

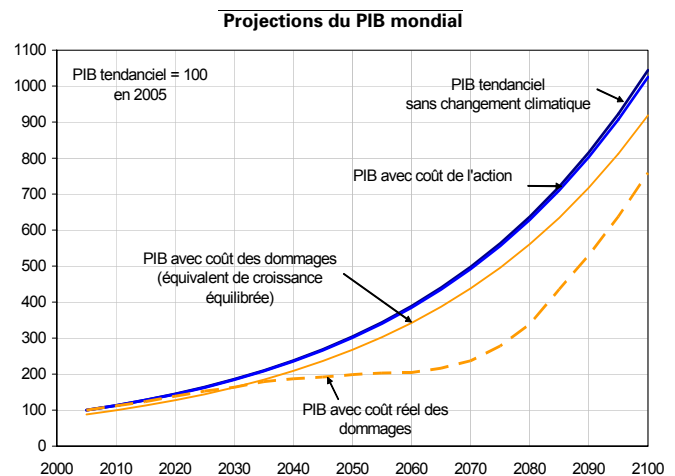
## Conséquences économiques à long-terme du changement climatique

- Le Ministère des finances britannique a publié en 2006 une étude sur les implications économiques du changement climatique (*Stern Review on Economics of Climate Change*). La principale novation du «Rapport Stern» est d'introduire l'analyse économique au cœur du débat climatique et de la mettre au service d'un vigoureux plaidoyer : les dommages causés par le réchauffement de la planète seraient 5 à 20 fois supérieurs aux sacrifices que les systèmes économiques devraient supporter pour lutter efficacement contre l'effet de serre. Ce message abondamment médiatisé a contribué à forger un consensus international sur la nécessité et l'urgence d'agir.
- Le «Rapport Stern» se démarque des règles traditionnelles de l'analyse coûts-bénéfices pour comparer les dommages du réchauffement climatique et les coûts de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Certains des choix méthodologiques qui sous-tendent l'analyse, notamment la séparation du calcul des dommages climatiques et des coûts de l'action ainsi que la faiblesse inhabituelle du taux d'actualisation (1,4%), ont été vivement critiqués par des économistes comme W. Nordhaus et R. Tol. Avec une approche plus homogène des coûts et bénéfices des mesures de prévention du changement climatique, une méthode d'actualisation plus orthodoxe et une prise en compte plus fine de la valeur du carbone et de l'incertitude dans la modélisation, Stern aurait sans doute pu prévenir les objections dont il est victime sans renverser le sens de ses conclusions.
- La validité de ces conclusions est largement tributaire de notre capacité à maîtriser les coûts de l'atténuation de l'effet de serre. D'après le rapport, une baisse de 25% des émissions de gaz à effet de serre en 2050 par rapport à aujourd'hui ne devrait entraîner que de faibles perturbations pour l'économie mondiale, de l'ordre de 1% du PIB mondial en 2050.

Ce résultat optimiste repose sur un modèle qui suppose que les options les moins coûteuses pour réduire les émissions de carbone seront exploitées en priorité grâce à des politiques de prix correctement calibrées. Les pouvoirs publics ont donc la responsabilité de créer un cadre incitatif privilégiant le recours aux instruments économiques pour minimiser le coût global de l'effort de prévention du risque climatique.

Source : Hallegatte et Hourcade, pour Veolia Environnement.

Ce document a été élaboré sous la responsabilité de la direction générale du Trésor et de la Politique économique et ne reflète pas nécessairement la position du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Emploi.



La *Stern Review on Economics of Climate Change* est le fruit d'un travail collaboratif de près d'un an et demi réalisé par une quarantaine de chercheurs de plusieurs nationalités (britanniques, américains, allemands, français, mais aussi chinois, indiens, ...) sous le patronage de Sir Nicholas Stern, alors Directeur du Budget et des Finances Publiques au Trésor britannique, Chef du service économique du gouvernement et conseiller spécial du Premier ministre sur l'économie du climat et les questions de développement. M. Stern a précédemment occupé les fonctions de Chef économiste et Vice-Président du développement économique à la Banque mondiale.

