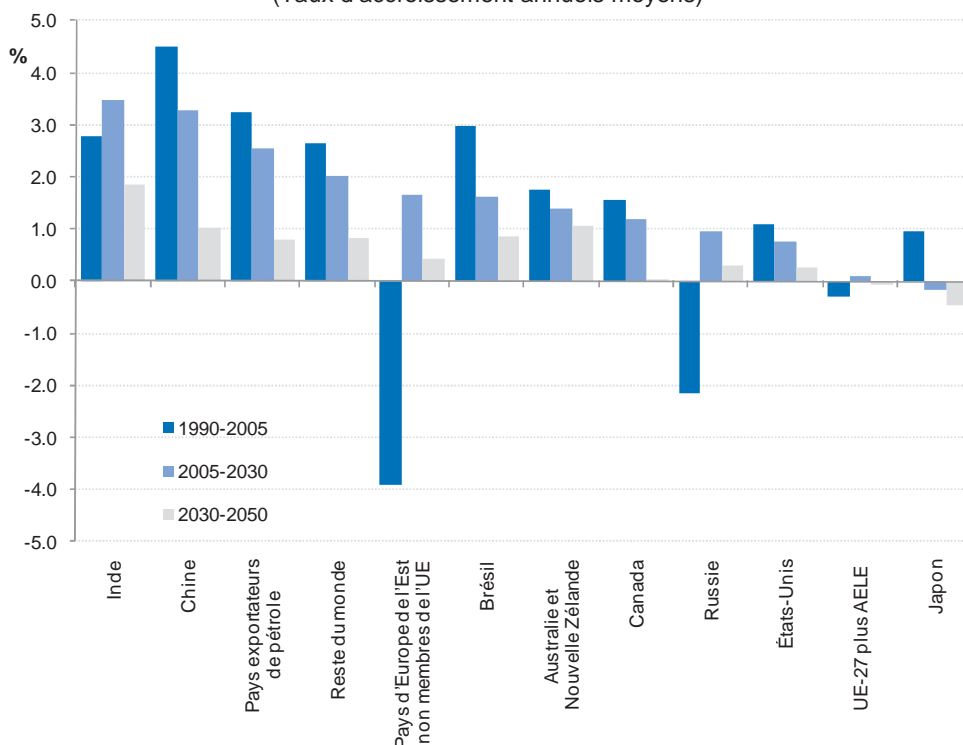


Note : Les pays/régions représentés dans ce graphique correspondent au découpage du monde en 12 régions effectué dans le cadre du modèle ENV-Linkages. La Corée, le Mexique et la Turquie sont comptabilisés dans le Reste du monde (RdM).

1. Hors émissions imputables à l'utilisation des terres, aux changements d'affectation des terres et à la foresterie. Le pourcentage entre parenthèses correspond à la part dans les émissions totales en 2050.

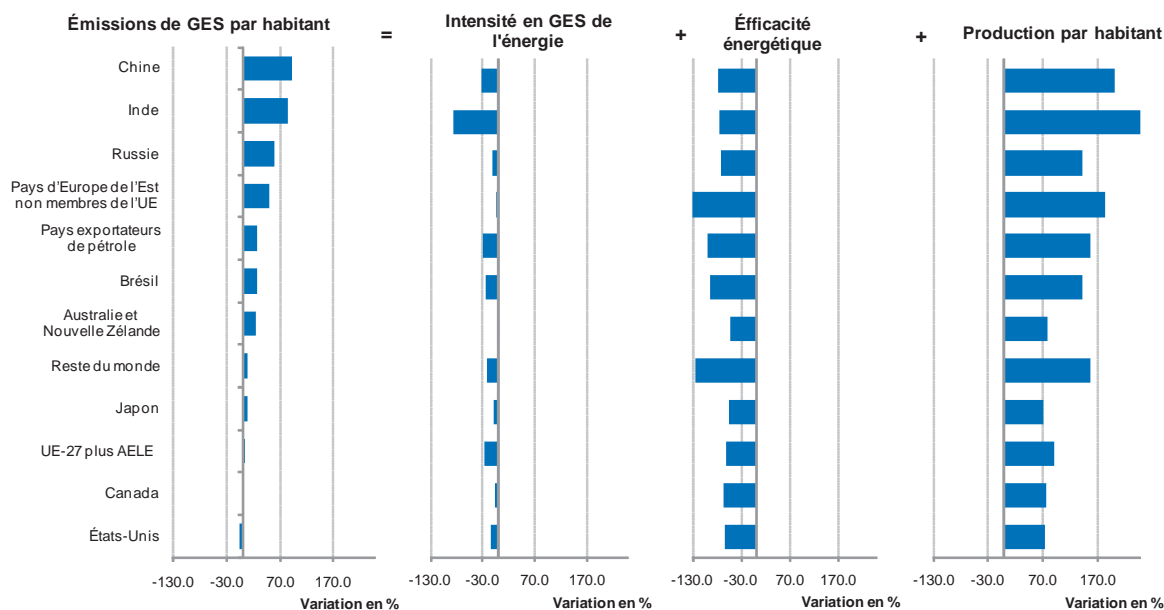
Source : OCDE, modèle ENV-Linkages.

**Graphique 1.7. Taux d'accroissement antérieurs et prévus des émissions par pays/région**  
(Taux d'accroissement annuels moyens)



Source : AIE et OCDE, modèle ENV-Linkages.

**Graphique 1.8. Sources de croissance des émissions de GES par habitant, par pays/région<sup>1</sup>**  
Scénario de référence, variation en % sur la période 2005-2050



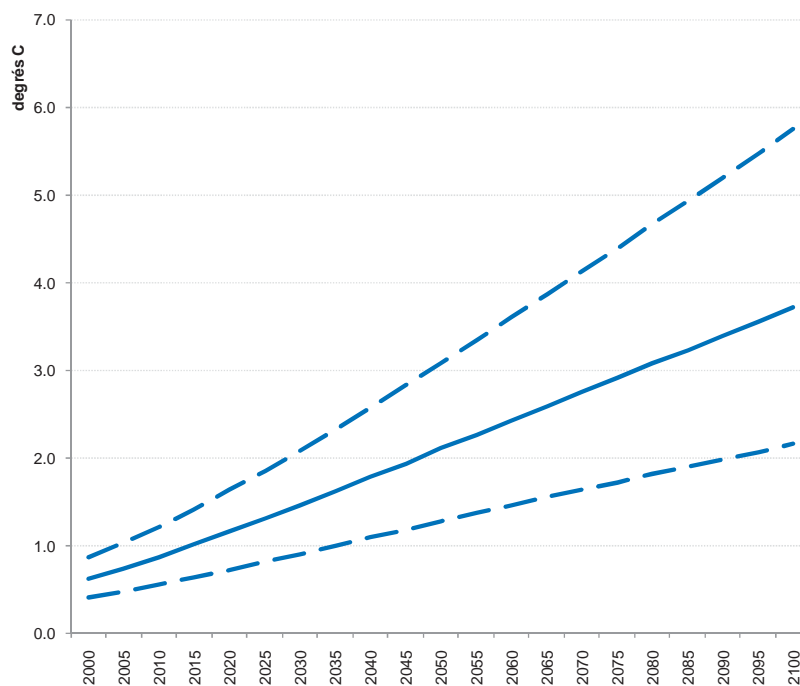
1. Il est à noter que toutes les émissions ne sont pas liées à la production d'énergie utilisée pour la production. Ainsi, une évolution de la structure de l'économie pourrait entraîner des modifications du rapport GES/énergie qui ne sont pas forcément liées à un passage à des technologies ou sources d'énergie moins émettrices.

Source : OCDE, modèle ENV-Linkages.

### 1.3. Les conséquences du changement climatique

La hausse prévue des émissions au cours des prochaines décennies devrait avoir un impact considérable sur les concentrations atmosphériques de GES et, partant, sur le climat de la planète. Le scénario de référence verrait la concentration de CO<sub>2</sub> atteindre quelque 520 parties par million (ppm) en 2050, soit un niveau près de deux fois supérieur à celui de l'ère préindustrielle (estimé à 270 ppm), tandis que la concentration de tous les GES passerait à environ 690 ppm éq. CO<sub>2</sub>. Ces résultats se situent en gros au centre de la fourchette des valeurs avancées dans les études antérieures (GIEC, 2007). L'élévation de la température moyenne mondiale qui en résulterait pourrait être de plus de 2 °C à l'horizon 2050, en comptabilisant la hausse de 0.5 °C déjà observée (graphique 1.9)<sup>4</sup>. L'augmentation à long terme des températures dépendra du niveau auquel se stabilisera la concentration de GES. Cependant, en l'absence de nouvelles mesures des pouvoirs publics ou de percées technologiques majeures, la concentration de GES ne cessera de croître, et la hausse de la température moyenne mondiale pourrait être de l'ordre de 4 °C en 2100 – à l'intérieur d'un large intervalle de valeurs possibles<sup>5</sup> – et s'accroître par la suite.

**Graphique 1.9. Augmentation de la température prévue dans le scénario de référence (par rapport au niveau préindustriel)**



Note : Les limites inférieure et supérieure correspondent aux valeurs basse et haute du paramètre de sensibilité du climat.