D'après les termes de référence du mandat qui lui avait été donné le 19 juillet 2005 par le Chancelier de l'Échiquier de l'époque Gordon Brown, l'équipe de Nicholas Stern devait dans un premier temps examiner, sur la base des études existantes, «les conséquences économiques, sociales et environnementales du changement climatique dans les pays développés et les pays en développement» ainsi que les «coûts et bénéfices liés à l'amélioration de la balance carbone de la planète», pour dresser dans un second temps un bilan économique complet de la lutte contre l'effet de serre sous les deux volets «atténuation» et «adaptation».

Le résultat des travaux a été rendu public en octobre 2006 sous la forme d'un document de plus de 700 pages. Le «Rapport Stern» constitue un condensé de la meilleure expertise scientifique et économique disponible sur l'évolution du climat. **La présente étude vise à expliciter sous un angle critique la démarche et le raisonnement économique mobilisés par Nicholas Stern sur l'élément central du rapport, à savoir la comparaison entre les coûts des dommages provoqués par le réchauffement climatique et les sacrifices à consentir pour limiter les émissions de gaz à effet de serre et la hausse des températures.**

Stern s'affranchit du format classique de l'analyse coûts-bénéfices où l'ensemble des coûts de l'investissement et des bénéfices qu'il rapporte sont cumulés et actualisés pour donner la valeur actuelle nette du projet. Dans le rapport, les gains associés à la lutte contre le changement

climatique sont calculés comme les coûts des dommages qui seraient constatés en l'absence d'action de la part des autorités ; ils sont rapportés à la consommation par tête actuelle. En revanche, les coûts de l'action sont évalués de manière séparée et sont exprimés en proportion du PIB de 2050. De même, le scénario de réduction des émissions dont Stern calcule le coût est calibré pour limiter le réchauffement à moins de 3° par rapport à l'ère préindustrielle ; il ne permettrait donc d'éviter que les dommages compris entre +3° et +3,9–4,3°<sup>1</sup>. L'hétérogénéité du calcul empêche en toute rigueur de comparer coûts de l'action et de l'inaction, mais cette limite méthodologique n'entache pas le message politique et économique du rapport. En fait, le choix fait par Stern d'estimer le coût de l'action par rapport au PIB de 2050 aboutit à des résultats plus élevés qu'avec une méthode d'actualisation classique : lorsque l'on rapporte la somme actualisée<sup>2</sup> des coûts totaux de réduction des émissions entre 2005 et 2050 au PIB cumulé et actualisé sur la même période, le coût de l'action ressort à 0,6%, contre 1% dans le scénario central de Stern.

**Quoiqu'il en soit, le message du rapport Stern reste économiquement fondé : le laissez-faire en matière climatique coûterait bien plus de richesses à l'humanité que les mesures de prévention requises pour maîtriser puis réduire les émissions de gaz à effet de serre, à condition que celles-ci soient conçues de façon à en minimiser le coût économique.** A l'appui de cette analyse, Stern mobilise efficacement la littérature existante pour livrer une évaluation qualitative très richement documentée sur les effets du réchauffement et n'hésite pas à prendre ses distances avec certaines règles bien établies du calcul économique pour en quantifier l'impact sur le PIB. **La plus grande réussite du rapport est d'avoir porté le débat sur le terrain économique, à la fois en objectivant l'intérêt économique de l'action et en mettant au premier plan la question centrale de l'efficacité des politiques publiques en matière climatique.**

## **1. Le Rapport indique que le coût total du changement climatique équivaldrait, au cours des deux prochains siècles, à une diminution moyenne d'au moins 5% de la consommation par tête «aujourd'hui et pour toujours»**

Ce coût de 5% correspondant à l'un des scénarios envisagés est calculé hors impact non marchand, par rapport à un scénario central dans lequel la planète ne subit aucune modification climatique. La prise en compte additionnelle des impacts non-marchands du changement climatique (qualité de l'environnement, santé humaine, stabilité politique et sociale), des effets d'amplification liés aux rétroactions difficilement prévisibles entre climat et biosphère, et

de la concentration des dommages sur les zones les plus pauvres de la planète, porterait **le coût total à environ 20% de la consommation par habitant.**

**Ces estimations sont plus élevées que celles produites auparavant<sup>3</sup>, dont N. Stern pointe les lacunes :** sous-estimation des hausses de températures possibles, prise en compte insuffisante des événements climatiques extrêmes liés à une augmentation des températures

(1) Les chiffres de 3,9° et 4,3° correspondent aux deux scénarios centraux (*baseline climate* et *high climate*) utilisés par Stern pour calculer les coûts de l'inaction.

(2) Avec le même taux d'actualisation que celui utilisé par Stern pour évaluer les dommages : 1,4%.

(3) Les études de Mendelsohn (1998), Nordhaus et Boyer (2000) et Tol (2002) concluent généralement à des pertes de l'ordre de 1% à 2%.

moyennes (sécheresse, inondations, tempêtes) et des «surprises» (ralentissement de la circulation thermohaline dans l'Atlantique, fonte accélérée de la banquise en Antarctique), cloisonnement de l'analyse par secteurs, modélisation imparfaite des effets dépressifs sur l'investissement, etc.

### **1.1 La modélisation repose sur plusieurs scénarios d'évolution des températures et de réalisation d'événements imprévisibles**

**Le Rapport Stern se propose de tirer parti des progrès de la connaissance scientifique et de renouveler le cadre de l'analyse économique en intégrant les spécificités du changement climatique :** des dommages à très long terme, inégalement répartis selon les régions et dont l'ampleur réelle ne peut être appréhendée avec certitude. Le «modèle d'évaluation intégrée» PAGES<sup>4</sup> 2002 utilisé par N. Stern se fonde sur une matrice probabiliste articulée autour de trois paramètres-clés : d'une part, l'existence possible de «boucles de rétroaction climatiques» aggravant les hausses initiales de températures (libération du méthane piégé dans les sols gelés, affaiblissement de la capacité d'absorption des puits de carbone océaniques et forestiers) ; d'autre part, la nature des impacts du changement climatique (marchands/non-marchands) et leur vitesse d'apparition (progressivité/non-linéarité). Le modèle comporte au total deux lots de trois scénarios de dommages (voir graphiques 1 et 2) à l'horizon 2200, chacun des lots correspondant à deux profils différents de hausse de températures (+2,4 à 5,8° en 2100 par rapport aux niveaux préindustriels pour le lot *baseline climate*, +2,6 à 6,5° pour le lot *high climate*), les scénarios à l'intérieur de chaque lot se distinguant les uns des autres par la prise en compte ou non des dommages non-marchands et des risques d'événements imprévisibles de grande ampleur. Chacun des scénarios présente les dommages jusqu'en 2200 liés aux concentrations des GES (gaz à effet de serre) sur la période allant d'aujourd'hui à 2100.

**Les résultats du modèle aboutissent à des pertes de revenu par tête comprises entre 5,3% et 13,8% en 2200 par rapport à un scénario «sans changement climatique»,** la distribution de la fourchette des dommages (avec un intervalle de confiance à 90%) s'étend entre 1% et 35% en 2200 selon la valeur des paramètres. Ces estimations traduisent en fait une surpondération des scénarios les plus pessimistes et les moins probables<sup>5</sup> : ceci explique que les résultats soient plus «alarmistes» que chez Nordhaus par exemple, où les dommages sont

calculés sur la base de scénarios «moyens». La différence provient de ce que Stern ne souhaite pas écarter ou minorer l'importance des situations les plus extrêmes au motif qu'il y a une chance seulement infime qu'elles se produisent. Bien au contraire, Stern en fait un étalon pour éclairer les choix publics (stratégie du pire). Une telle approche peut se justifier en présence d'incertitudes, comme l'a précisé Weitzman juste après la publication du rapport<sup>6</sup>.