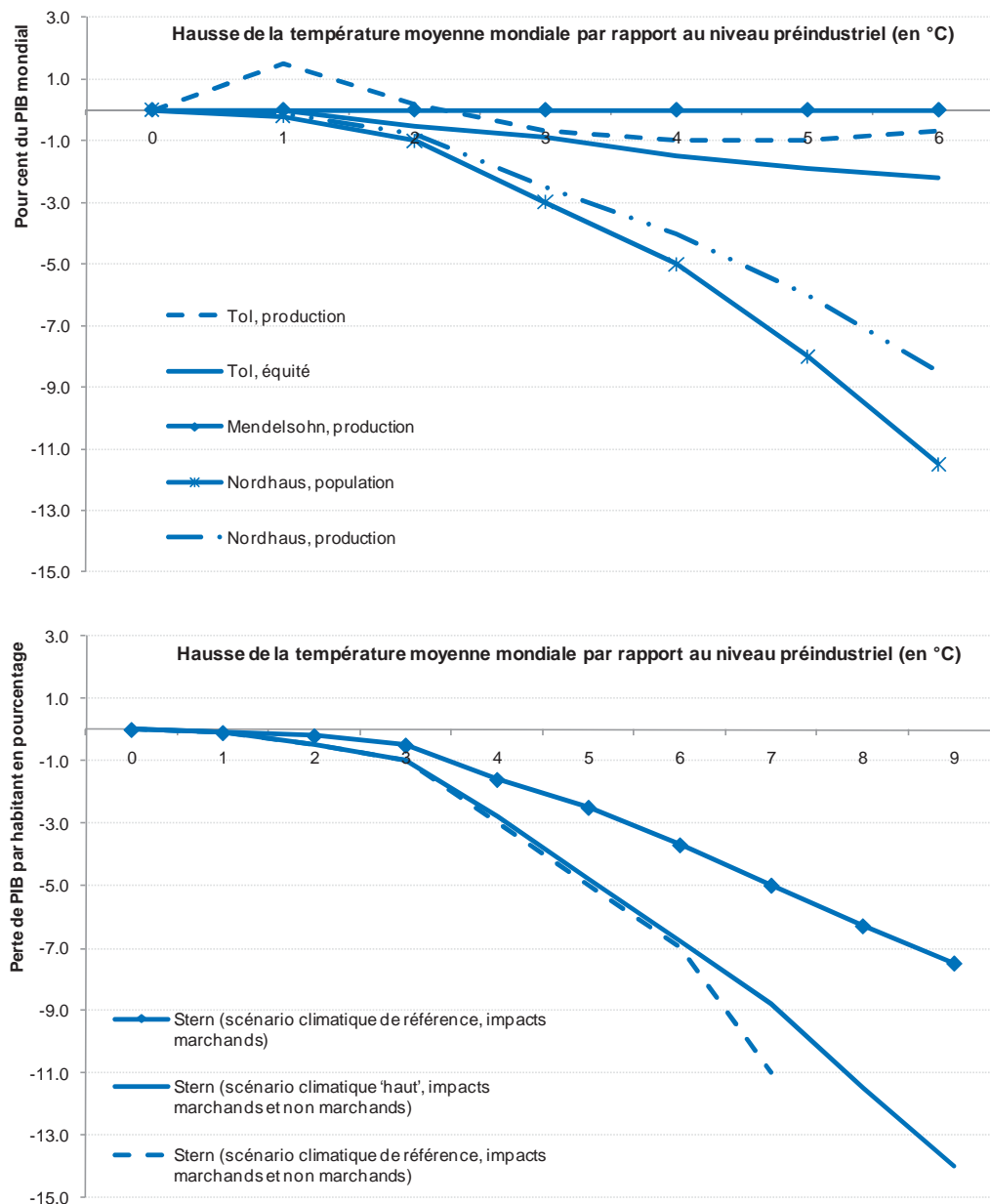
Sources : Modèle Magicc 5.3 et modèle ENV-Linkages de l'OCDE.

Entre le milieu et la fin des années 90 ont été publiées un nombre non négligeable d'études dans lesquelles les auteurs tentaient d'estimer à l'aide de différentes méthodes les effets du changement climatique dans des domaines particuliers. On distingue souvent deux grandes catégories d'incidences du changement climatique : celles qui se répercutent directement sur l'économie – par exemple, sur la production agricole, la consommation d'énergie, etc. –, que l'on qualifie d'impacts « marchands », et celles qui touchent de façon plus générale l'homme et la société (santé, environnement), qualifiées d'impacts « non marchands ». Dans les premières études publiées, les auteurs combinaient le plus souvent un modèle climatique, utilisé pour prévoir les modifications du climat découlant de concentrations de CO<sub>2</sub> données (généralement une concentration multipliée par deux par rapport à celle de l'ère préindustrielle), avec soit un modèle « économique » censé rendre compte des impacts

marchands, soit un autre type de modèle incorporant des impacts non marchands. L'approche adoptée revenait à estimer les impacts *statiques* et *physiques* du changement climatique sur le « monde d'aujourd'hui », c'est-à-dire sur une économie dont la structure de production et de consommation restait la même, en prenant généralement pour hypothèse une hausse modeste des températures et en s'intéressant à un nombre restreint de régions, voire souvent aux seuls États-Unis. Plusieurs conclusions se dégagent de ces études (Fankhauser, 1995 ; Nordhaus, 1991 ; Tol, 2002) :

- Les incidences sanitaires figureront vraisemblablement parmi les plus importantes répercussions du changement climatique. Cependant, il se pourrait que leur ampleur soit sous-évaluée, dans la mesure où les estimations sont très incomplètes. La surmortalité provoquée par une élévation des températures a été estimée seulement pour des maladies particulières (malaria, mortalité cardiovasculaire attribuable à la chaleur et au froid, mortalité respiratoire imputable à la chaleur). En outre, les conséquences indirectes sur le plan sanitaire, du fait par exemple des pénuries alimentaires, des problèmes d'approvisionnement en eau, de la dégradation de la qualité de l'air ou des conflits suscités par le changement climatique, sont en grande partie inconnues<sup>6</sup>.
- Le changement climatique risque de provoquer une élévation significative du niveau de la mer et des événements catastrophiques lourds de conséquences pour les flux migratoires et les infrastructures. Certaines de ces incidences pourraient être évitées ou en partie compensées par des politiques d'adaptation.
- Le changement climatique aurait aussi un impact négatif sur la biodiversité et les écosystèmes, encore que les effets correspondants restent en partie inconnus.
- Les répercussions sur l'agriculture sont incertaines, du moins en cas de hausse modérée des températures. Cela tient principalement au fait que l'on connaît mal l'effet des changements climatiques sur les précipitations. En outre, la réalité de la « fertilisation par le CO<sub>2</sub> », qui ferait qu'une hausse de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> stimulerait la photosynthèse, favorisant la croissance des végétaux et permettant une fixation plus efficace du carbone, continue de faire débat ; si elle était avérée, cette fertilisation pourrait atténuer voire compenser l'impact négatif du changement climatique dans le secteur agricole et forestier<sup>7</sup>. Les répercussions sur ce secteur pourraient aussi être atténuées grâce à l'adaptation, mais au vu des estimations, on peut penser qu'en l'absence de mesures d'adaptation, le changement climatique entraînerait une baisse de la production agricole brute dans la plupart des pays (mais pas en Europe centrale et orientale, ni dans certains pays d'Asie).
- Selon les endroits, le changement climatique pourrait accroître ou diminuer la consommation d'énergie, la disponibilité des ressources en eau et la demande d'eau, les régions chaudes subissant davantage de répercussions négatives que celles soumises à un climat plus frais.

Même si l'on fait abstraction de l'incertitude et du risque d'événements catastrophiques (voir infra), une hausse de 2 °C ou plus de la température moyenne aurait des répercussions sur un large éventail d'activités humaines. Les incidences « marchandes » sur la production agricole, et éventuellement sur la consommation énergétique et les ressources en eau, affecteraient directement le PIB. Les incidences « non marchandes » (sur le plan de la santé, de la biodiversité ou des migrations) se répercuteraient de façon plus générale sur le bien-être humain (pour plus de détails, voir Jamet et Corfee-Morlot, 2009). D'après l'état actuel des connaissances, l'impact sur le PIB serait limité en cas de hausse modérée des températures (perte de PIB inférieure à 3 % en cas d'élévation de 2.5 °C), mais il pourrait être beaucoup plus marqué si les augmentations de température plus importantes prévues après 2050 devenaient réalité (graphique 1.10). Par ailleurs, il ressort des projections que les incidences économiques du changement climatique ne se répartiront pas de façon égale entre les pays. En règle générale, les pays en développement – en particulier en Afrique, en Asie du Sud-Est et au Moyen-Orient – devraient subir des dommages plus importants, quoique la fourchette des estimations les concernant ait tendance à être plus large (graphique 1.11).

Graphique 1.10. Incidences économiques mondiales du changement climatique d'après différentes études<sup>1</sup>