Pour leur partie marchande, ces pertes sont appréhendées à l'aide de fonctions de production à trois biens (capital, travail, qualité de l'environnement) ; les phénomènes physiques liés à l'augmentation des températures affectent la quantité, voire la productivité des facteurs de production et conduisent *in fine* dans une vision agrégée et donc nécessairement simplifiée<sup>7</sup> à des baisses de PIB<sup>8</sup> : déclin de la production agricole en raison de sa sensibilité extrême aux conditions climatiques (disponibilité de l'eau, sécheresses, ...), destructions d'infrastructures et de biens et limitation des flux commerciaux causées par les inondations et les tempêtes, moindre abondance et moindre productivité du facteur travail en raison d'une mortalité accrue et d'un état de santé dégradé des populations. Stern prend cependant soin de préciser qu'il s'agit davantage d'une diminution de la consommation finale que d'une dégradation du PIB : les effets potentiellement stimulants du changement climatique sur l'environnement productif et l'activité économique (par exemple les mesures d'adaptation et de réparation des dommages comme la construction d'infrastructures de protection des zones côtières, l'acquisition massive de climatiseurs, etc...) sont bien comptabilisés comme des coûts d'opportunité dans la mesure où ces dépenses additionnelles et imprévues détournent des ressources qui auraient pu être disponibles pour d'autres investissements.

**Stern recourt à la notion «d'équivalent de croissance équilibrée» (*Balanced Growth Equivalent, BGE*) pour ramener ces pertes de PIB étalées dans le temps à leur valeur présente.** Pour chacun des 6 scénarios précités, l'évolution du revenu par tête est d'abord transformée en une mesure équivalente du bien-être social. L'étape suivante consiste à déterminer quel est le niveau présent de la consommation par tête qui aboutirait, en l'absence de réchauffement climatique, au même niveau de bien-être (c'est ce que l'on appelle le *BGE*). Le coût actualisé du réchauffement climatique se définit pour chaque scénario comme la différence entre le *BGE* calculé avec impacts du changement climatique et le *BGE* calculé hors changement climatique, ou de façon équiva-

(4) *Policy Analysis of the Greenhouse Effect.*

(5) Hourcade et Hallegatte: «Le Rapport Stern sur l'économie du changement climatique : de la controverse scientifique aux enjeux pour la décision publique et privée».

(6) Weitzman (2007) : «The role of uncertainty in the economics of catastrophic climate change», *juin 2007.*

(7) L'approche retenue par Stern est purement énumérative : les pertes de PIB sont calculées pour chaque secteur et chaque zone géographique pris isolément, sans que les interactions ne soient prises en compte.

(8) La relation entre l'intensité du réchauffement climatique et les impacts peut prendre des formes très différentes. Par exemple, les dégâts causés aux infrastructures augmentent de façon non linéaire avec la vitesse de pointe du vent (fonction de réponse cubique de type  $y = x^3$ ) ; le rendement des cultures suit quant à lui une courbe dont l'évolution n'est pas nécessairement monotone, pouvant présenter une forme en «U renversé» témoignant d'un accroissement possible, transitoire et localisé des productions avec une hausse modérée des températures, puis d'une chute des productions à partir de certains seuils.

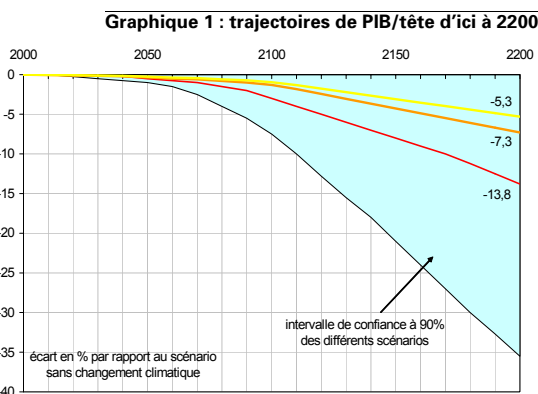
lente comme l'impact du choc «dépressif» qui sera provoqué par les dommages climatiques au cours des deux prochains siècles, rapporté au niveau de consommation par tête actuel.

(rouge et orange) permettent de retracer les effets du réchauffement à des niveaux de températures très élevés (>+7°)

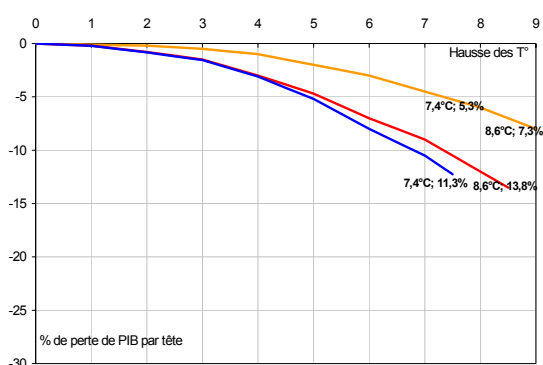
## 1.2 Pour valoriser les pertes intertemporelles de bien-être, Stern mobilise la technique de l'actualisation

La valorisation des pertes intertemporelles de bien-être consiste à déterminer la valeur que l'on attache aujourd'hui à des dommages qui se produiront dans le futur. Dans son épure traditionnelle, le calcul économique applicable aux investissements publics conduit à construire le taux d'actualisation<sup>9</sup> sous la forme de la somme de trois composantes, que l'on retrouve d'ailleurs chez Stern :

- **la préférence pure pour le présent** (ou «prix du temps»), qui traduit à la fois la préférence accordée au bien-être immédiat plutôt qu'au bien-être futur (effet d'impatience) et la probabilité que l'individu ou la collectivité n'existe plus dans le futur ;
- **l'effet richesse**, qui dépend du taux de croissance anticipé et de l'élasticité de l'utilité marginale de la consommation. L'anticipation d'un surplus de richesse dans le futur incite les agents économiques à vouloir consommer davantage aujourd'hui, et ce d'autant plus que l'utilité marginale associée à l'accroissement futur de richesse est faible. L'équilibre sur le marché des capitaux (épargne/investissement) conduit alors, pour contrebalancer la faible incitation à épargner, à un taux d'intérêt élevé. De manière synthétique, la combinaison d'une croissance soutenue et d'une utilité marginale fortement décroissante s'accompagnent donc d'une propension élevée à satisfaire les besoins de consommation immédiats ;
- **l'effet précaution** : l'anticipation du sentier de la croissance future peut être entachée d'incertitudes. Il existe donc une incitation forte à une épargne de précaution. L'agent renonce à consommer aujourd'hui afin d'atténuer les pertes d'utilité liées aux scénarios les plus pessimistes. Par conséquent la prudence vient atténuer l'effet richesse et diminuer le taux d'actualisation. La problématique de l'incertitude est précisée au cœur de la réflexion économique sur le changement climatique, s'agissant de l'évolution des déterminants des hausses de températures futures comme de l'ampleur des dommages et de leur impact sur les trajectoires du PIB.



Graphique 2 : évolution des pertes de PIB par tête selon la hausse des températures



Source : rapport Stern

Sur le graphique 1, la courbe en rouge correspond à un scénario *high climate* qui tient compte à la fois des impacts marchands et non-marchands et du risque de catastrophes ; la courbe en orange désigne le même scénario mais cette fois sans évaluation des impacts non-marchands ; la courbe jaune représente une trajectoire *baseline climate* sans prise en compte des impacts non-marchands dans l'estimation des pertes de PIB. Sur le graphique 2, les courbes rouge et orange ont respectivement les mêmes propriétés que sur le précédent graphique ; la courbe bleue est analogue à la courbe jaune du graphique 1, à la différence près qu'elle tient compte des dommages non-marchands. On remarquera que seuls les deux scénarios *high climate*

## 2. Trois types de commentaires peuvent être formulés à l'encontre de la méthode utilisée par Stern dans la mesure où celle-ci introduit des biais dans le calcul final

### 2.1 Le taux d'actualisation final retenu par Stern (1,4%) est de loin inférieur aux standards conventionnels

Selon Stern, il n'y aurait aucune raison de dévaloriser les préjudices que les générations futures seraient amenées à subir. Considérant qu'un taux d'actualisation élevé tendrait

à «effacer» les pertes de bien-être subies par les générations futures du fait du réchauffement climatique, d'autant plus que celles-ci augmentent de manière exponentielle avec le temps, Stern ne juge pas illégitime d'assouplir les règles du calcul économique pour tenir compte de la nature particulière du problème du changement climatique.

(9) «Révision du taux d'actualisation public des investissements publics», *Commissariat général au Plan*, 21 janvier 2005.