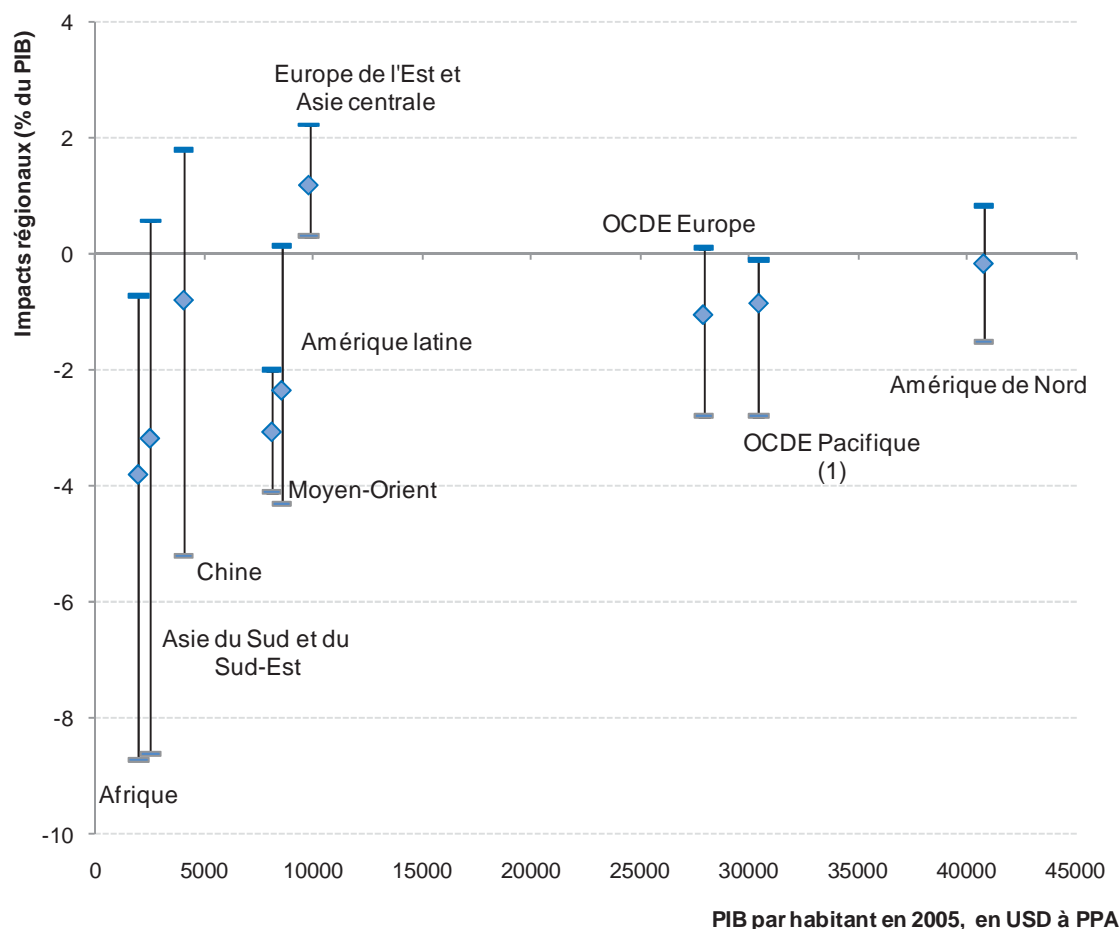
1. Les estimations correspondent à l'effet qu'exerce une hausse donnée de la température sur le PIB annuel (par rapport à un scénario sans changement climatique) au moment où elle intervient. Elles sont tirées des études de Tol (2002), Mendelsohn (1998), Nordhaus et Boyer (2000) et Stern (2007). L'agrégation des incidences régionales peut être effectuée de différentes manières. Dans « Tol, production », les incidences régionales sont simplement additionnées, tandis que dans « Tol, équité », elles sont pondérées en fonction du revenu par habitant dans chaque région. Dans « Nordhaus, production », elles sont pondérées en fonction du PIB, alors que dans « Nordhaus, population », elles le sont en fonction de la population. La pondération en fonction de la population ou du PIB par habitant accorde plus de poids aux incidences engendrées dans les pays en développement, qui devraient être plus fortes que celles intervenant dans les pays développés, de sorte que l'estimation des incidences mondiales est plus élevée. Enfin, « Stern (scénario climatique 'haut', impacts marchands et non marchands) » intègre, outre les impacts marchands et non marchands pris en compte dans le scénario climatique de base, les répercussions d'événements catastrophiques. Les scénarios climatiques « hauts » simulent l'impact de fortes augmentations des températures sur le PIB.

Source : GIEC (2007) et Stern (2007).

### Graphique 1.11. Impacts économiques du changement climatique par région

(% du PIB)

Dispersion des impacts à long terme sur les régions d'une hausse de la température comprise entre 2.0 et 2.5 °C par rapport au niveau préindustriel



Note : Les estimations proviennent de différentes sources qui ne sont pas pleinement comparables. Celles de Mendelsohn *et al.* (2000) et de Nordhaus et Boyer (2000) correspondent à l'impact sur le PIB annuel (par rapport à un scénario sans changement climatique) qui est observé au moment où la hausse de la température atteint 2.5 °C (soit en 2100 dans l'un et l'autre cas). Elles ne sont pas complètement comparables avec les estimations de première génération qui avaient été examinées par le GIEC (1995), et qui sont des estimations statiques de l'impact sur le PIB d'une élévation de la température de 2.5 °C sur la base des structures économiques de 1990. Mode d'emploi du graphique : pour l'Afrique, par exemple, d'après les estimations existantes, un réchauffement compris entre 2 et 2.5 °C devrait avoir pour impact une perte de PIB comprise entre 1 % et 9 %, avec une valeur moyenne d'environ 4 %.

1. La région OCDE Pacifique comprend le Japon, qu'il n'a pas été possible de présenter séparément en raison des agrégations géographiques opérées dans les modèles sous-jacents. On dispose cependant de quelques estimations qui chiffrent entre -0.1 et -0.5 % les coûts pour ce pays seul.

Source : Nordhaus et Boyer (2000), Mendelsohn *et al.* (2000) et GIEC (1995).

## 1.4. Risques et incertitudes

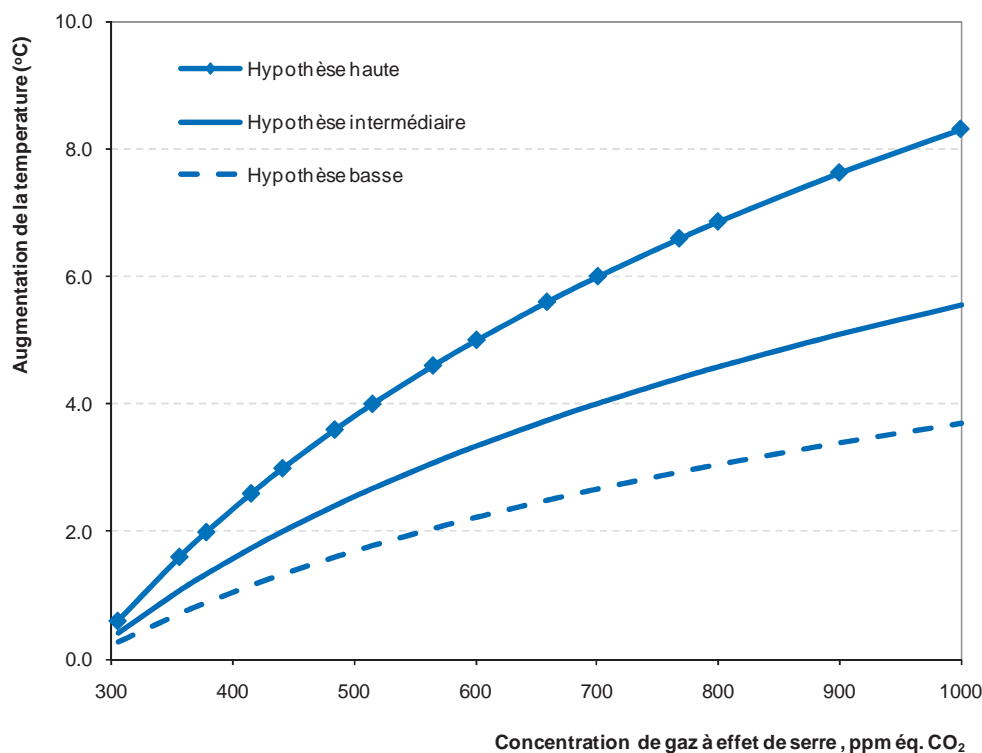
Les dommages anticipés dans le cadre d'un scénario de politiques inchangées sont entourés d'importantes incertitudes économiques et environnementales, mais des pertes très lourdes ne sont pas à exclure. Les incertitudes concernent notamment les aspects suivants :

- *Les émissions de GES futures*, qui sont déterminées dans la projection de référence par un certain nombre de facteurs difficiles à prévoir (accroissement démographique, gains de productivité, prix des combustibles fossiles et gains d'efficacité énergétique, par exemple). L'augmentation de la productivité du travail, en particulier, constitue un facteur de poids, compte tenu de sa variabilité dans le passé et de sa contribution importante à la croissance des émissions (OCDE, 2006a)<sup>8</sup>. Les hypothèses concernant les réserves actuelles et futures de pétrole brut et de gaz naturel font partie des autres facteurs qui ont une influence<sup>9</sup>.
- *Les liens entre émissions, concentration de GES et température mondiale*. La « sensibilité du climat », qui désigne l'impact sur la température d'un doublement de la concentration atmosphérique, est très incertaine (graphique 1.12). La meilleure estimation est de 3 °C (GIEC, 2007), mais l'intervalle de confiance à 66 % est de 2 °C-4.5 °C et des valeurs supérieures à 5 °C ne sont pas exclues (Meinshausen, 2006).
- *Les incidences physiques d'une augmentation donnée – et en particulier d'une forte hausse – de la température mondiale*. Les estimations des dommages ne prennent peut-être pas pleinement en compte l'adaptation, c'est-à-dire les mesures de défense destinées à limiter les dégâts occasionnés par la modification du climat, même si ces mesures ont également un coût. Cela étant, dans les estimations existantes, les effets d'une hausse de la température mondiale, quelle qu'elle soit, sont vraisemblablement sous-évalués, car les incidences non marchandes ne sont pas pleinement prises en compte, alors que l'on considère de plus en plus que ce sont elles qui devraient prédominer (Watkiss et Downing, 2008 ; Yohe, 2006). En outre, la gravité des effets risque fort d'augmenter de façon spectaculaire si l'augmentation de la température contribue à la fonte de la calotte glaciaire du Groenland et de l'Antarctique occidental, entraînant ainsi une forte élévation du niveau de la mer et éventuellement une altération de la circulation thermohaline mondiale (le Gulf Stream, par exemple). De tels événements « extrêmes » et dans une large mesure irréversibles ne sont que rarement, voire jamais, pris en considération de façon explicite dans les estimations des coûts des dommages du changement climatique.
- *L'évaluation des incidences physiques du changement climatique*. L'analyse économique se heurte à plusieurs difficultés méthodologiques, notamment pour évaluer les impacts physiques non marchands (évaluation des pertes en vies humaines, par exemple) et pour agréger les effets régionaux afin d'obtenir des estimations de l'impact mondial (Jamet et Corfee-Morlot, 2009).
- *L'évaluation des dommages éloignés dans le temps*. Dans ce contexte, le choix d'un taux d'actualisation appliqué par la société aux pertes futures constitue un aspect controversé et a une grande influence sur la valeur (actualisée) des dommages estimés. Par exemple, l'impact actualisé du changement climatique en termes de perte de consommation permanente peut varier entre 3.3 % et plus de 10 % selon que le taux d'actualisation des dommages choisi est relativement élevé (2.8 %) ou faible (1.3 %) (Stern, 2007)<sup>10</sup>.