Certains auteurs, comme William Nordhaus, y voient un artifice «hausser» dans l'évaluation des dommages. Pour chacun des paramètres de l'actualisation, Stern retient en effet des valeurs plus faibles que celles qui sont communément admises dans l'analyse économique<sup>10</sup> :

- **la préférence pure pour le présent est fixée à 0,1%**, il est inférieur à la majorité des estimations existantes du taux de préférence pure pour le présent.
- **le taux de croissance annuel par tête de 1,3%** est issu d'un des scénarios du rapport de synthèse du GIEC pour simuler l'ampleur du réchauffement climatique (*Special Report on Emission Scenarios, SRES 2000*), qui se caractérise par une hypothèse de croissance forte de la population mondiale (+0,6% par an) et de faible augmentation du PIB en valeur absolue (+1,9% à +2,3% par an) par rapport aux autres scénarios du GIEC. Stern choisit donc comme référence le scénario du GIEC le moins avantageux du point de vue de l'évolution du revenu par habitant (+1,1% à +1,3% par an), alors qu'il atteint jusqu'à 2,8% dans le scénario le plus optimiste du *SRES 2000* ;
- **l'élasticité de l'utilité marginale à la consommation est considérée égale à 1 par Stern.** Ce chiffre représente la borne basse des estimations fournies par la littérature existante (le paramètre varie de 1 à 3). Ce choix d'une élasticité faible conduit Stern à négliger l'effet du terme de prudence (carré de l'élasticité). L'aversion au risque des agents est en effet d'autant plus faible que l'élasticité de l'utilité marginale à la consommation est basse<sup>11</sup>.

## 2.2 En sens inverse, certains des choix effectués dans le rapport contribuent à sous-estimer la valeur présente des dommages futurs infligés par le réchauffement climatique

**Stern n'explique pas la façon dont il pondère l'incertitude sur les risques difficilement probables** : si un certain nombre de phénomènes ont une probabilité d'occurrence bien définie (élévation du niveau des mers, déplacement des zones de culture, hausse des précipitations dans les régions humides...), d'autres événements sont susceptibles de se produire sans

qu'ils soient probables *ex ante*, avec des conséquences potentiellement catastrophiques (arrêt du *Gulf Stream* dans l'Atlantique Nord, saturation des puits de carbone,...). **La prise en compte de l'incertitude sur l'étendue des dommages irait dans le sens d'un taux d'actualisation plus bas.** Il est néanmoins possible que cet effet de précaution soit utilisé de manière implicite par Stern comme un argument général pour abaisser les autres paramètres de l'actualisation.

**La question de la pondération relative des pertes de richesse affectant les pays les plus pauvres mériterait sans doute de faire l'objet d'un traitement plus approfondi, comme le reconnaît Stern lui-même.** Le changement climatique devrait toucher plus durement l'Afrique, le Moyen-Orient, l'Inde et l'Asie du Sud-Est, ces deux dernières zones devant accuser une diminution de leur PIB par tête plus importante que la moyenne en raison de leur vulnérabilité particulière (-6% en 2100 contre -2,6% en global au même horizon<sup>12</sup>). Bien qu'il n'y ait pas procédé dans son étude, Stern invite à retenir une fonction d'utilité différente adaptée à chaque région du monde afin de traduire le sacrifice plus grand qu'entraîne la même perte de richesse pour un pays démuné que pour un pays industrialisé. La simple agrégation des pertes de PIB en valeur absolue des différentes régions du monde au moyen d'une fonction d'utilité unique (hypothèse classique de l'agent représentatif unique) semble en effet minorer les impacts du changement climatique sur le bien-être des pays en développement et donc les dommages globaux.

## 2.3 De manière générale, Stern semble utiliser le taux d'actualisation comme une variable d'ajustement unique et exclusive qui remplirait plusieurs fonctions

Dans le prolongement des analyses du Rapport Lebègue (2005), Stern serait sans doute parvenu à des résultats similaires dans l'estimation des dommages avec un taux d'actualisation plus proche des standards et simultanément une meilleure prise en compte de l'évolution du prix relatif des biens environnementaux<sup>13</sup>. Le prix associé à la stabilité du climat pourrait être amené à augmenter au

(10) Pour établir le bilan socioéconomique des investissements publics, l'ex-Commissariat Général au Plan prône l'utilisation d'un taux d'actualisation hors prime de risque et coût d'opportunité des fonds publics de 4%, qui décroît au bout de 30 ans avec un plancher à 2%. Le Trésor britannique (Livre vert de 2003) recommande 3,5% pour des évaluations effectuées sur un horizon de 30 ans, décroissant jusqu'à 1% au-delà de 300 ans. Comme l'explique le rapport Lebègue, la raison pour laquelle il peut être justifié de faire décroître le taux au bout d'un certain temps tient à l'incertitude sur l'effet richesse : l'absence de projections fiables sur la croissance économique à (très) long terme va conférer une place plus importante à l'effet «précaution» qui incite la génération actuelle à faire d'autant plus d'effort que la génération future est éloignée. voir Delattre & Véron (2005) : «Taux d'actualisation public et calcul économique», *DPAE n°84*.