**Graphique 1.12. Lien entre la concentration de GES à long terme et la température mondiale**

Hausse de la température en fonction de la concentration, compte tenu des valeurs « probables » de sensibilité du climat



Note : Le paramètre de sensibilité du climat mesure l'effet sur la température d'un doublement de la concentration et détermine la relation entre la concentration de GES à long terme et la température mondiale à l'équilibre. Compte tenu de l'inertie du système, la température à l'équilibre peut être atteinte plusieurs décennies après la stabilisation de la concentration. Le paramètre de sensibilité du climat est égal à 4.5 dans « l'hypothèse haute », à 3 dans « l'hypothèse intermédiaire » et à 2 dans « l'hypothèse basse ».

Source : GIEC (2007), Quatrième Rapport d'évaluation.

L'ampleur des risques et des incertitudes donne à penser qu'on peut justifier en partie une action rapide et vigoureuse face au changement climatique en la considérant comme une police d'assurance contre des évolutions climatiques dommageables et imprévisibles de grande envergure. Dans cette optique, le plus judicieux serait peut-être que la politique climatique mondiale ne cherche pas à équilibrer les dommages et les coûts (marginaux), comme le laisseraient supposer les théories économiques classiques, mais s'inscrive dans une démarche fondée sur le risque et définisse des objectifs de concentration de GES et un calendrier d'action compatibles avec une « faible » probabilité de changements climatiques « dangereux » (voir, par exemple, Stern, 2008). De tels objectifs sont cependant difficiles à déterminer<sup>11</sup>. Sur la base des estimations existantes du lien entre concentration de GES et augmentation de la température (évoquées ci-avant), un certain nombre de scénarios sont analysés ci-après dans lesquels la hausse de la température est maintenue dans une fourchette comprise entre 2 °C et 4 °C moyennant une tarification mondiale du carbone.

## 1.5. Scénarios de stabilisation de la concentration de GES

Dans cette section, nous examinons les coûts économiques associés à quatre scénarios mondiaux qui prévoient une stabilisation de la concentration de GES à des niveaux et selon des calendriers différents. Les coûts sont évalués en termes de perte de PIB, laquelle est calculée par rapport au niveau prévu du PIB en l'absence de politiques d'atténuation du changement climatique. Il importe toutefois de noter que la lutte contre les émissions engendre bien évidemment aussi des avantages en termes de changements climatiques évités, dont ne tiennent pas compte les estimations du PIB classique présentées ici. Le coût économique de la réalisation d'un objectif de concentration donné dépend des instruments en place, ainsi que du nombre de pays, de secteurs et de sources d'émissions auxquels ils s'appliquent. De manière générale, des politiques visant à réduire au minimum ce coût économique devraient remplir quatre grands critères :

- i) Exploiter pleinement toutes les possibilités existantes de réduire les émissions de GES à peu de frais. D'un point de vue économique, cela nécessiterait que les politiques égalisent les coûts marginaux de réduction entre toutes les sources d'émissions. Pour cela, il faut non seulement que la panoplie de mesures soit intrinsèquement d'un bon rapport coût-efficacité, mais aussi qu'elle soit appliquée au plus grand nombre possible de pays, de secteurs et de GES.
- ii) Afin de parvenir à une telle couverture aussi large que possible, créer des incitations politiques suffisamment fortes en faveur de l'adoption et de la mise en conformité au niveau international et à l'intérieur des pays.
- iii) S'adapter efficacement aux risques et aux incertitudes qui entourent tant l'évolution du climat que les coûts de réduction des émissions.
- iv) Favoriser un niveau efficient d'innovation et de déploiement de technologies qui réduisent les émissions, afin d'abaisser les futurs coûts marginaux de lutte contre les émissions<sup>12</sup>. Dans le contexte d'un problème d'environnement tel que le changement climatique, qui est de grande ampleur (en termes de coûts d'atténuation) et s'inscrit dans un horizon temporel long, ce critère joue un rôle important dans l'évaluation des différents moyens d'action envisageables.

Les scénarios examinés dans cette section supposent que les critères i) à iii) sont remplis, de sorte que les coûts marginaux de réduction des émissions sont égalisés et que les risques et incertitudes entourant le changement climatique sont concrètement pris en compte. Ce résultat est obtenu au travers d'un prix mondial unique, qui est fixé pour chaque unité de carbone émise et qui encourage tous les émetteurs à adopter les solutions de réduction des émissions peu coûteuses disponibles jusqu'à ce que les coûts marginaux de réduction de tous les émetteurs s'équilibrent au niveau de ce prix du carbone. Les instruments qui affectent un prix au carbone sont notamment les systèmes d'échange de droits d'émission et les taxes carbone, qui se différencient par ailleurs sur un certain nombre de points (voir le chapitre 2). Dans cette optique, un instrument fiscal est intrinsèquement efficace par rapport à son coût (c'est ce qu'on appelle parfois « l'efficacité statique » des taxes). Cependant, en présence d'autres défaillances du marché, la tarification du carbone doit être complétée par d'autres instruments (voir le chapitre 2). Bien que très stylisés, les scénarios qui portent sur l'attribution d'un prix mondial aux émissions de GES offrent des points de référence utiles en procurant des estimations basses des coûts globaux de réduction des émissions<sup>13</sup>. Il importe de noter que ces scénarios doivent être considérés comme des exercices théoriques visant à obtenir des repères pour l'évaluation du rapport coût-efficacité des scénarios d'action plus réalistes qui seront analysés dans les chapitres ultérieurs.

Ainsi, des simulations ont été effectuées à titre indicatif à l'aide du modèle ENV-Linkages, en postulant la mise en œuvre d'une taxe mondiale sur le carbone (ou d'un ensemble de taxes intérieures harmonisées) qui s'applique à la totalité des pays, des secteurs et des GES. Si l'on fait abstraction des

coûts de transaction et des incertitudes, cette politique de taxation mondiale du carbone équivaut à un système d'échange de droits d'émission où les droits sont intégralement alloués par voie d'enchères. En l'occurrence, quatre scénarios d'action efficace par rapport au coût sont envisagés (graphique 1.13)<sup>14</sup>.

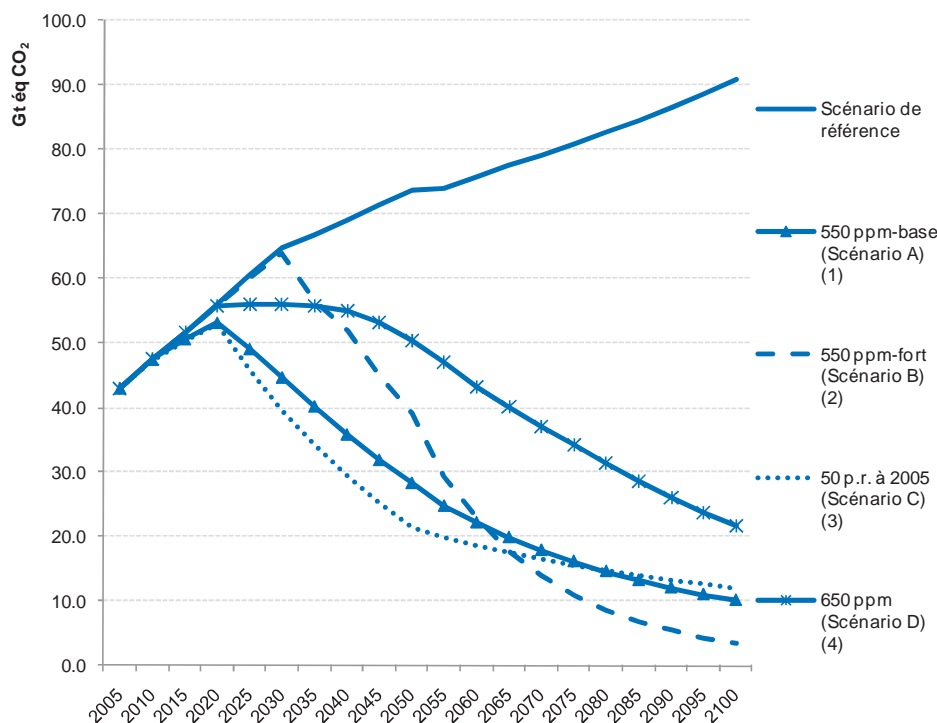
- **Scénario A.** La concentration de CO<sub>2</sub> à long terme est stabilisée à 450 ppm et celle de l'ensemble des GES à environ 550 ppm éq. CO<sub>2</sub>, avec un léger dépassement de l'objectif avant 2050<sup>15</sup>. La stabilisation de la concentration globale de GES à environ 550 ppm serait compatible avec une élévation de la température (par rapport aux niveaux préindustriels) ne dépassant pas 3 °C à long terme.
- **Scénario B.** La concentration de CO<sub>2</sub> à long terme est stabilisée à 450 ppm et celle de l'ensemble des GES à environ 550 ppm éq. CO<sub>2</sub>, et le dépassement permis de l'objectif est sensiblement plus important. Afin d'atteindre le même objectif à long terme que dans le scénario A, des réductions plus importantes des émissions sont nécessaires après 2050. Les scénarios A et B, de même que d'autres trajectoires d'émissions pour les décennies à venir, peuvent être compatibles avec une stabilisation de la concentration de l'ensemble des GES à environ 550 ppm éq. CO<sub>2</sub> dans un avenir suffisamment lointain, mais pour atteindre effectivement cet objectif, il faudra que les émissions de GES soient abaissées d'au moins 30 % d'ici à 2050 par rapport à 2005, et qu'elles tombent à l'horizon 2100 à un niveau correspondant en gros à un quart de celui de 2005.
- **Scénario C.** Le volume total des émissions mondiales de GES (exprimé en équivalent CO<sub>2</sub>) est réduit de 50 % en 2050 par rapport à 2005 ; l'action engagée à cette fin débute en 2013 et prend progressivement de l'ampleur, de telle sorte que les émissions culminent en 2020. Ce scénario illustratif cadrerait avec une stabilisation à long terme de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> en dessous de 450 ppm, et avec une stabilisation de celle de l'ensemble des GES en dessous de 550 ppm éq. CO<sub>2</sub>, et ce sans aucun dépassement<sup>16</sup>.
- **Scénario D.** La concentration de CO<sub>2</sub> à long terme est stabilisée à 550 ppm, et la concentration de l'ensemble des GES à un peu plus de 650 ppm éq. CO<sub>2</sub>.

Il importe de souligner que si la stabilisation de la concentration à 550 ppm éq. CO<sub>2</sub> constitue l'objectif le plus ambitieux examiné ici, le choix de cette valeur est purement indicatif et ne doit pas être interprété comme une validation de cet objectif précis. Cette concentration est largement considérée comme le minimum requis pour limiter les dégâts du changement climatique, mais des objectifs plus ambitieux sont possibles et ont de fait été appuyés récemment par la communauté internationale.

### ***1.5.1. Évolution des émissions dans le cadre des scénarios d'action efficace par rapport au coût***

À mesure que les possibilités de réduire les émissions à moindres frais se raréfient, l'économie mondiale doit faire face à une forte hausse des coûts marginaux de lutte contre les émissions, et pour réaliser de nouvelles réductions, il faut abaisser l'intensité énergétique globale, comme dans le scénario A. En effet, l'amélioration de l'efficacité énergétique contribue beaucoup plus à la réduction globale des émissions en 2050 dans le scénario A que dans le scénario D, dans lequel la baisse des émissions découle surtout du recours à des énergies plus propres (tableau 1.1).

**Graphique 1.13. Émissions de GES dans le cadre de différents scénarios d'action efficace par rapport au coût (2005-2100)**



1. Stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> à 450 ppm et de celle de l'ensemble des GES à environ 550 ppm éq. CO<sub>2</sub>, avec un léger dépassement de l'objectif.
2. Stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> à 450 ppm et de celle de l'ensemble des GES à environ 550 ppm éq. CO<sub>2</sub>, avec un fort dépassement de l'objectif.
3. Réduction des émissions de GES de 50 % en 2050 par rapport aux niveaux de 2005.
4. Stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> à 550 ppm et de celle de l'ensemble des GES à environ 650 ppm éq. CO<sub>2</sub>, sans dépassement de l'objectif.

Source : OCDE, modèle ENV-Linkages.

**Tableau 1.1. Décomposition des émissions mondiales de GES dans le cadre de différents scénarios<sup>1</sup>**  
(indice 2005 = 100)

	2025			2050		
	Référence	650 ppm (scénario D) <sup>3</sup>	550 ppm-base (scénario A) <sup>4</sup>	Référence	650 ppm (scénario D) <sup>3</sup>	550 ppm-base (scénario A) <sup>4</sup>
Émissions de GES	146.9	135.4	117.8	184.3	124.7	68.6
Population	122.9	122.9	122.9	140.9	140.9	140.9
PIB/population	154.3	154.2	153.8	278.2	276.5	267.3
Énergie <sup>2</sup> /PIB	67.5	66.5	63.6	33.9	29.7	18.7
GES/énergie <sup>2</sup>	114.7	107.4	98.0	138.6	107.6	97.2

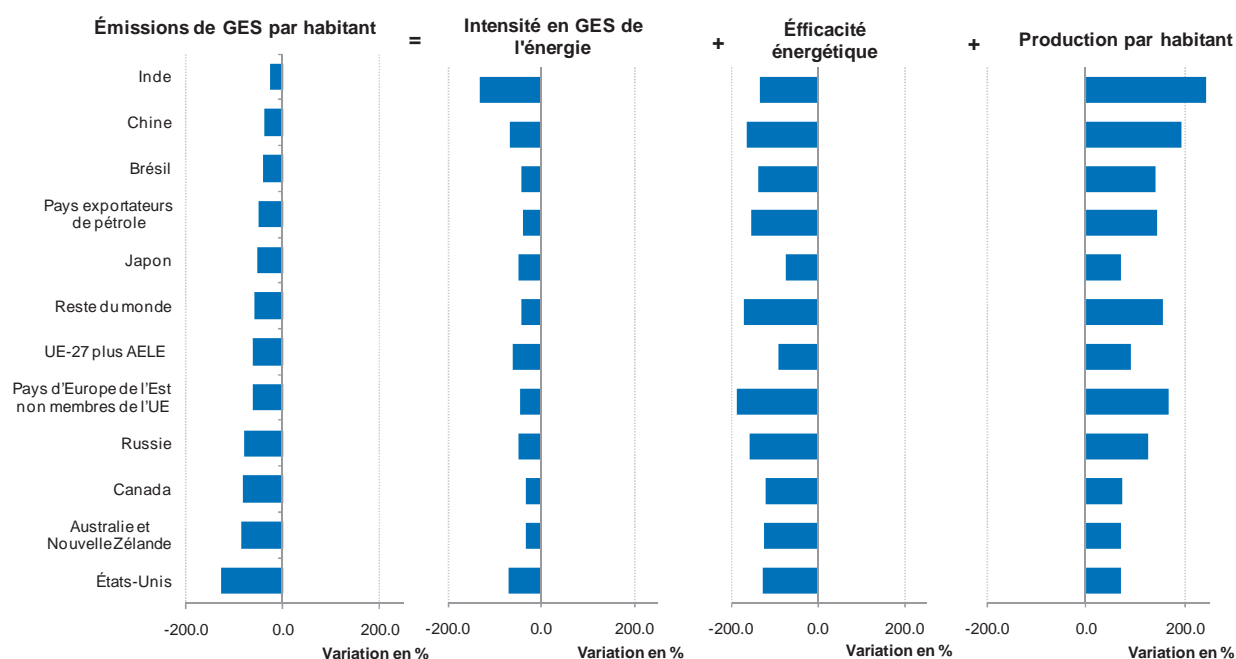
1. Le volume des émissions de GES à un moment donné peut être décomposé comme le produit de la population, du PIB par habitant, de l'intensité énergétique et de l'intensité en GES de l'énergie. C'est ce qu'on appelle couramment « l'identité de Kaya ».
2. Demande d'énergie primaire.
3. Stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> à 550 ppm et de celle de l'ensemble des GES à environ 650 ppm éq. CO<sub>2</sub>, sans dépassement de l'objectif.
4. Stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> à 550 ppm et de celle de l'ensemble des GES à environ 550 ppm éq. CO<sub>2</sub>, avec un léger dépassement de l'objectif.

Source : OCDE, modèle ENV-Linkages.

Dans le scénario A, tous les grands pays/régions affichent des émissions par habitant moins élevées en 2050 qu'en 2005 (graphique 1.14). Ce résultat est à rapprocher du scénario de référence examiné plus haut (graphique 1.8). Dans le contexte du modèle ENV-Linkages, les pressions à la hausse exercées sur les émissions de GES par la forte progression du PIB par habitant au cours de la période 2005-2050 (en particulier dans les pays en développement) sont plus que compensées par les gains d'efficacité énergétique réalisés et, dans une mesure moindre, par le passage à des sources d'énergie moins émettrices de carbone. Ainsi, la ventilation de la production d'électricité par source (graphique 1.15) montre que dans le scénario A, les combustibles fossiles voient leur part dans la production électrique totale chuter – de 67 % en 2005 à 30 % en 2050 – au profit de différentes sources d'énergie renouvelables. La consommation totale d'énergie en 2050 est beaucoup plus faible dans ce scénario que dans le scénario de référence, ce qui met à nouveau en relief la contribution majeure apportée par l'amélioration de l'efficacité énergétique à la réduction des émissions. En ce qui concerne l'intensité en GES de l'énergie, il est à souligner que les émissions de GES ne sont pas toutes forcément liées à la production d'énergie. Par conséquent, la contribution de l'intensité en GES de l'énergie à la réduction des émissions de GES par habitant qui est observée dans le graphique 1.14 peut refléter non seulement un passage à des énergies moins carbonées, mais aussi une évolution structurelle de l'économie vers des secteurs moins émetteurs de GES.