(11) L'élasticité de l'utilité marginale de la consommation et l'aversion au risque sont les deux faces d'une même pièce qui déterminent la courbe de la fonction d'utilité. Pour illustrer ce point, prenons deux cas polaires de distribution de l'utilité : dans le premier cas, un individu a 50% de chance d'obtenir un gain monétaire de 95 et 50% de chance d'avoir 105 ; dans le second, le même individu est sûr d'obtenir un gain de 100 de façon certaine. En information parfaite, l'agent rationnel sera d'autant moins enclin à accepter de prendre un risque pour obtenir un gain plus élevé (105, soit un gain supérieur au gain moyen hors risques 100) que son utilité marginale décroît fortement avec sa consommation : l'aversion au risque est d'autant plus forte que l'élasticité est élevée.

(12) Ces évaluations sont forcément des approximations dans la mesure où elles ne tiennent aucun compte des effets de bouclage macroéconomiques liés aux échanges de biens et de personnes (flux commerciaux, migrations) qui ont lieu entre les différentes régions considérées.

cours du temps par rapport au prix des biens de consommation privés traditionnels.

**Le rapport Stern a le mérite de tenter de mobiliser le calcul économique pour légitimer les politiques publiques de lutte contre le changement climatique. Le principe général de prudence face à la volatilité future de la croissance<sup>14</sup> et à l'éventualité de catastrophes difficilement anticipables, ainsi que les considérations éthiques attachées au bien-être des générations futures, sont les deux paramètres qui, selon Stern, justifient, *ex ante* et de façon générale, de retenir un taux d'actualisation faible, quitte à ajuster à la baisse chacun des paramètres individuels.**

### 3. Les coûts de réduction des émissions de GES ressortent à un niveau plus faible que ceux des dommages

Le rapport Stern met en regard la valeur actualisée des dommages induits par le réchauffement de la planète (5–20% du PIB mondial de 2005) et le coût, bien plus modeste, de la lutte contre le changement climatique : **la mise en œuvre de politiques et mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre ne coûterait en moyenne qu'1% du PIB global en 2050.** Certains économistes ont vu dans ce résultat avantageux le reflet d'hypothèses particulièrement optimistes sur le progrès technologique et sur la mobilisation des techniques de réduction des émissions peu coûteuses<sup>15</sup>.

#### 3.1 Les coûts de réduction des émissions de gaz à effet de serre sont le produit de plusieurs hypothèses

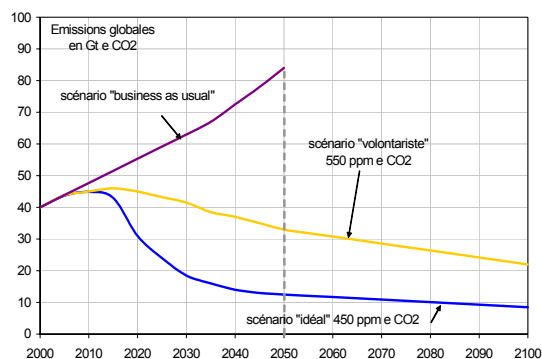
##### 3.1.1 Niveau de stabilisation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et volume des réductions d'émissions requises

Stern prend comme scénario de référence une trajectoire de stabilisation des concentrations de GES dans l'atmosphère à 550 ppmeCO<sub>2</sub><sup>16</sup> à la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle. Le stock s'établit aujourd'hui à 430 ppmeCO<sub>2</sub> et s'accroît de 2,5 ppm chaque année, avec les flux d'émissions actuels. A ce rythme, le niveau de concentration de GES pourrait atteindre 550 ppm dès 2035 et plus de 700 ppm en 2100. Pour stabiliser à 550 (450) ppmeCO<sub>2</sub> en 2100, les émissions devraient être réduites de 25% (70%) en 2050 par rapport aux niveaux actuels, pour être ramenées à 27 GteCO<sub>2</sub> (13,5 GteCO<sub>2</sub>), soit 50 à 70 gigatonnes de moins que le scénario tendanciel. Ces différents scénarios sont