**Graphique 1.14. Sources de croissance des émissions de GES par habitant, par pays/région<sup>1</sup>**

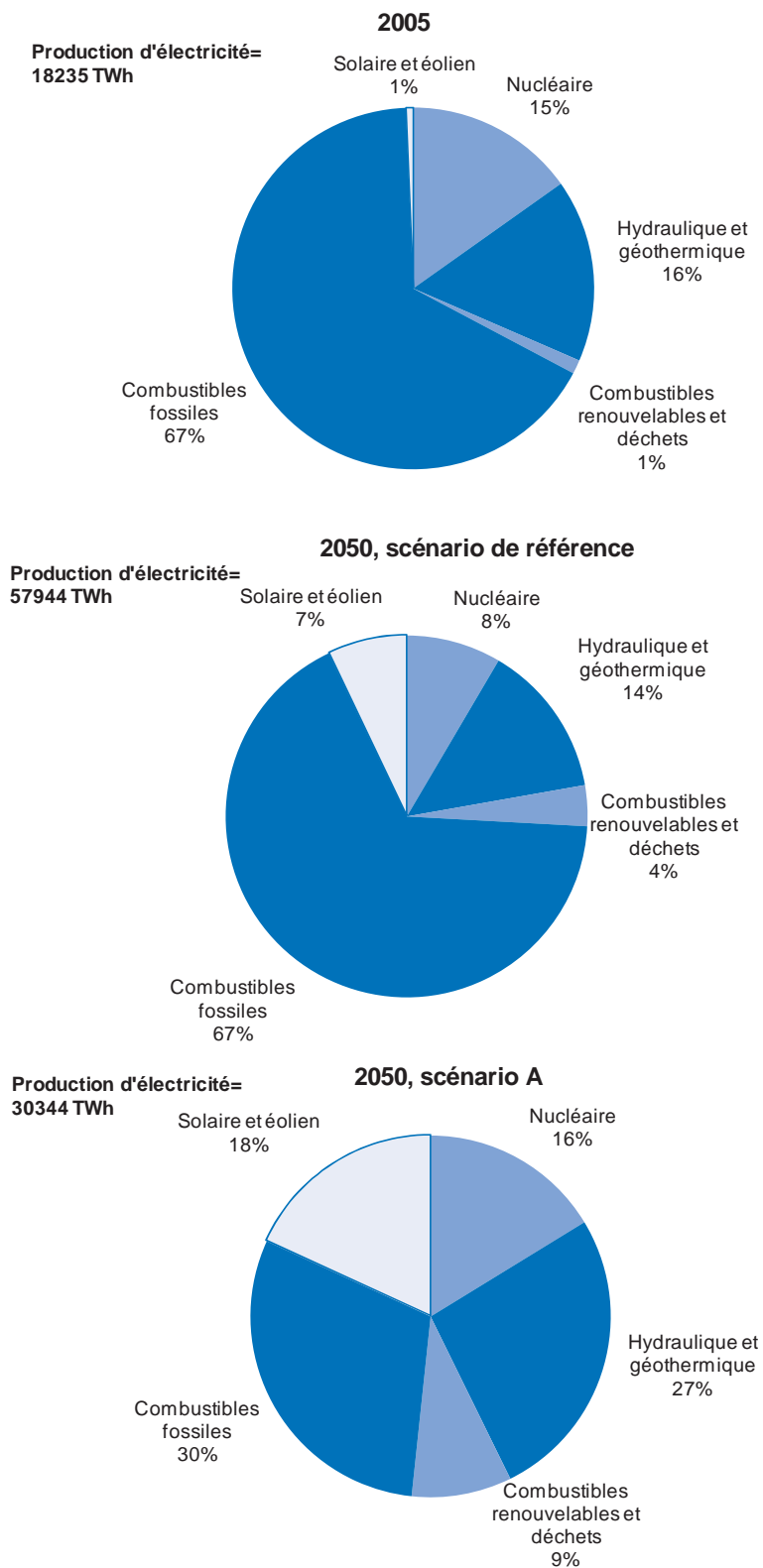
Scénario A, variation en % sur la période 2005-2050



1. Il est à noter que toutes les émissions ne sont pas liées à la production d'énergie utilisée pour la production. Ainsi, une évolution de la structure de l'économie pourrait entraîner des modifications du rapport GES/énergie qui ne sont pas forcément liées à un passage à des technologies ou sources d'énergie moins émettrices.

Source : OCDE, modèle ENV-Linkages.

**Graphique 1.15. Production d'électricité par source d'énergie**



Source : OCDE, modèle ENV-Linkages.

### 1.5.2. Le coût de stabilisation du climat

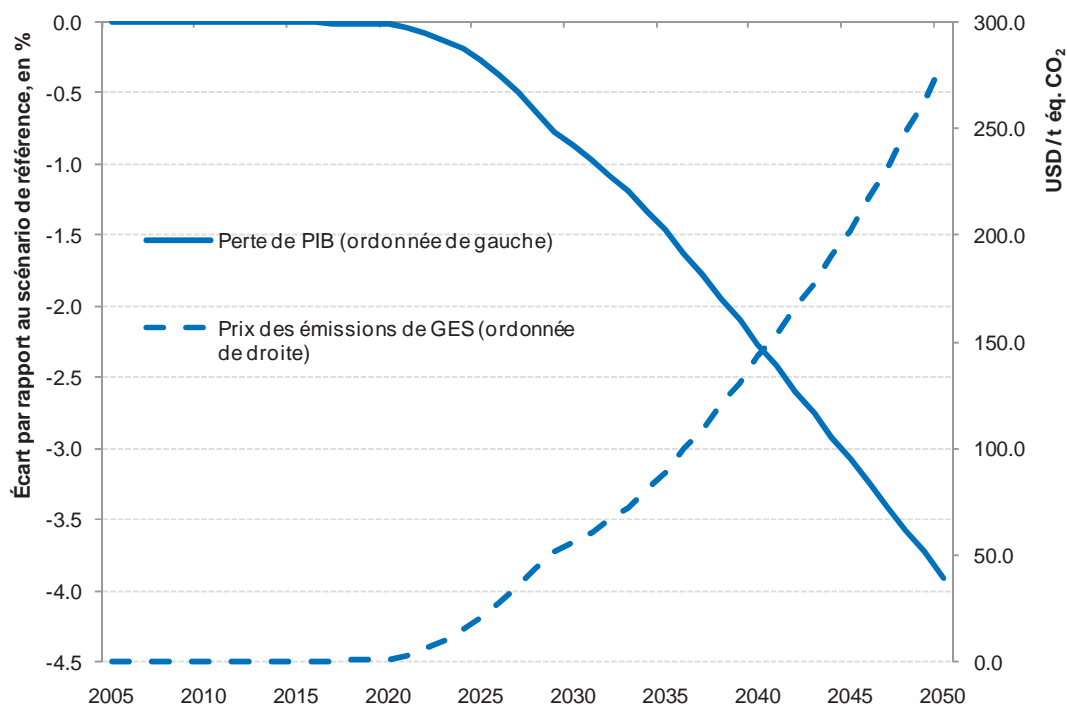
À l'horizon 2050, le scénario A aboutit à un PIB mondial estimé inférieur de 3.9 % à celui du scénario de référence (tableau 1.2, scénario A, « 550 ppm-base »). Les coûts en termes de perte de PIB sont faibles tant que les réductions d'émissions restent modestes, c'est-à-dire concrètement avant 2025 (graphique 1.16). Cependant, ils augmentent au fil du temps de façon exponentielle, en raison de la conjonction de réductions plus marquées des émissions et de coûts marginaux de réduction en hausse à mesure que s'épuisent les possibilités d'abaisser les émissions à peu de frais. En cas de dépassement plus important de l'objectif, les coûts sont moindres car une plus grande partie des réductions d'émissions nécessaires est reportée sur la période après 2050 (tableau 1.2, scénario B). Cela a toutefois pour conséquence d'imposer des réductions et donc des coûts plus élevés après 2050, de même qu'une augmentation plus importante et plus rapide de la température qui entraîne un risque accru d'événements irréversibles<sup>17</sup>. À l'inverse, en évitant tout dépassement, on atténue les risques environnementaux, mais on augmente le coût de l'action. Par exemple, il apparaît qu'une réduction des émissions de 50 % d'ici à 2050 par rapport aux niveaux de 2005 (scénario C) entraîne à l'horizon 2050 une baisse d'environ 7 % du PIB mondial – dont la croissance annuelle moyenne sur la période 2012-2050 tombe ainsi d'environ 3.5 % en l'absence de politiques d'atténuation à 3.3 % en cas d'adoption de telles politiques.

Les coûts estimés de réduction des émissions varient également de façon disproportionnée en fonction de la rigueur de l'objectif. Les objectifs d'atténuation relativement modestes peuvent être atteints moyennant un faible coût économique, en profitant de la souplesse offerte par les substitutions au niveau des GES, des combustibles et des secteurs. Par exemple, le coût de stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> à 550 ppm et de la concentration globale de GES à environ 650 ppm équ. CO<sub>2</sub>, sans dépassement de l'objectif, est estimé à seulement 0.6 % du PIB en 2050 (tableau 1.2, scénario D). Cependant, la diminution du coût permise par les objectifs moins rigoureux a bien évidemment pour contrepartie une augmentation du risque d'impacts environnementaux importants. Ces estimations de coûts sont globalement en phase avec celles d'autres études (encadré 1.2).

Les estimations intègrent aussi les économies de coûts pouvant être réalisées en recyclant les recettes tirées de la tarification des émissions de carbone. Selon l'instrument choisi, ces recettes proviennent soit des taxes sur le carbone, soit de la vente aux enchères de permis d'émission de carbone (voir le chapitre 2). Les scénarios portant sur des objectifs de réduction des émissions relativement rigoureux anticipent d'importantes recettes budgétaires, lesquelles atteignent par exemple 3 % du PIB dans la zone OCDE et 6 % du PIB dans le monde en 2050 dans le scénario A. Si ces recettes étaient employées pour alléger des impôts qui ont des effets négatifs *plus importants* sur l'offre de main-d'œuvre et/ou de capital que les impôts sur les GES ou les ventes de permis<sup>18</sup>, les coûts d'atténuation pourraient être inférieurs à ces estimations. En revanche, si les permis étaient attribués gratuitement plutôt que par voie d'enchères, les coûts d'atténuation pourraient être supérieurs aux estimations présentées ici, car celles-ci n'intègrent pas les possibles effets dommageables sur l'offre de main-d'œuvre des prix plus élevés que les entreprises feraient payer aux consommateurs pour récupérer les coûts de réduction des émissions (effets qui équivaldraient à ceux d'une augmentation des impôts sur la consommation)<sup>19</sup>. Ces considérations mettent en relief l'importance qu'il y a à recourir à des instruments qui augmentent les recettes dans le cadre de la lutte contre le changement climatique.



**Graphique 1.16. Évolution dans le temps des coûts économiques et du prix des émissions de GES dans le cadre du scénario de concentration de GES « 550 ppm-base » (scénario A)**



Source : OCDE, modèle ENV-Linkages.

### Encadré 1.2. Comparaison des estimations des coûts d'atténuation issues d'ENV-Linkages avec celles d'autres études récentes

Parmi les paramètres et les hypothèses de modélisation clés qui déterminent les estimations des coûts d'atténuation, la croissance des émissions dans le scénario de référence revêt une importance capitale. Par exemple, réduire en 2050 les émissions de tous les GES de 50 % par rapport aux niveaux de 2005 équivaut en fait à les abaisser de plus de 70 % par rapport aux niveaux prévus par le scénario de référence en 2050 (graphique 1.13). Une diminution d'une telle ampleur oblige l'économie mondiale à affronter la partie plus pentue de la courbe « globale » des coûts marginaux de réduction des émissions, d'où des coûts plus élevés. Du fait de plusieurs évolutions récentes et de modifications du cadre et des hypothèses de modélisation, les estimations de coûts correspondant aux scénarios d'atténuation les plus rigoureux exposés dans ce chapitre sont pour certaines plus élevées que celles présentées dans les *Perspectives de l'environnement de l'OCDE* (OCDE, 2008b). Ces écarts s'expliquent par plusieurs facteurs, parmi lesquels les projections qui tablent sur un PIB mondial plus élevé et donc sur une plus forte croissance de la demande énergétique sous-jacente, la révision à la hausse des hypothèses concernant les prix des combustibles fossiles et le report de la mise en œuvre de mesures, présumée débuter en 2013 au lieu de 2008. Dans l'ensemble, ces estimations de coûts se situent cependant à peu près au centre de la fourchette des estimations récentes. Si l'on fait la moyenne de 21 modélisations qui portent sur des scénarios de stabilisation à long terme de la concentration du seul CO<sub>2</sub> à 550 ppm, on obtient pour 2050 un coût en termes de PIB mondial de 1.4 % environ et un coût marginal de réduction des émissions (prix du carbone) de quelque 43 USD (de 2000) par tonne de CO<sub>2</sub> (De la Chesnaye et Weyant, 2006). Ces valeurs cadrent *grosso modo* avec celles présentées dans le tableau 1.2 pour le scénario D, soit 0.6 % du PIB et 40 USD (de 2005). Par ailleurs, une comparaison de la réactivité des émissions aux prix du carbone montre une sensibilité légèrement plus importante dans ENV-Linkages que dans d'autres modèles, ce qui implique des coûts marginaux de réduction des émissions légèrement inférieurs (Hoogwijk *et al.* 2008). Enfin, les estimations du coût d'abaissement des émissions mondiales à leur niveau de 2005 d'ici à 2040 sont en phase avec les récentes simulations réalisées par le Fonds monétaire international sur un tel scénario (FMI, 2008).

**Tableau 1.2. Coûts économiques et conséquences environnementales de différents scénarios d'action efficace par rapport au coût**

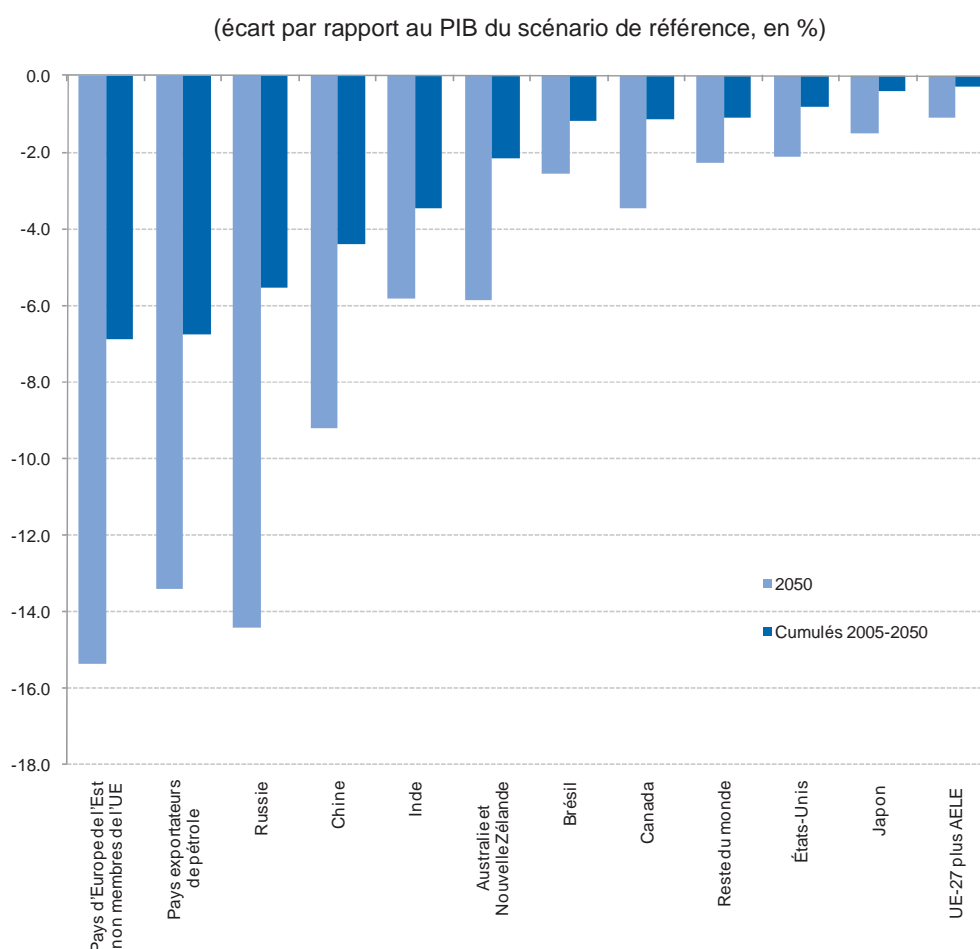
Scénario	Point culminant	Variation du volume total des émissions 2005-2050 <sup>1</sup>		Coûts économiques				Concentration maximale de CO <sub>2</sub> au cours de la période 2012-2150	
	Année	Tous les gaz à effet de serre	CO <sub>2</sub>	Coût marginal de réduction des émissions en 2050 (USD de 2005 par tonne de CO <sub>2</sub> )	Perte de PIB en 2050 (%)	Perte de PIB moyenne 2012-2050 (%)	Diminution induite du taux de croissance annuel moyen du PIB 2012-2050 (points de pourcentage)	Année	Valeur (ppm)
A) 550 ppm-base : stabilisation de la concentration de CO <sub>2</sub> à 450 ppm et de celle de l'ensemble des GES à environ 550 ppm éq. CO <sub>2</sub> , avec un léger dépassement de l'objectif	2020	-34%	-36%	282	-3.9	-1.7	-0.11	2065	461
B) 550 ppm-fort : stabilisation de la concentration de CO <sub>2</sub> à 450 ppm et de celle de l'ensemble des GES à environ 550 ppm éq. CO <sub>2</sub> , avec un fort dépassement de l'objectif	2030	-9%	-6%	145	-1.7	-0.5	-0.05	2060	495
C) 50 p.r.à. 2005 : réduction des émissions de GES de 50 % en 2050 par rapport aux niveaux de 2005	2020	-50%	-52%	531	-6.9	-3.2	-0.19	2050	447
D) 650 ppm : stabilisation de la concentration de CO <sub>2</sub> à 550 ppm et de celle de l'ensemble des GES à environ 650 ppm éq. CO <sub>2</sub> , sans dépassement de l'objectif	2030	17%	22%	40	-0.6	-0.2	-0.02	2130	548

1. Y compris les émissions imputables à l'utilisation des terres, aux changements d'affectation des terres et à la foresterie. Celles-ci sont exogènes et semblables dans tous les scénarios d'action, dans la mesure où elles ne sont pas encore intégrées au modèle ENV-Linkages de l'OCDE.

Source : OCDE, modèle ENV-Linkages.

Les coûts des politiques d'atténuation du changement climatique seront vraisemblablement répartis inégalement entre les pays. Dans le cadre d'un dispositif associant une taxe mondiale sur le carbone – ou un système de vente aux enchères de la totalité des permis d'émission, aux effets équivalents – et un objectif donné de concentration fixé par un accord mondial d'atténuation des émissions, les pays qui font un usage intensif du carbone et/ou exportent des combustibles fossiles (voir le graphique 1.5), tels que la Russie et les pays du Moyen-Orient, devraient assumer les coûts les plus lourds en pourcentage de leur PIB (graphique 1.17)<sup>20</sup>. En dépit des possibilités de réduction des émissions à moindre coût dont elles disposent, les économies non membres de l'OCDE seraient généralement beaucoup plus affectées que les pays membres de l'Organisation, car leur production et son expansion consomment davantage de combustibles fossiles.

**Graphique 1.17. Les coûts de stabilisation à 550 ppm de la concentration de GES à long terme varient selon les régions<sup>1</sup>**



1. Scénario « 550 ppm-base » (scénario A), voir le tableau 1.2. Les valeurs « 2050 » correspondent au coût, en pour cent du PIB, par rapport au scénario de référence en 2050. Les valeurs « Cumulés 2050 » correspondent au coût cumulé au cours de la période 2005-2050 : elles représentent l'écart (en pour cent) entre la somme (non actualisée) des PIB annuels de la période 2005-2050 dans le scénario « 550 ppm-base » et la somme correspondante dans le scénario de référence.

Source : OCDE, ENV-Linkages.

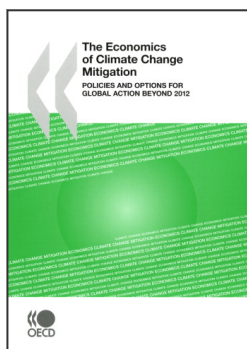
Les estimations des coûts d'atténuation en termes de perte de PIB par rapport au scénario de référence qui sont présentées dans cette section doivent être considérées comme des estimations basses, obtenues en présumant que la tarification du carbone s'applique largement et de façon efficiente. Il se pourrait toutefois que les conditions et les instruments nécessaires à de telles actions efficaces par rapport au coût ne soient pas en place avant de nombreuses années. Aussi, après que le chapitre 2 aura passé en revue les moyens d'action dont disposent les pouvoirs publics pour atténuer le changement climatique et le rôle de chacun dans une panoplie d'instruments souhaitable, le chapitre 3 examinera les conséquences d'une possible couverture incomplète des pays, des secteurs et/ou des sources d'émissions. À l'inverse, un certain nombre de facteurs non pris en compte dans l'analyse des simulations développée ci-avant pourraient contribuer à abaisser les coûts d'atténuation, dont : *i*) la suppression éventuelle de subventions énergétiques ; *ii*) l'émergence à l'avenir de technologies majeures qui limitent les émissions de carbone (« technologies de rechange à long terme »), comme le captage et le stockage du carbone à grande échelle ; et *iii*) l'existence de possibilités d'atténuation via la foresterie. Chacun de ces facteurs est examiné dans d'autres parties du présent ouvrage, notamment dans les chapitres 3 (foresterie), 4 (subventions énergétiques) et 5 (nouvelles technologies).

## Notes

1. Qui ont abouti à une stabilisation temporaire au début des années 90, au moment du recul du PIB dans les économies en transition.
2. Entre 1990 et 2005, les émissions de GES ont progressé en gros de 15 % au Japon, de 18 % aux États-Unis, de 26 % au Canada, de 29 % en Australie et de plus de 40 % dans les économies en développement à forte croissance que sont le Brésil, la Russie, l'Inde et la Chine (BRIC).
3. L'amélioration de l'efficacité énergétique entraînerait un fort ralentissement de la croissance des émissions mondiales : celle-ci tomberait à environ 0.8 % par an au cours de la période 2030-2050, soit 1.7 point de moins que la moyenne de la période 1995-2005.
4. Les prévisions d'élévation des températures mentionnées dans cette section représentent des effets instantanés à une date donnée. Les augmentations à long terme à l'équilibre des températures sont plus importantes du fait de l'inertie qui caractérise le système terrestre.
5. L'intervalle de confiance à 66 % concernant l'élévation de la température moyenne mondiale est de 1.3-3 °C en 2050 et de 2.2-5.8 °C en 2100.
6. Certaines études plus récentes abordent le changement climatique en tenant compte du développement socio-économique. Celui-ci pourrait en principe limiter les incidences sanitaires en améliorant la fourniture de services de santé et l'accès à ces services, et en réduisant ainsi la vulnérabilité face aux effets du changement climatique (voir Tol et Dowlatabadi, 2001 ; et Tol, 2005a).
7. D'après Reilly *et al.* (2007), une élévation de la température moyenne de moins de 3 °C par rapport à 2000 aurait un effet positif sur la production agricole grâce à ce phénomène (quoique les auteurs omettent d'examiner l'impact négatif de l'ozone sur la production).
8. La contribution respective du travail et du capital à la croissance économique future est un autre paramètre connexe qui influe sur les émissions prévues. Si le capital et l'énergie étaient complémentaires et non substituables dans le processus de production, une contribution plus importante du capital stimulerait la croissance des secteurs à forte intensité énergétique et augmenterait ainsi les émissions, toutes choses égales par ailleurs.

9. En effet, toutes choses égales par ailleurs, l'épuisement de ces réserves devrait entraîner un recours accru au charbon, qui est un combustible à plus forte teneur en carbone. Toutefois, les réserves de pétrole brut et de gaz naturel ne font pas l'objet d'une modélisation explicite dans la version actuelle d'ENV-Linkages. Pour intégrer de façon approximative leur caractère limité, des hypothèses exogènes concernant la production de pétrole brut dans la région exportatrice de pétrole du modèle sont utilisées.
10. Voir, par exemple, la récente controverse suscitée par le rapport Stern, dans lequel a été utilisé un taux d'actualisation social inférieur à celui de beaucoup d'autres études (Dasgupta, 2007 ; Nordhaus, 2007 ; Stern, 2007). Certains voient dans ce choix une tentative de prise en compte indirecte d'événements extrêmes (Weitzman, 2007a).
11. Les évolutions climatiques irréversibles et leur incertitude justifient une action rapide et l'adoption d'objectifs rigoureux, de façon à maintenir la possibilité de faire face aux changements climatiques futurs et à leurs conséquences (Arrow et Fisher, 1974 ; Henry, 1974). Le fait que la probabilité de survenue d'événements « extrêmes » soit inconnue ne fait que renforcer cette incitation à agir vite et vigoureusement dans une optique d'« assurance catastrophe » (Weitzman, 2007b). D'un autre côté, les coûts de réduction des émissions sont aussi dans une large mesure incertains, en particulier sur des périodes longues, et beaucoup d'investissements entraînent également des phénomènes d'irréversibilité. Ces facteurs plaideraient en faveur d'un report de l'action afin de pouvoir prendre ultérieurement des mesures meilleur marché et fondées sur une meilleure information (voir Pindyck, 2007).
12. L'innovation pourrait aussi contribuer à faire baisser les coûts d'adaptation.
13. Il ne s'agit pas de scénarios correspondant à une action pleinement efficace par rapport à son coût, dans la mesure où ils ne prévoient ni la suppression des subventions énergétiques, ni l'application de mesures en matière de R-D, ni encore la mise en œuvre de politiques de réduction des émissions liées aux changements d'affectation des terres, autant d'éléments qui devraient faire partie d'une panoplie de mesures d'un bon rapport coût-efficacité. En outre, étant donné que la version actuelle du modèle ENV-Linkages ne prend pas en compte les émissions de GES liées aux changements d'affectation des terres, la possibilité d'une action visant ces émissions est ignorée dans tous les scénarios.
14. Dans tous les scénarios portant sur la concentration de CO<sub>2</sub>, la réduction en pour cent des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport au scénario de référence est présumée valoir aussi pour les gaz autres que le CO<sub>2</sub>, dont les émissions sont exprimées en équivalent CO<sub>2</sub> (éq. CO<sub>2</sub>) sur la base de leur potentiel de réchauffement de la planète (PRP) sur 100 ans. Néanmoins, les concentrations de CO<sub>2</sub> et de gaz autres que le CO<sub>2</sub> sont mentionnées ici séparément, en raison notamment des problèmes méthodologiques soulevés par le PRP de chaque gaz, qui peut varier sensiblement selon la durée de la période considérée.
15. La trajectoire d'émissions correspondant à un objectif est exprimée en termes de concentrations futures et peut varier en ce qui concerne l'année où les émissions culminent, le degré de dépassement temporaire (le cas échéant) permis par rapport à l'objectif, ainsi que l'année de stabilisation des émissions et le niveau auquel elles se stabilisent. Par conséquent, un objectif de concentration offre une plus grande marge de manœuvre pour choisir une trajectoire de réduction des émissions qui atténue les effets perturbateurs sur l'économie. Toutefois, il peut aussi introduire une certaine confusion dans le débat international dans la mesure où le lien entre émissions et concentrations est incertain.

16. Après 2050, la stabilisation de la concentration autour de ce niveau supposerait un abaissement des émissions d'environ 1 % par an.
17. D'après les simulations réalisées au moyen du module climatique MAGICC, la température mondiale augmenterait de 1.9 °C d'ici à 2070 dans le scénario B de « dépassement fort », contre 1.6 °C dans le scénario A de « dépassement limité ».
18. Les simulations réalisées au moyen du modèle ENV-Linkages présument que les recettes sont redistribuées aux ménages sous forme de transferts forfaitaires, bien qu'elles puissent en fait servir à réduire d'autres impôts sur le travail ou le capital qui provoquent des distorsions. Ces effets ne peuvent pas être simulés complètement, dans la mesure où l'offre de main-d'œuvre est fixe dans le modèle ENV-Linkages, par exemple. Pour des tentatives d'estimation de ces effets, voir De Mooij (1999), Goulder (1995), Goulder *et al.* (1999), Pezzy et Park (1998). On pourra néanmoins faire valoir que les distorsions importantes dues à la fiscalité peuvent toujours être éliminées au moins en partie indépendamment du produit des taxes sur le carbone, par exemple en modifiant la structure fiscale (voir Johanson *et al.* 2008).
19. De fait, sur la base d'une récente analyse de l'OCDE consacrée aux effets des coins fiscaux sur l'emploi (Bassanini et Duval, 2006), et en supposant que la tarification du carbone affecterait l'offre de main-d'œuvre comme n'importe quelle autre composante du coin fiscal sur le travail, un rapide calcul tend à indiquer que le coût supplémentaire de la tarification du carbone en termes de diminution de l'offre de main-d'œuvre (dont il n'est pas tenu compte ici) pourrait atteindre pas moins de 1 point du PIB dans les pays de l'OCDE en 2050. L'augmentation et le recyclage des recettes de la tarification du carbone pourraient annuler ce coût, voire – s'ils s'accompagnent d'une modification appropriée de la structure fiscale – le transformer en gain.
20. Les pays où le déboisement se traduit par des émissions importantes pourraient également faire face à des coûts élevés si ces émissions tombaient dans le champ d'application d'une politique d'atténuation, mais ce point n'est pas pris en compte dans la simulation réalisée.



Extrait de :

## The Economics of Climate Change Mitigation Policies and Options for Global Action beyond 2012

Accéder à cette publication :

<https://doi.org/10.1787/9789264073616-en>

### Merci de citer ce chapitre comme suit :

OCDE (2010), « Émissions de gaz à effet de serre et impact du changement climatique », dans *The Economics of Climate Change Mitigation : Policies and Options for Global Action beyond 2012*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264073913-3-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

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

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