Le message central du rapport semble robuste. Certes, la modélisation explicite du coût social croissant du carbone dans le cadre d'une approche intégrée des coûts de la lutte contre le changement climatique et des bénéfices associés (dommages évités) aurait certainement permis d'obtenir de manière encore plus convaincante des résultats comparables. L'analyse coûts-bénéfices classique avec une valeur actuelle unique aurait en effet été préférable du point de vue théorique. Néanmoins, sa mise en œuvre pratique se serait heurtée à de sérieuses limites, s'agissant par exemple de la valorisation des coûts et bénéfices « marginaux » des politiques de prévention de l'effet de serre.

illustrés dans le graphique 3 ci-contre et le tableau 1 de la page suivante.

Graphique 3 : évolution des émissions dans les différents scénarios



Source : rapport Stern

Les trajectoires d'émissions illustrées ci-dessus n'ont d'autre valeur qu'indicative car il existe en théorie une infinité de « chemins » pour parvenir à l'objectif. Il faut cependant noter que le champ des possibles se restreint à mesure que l'objectif devient plus difficile à atteindre. Il est aujourd'hui largement admis que le profil des courbes de stabilisation sera découpé en trois phases : un prolongement voire un accroissement des tendances actuelles d'augmentation des émissions au cours des 5 à 10 prochaines années, un plateau autour de 2015-2020 puis une décrue régulière jusqu'en 2050 et au-delà. Toute autre trajectoire serait soit irréaliste et excessivement coûteuse (effort d'ajustement massif et brutal) soit aurait pour effet, compte tenu de l'inertie du système climatique,

(13) Sur les modèles d'analyse à deux biens et la notion de taux d'actualisation canonique écologique, voir Guesnerie (1996).

(14) Stern souligne à plusieurs reprises que le réchauffement climatique est susceptible de provoquer des changements majeurs dans les trajectoires de croissance. Cette caractéristique impose de renouveler les termes de l'analyse classique qui se focalise sur l'évaluation de « perturbations » marginales autour d'un sentier de croissance linéaire inchangé.

(15) Voir par exemple Richard S.J. Tol (2006) : « The Stern review of the economics of climate change: a comment », 30 octobre 2006.

(16) Les concentrations de gaz à effet de serre sont exprimées en parties par million ou ppm. Une ppm désigne un centimètre cube de gaz par mètre cube d'air. La notion d'équivalent CO<sub>2</sub> (eCO<sub>2</sub>) permet de ramener à un étalon commun les gaz à effet de serre malgré les différences de durée de vie et de capacité d'absorption du rayonnement des différents GES.

de dépasser le «budget carbone» alloué à l'humanité pour respecter la contrainte climatique (émissions cumulées de carbone tout au long du XXI<sup>ème</sup> siècle).

**Tableau 1 : lien entre émissions des GES et hausse des températures dans les différents scénarios**

	Emissions de GES en 2050	Concentrations de GES en 2100	Hausse des T° en 2100	Fourchette de proba
Scénarios du rapport Stern	45 GteCO <sub>2</sub> = émissions en 2005	>700 ppmeCO <sub>2</sub>	> 3°	52-96%
	<i>business as usual</i> 77-85 GteCO <sub>2</sub> +85% par rapport à 2005	>750-800 ppmeCO <sub>2</sub>	>4°	40-90%
	<i>Volontariste</i> 33,8 GteCO <sub>2</sub> -25% par rapport à 2005	550 ppmeCO <sub>2</sub>	> 2°	63-99%
	<i>Idéal</i> 13,5GteCO <sub>2</sub> -70% par rapport à 2005	450 ppmeCO <sub>2</sub>	<2°	26-78%
UE	<i>Facteur 2 mondial</i> 19 Gte -60% par rapport à 2005	450 ppmeCO <sub>2</sub>	<2°	26-78%

Source : rapport Stern et Commission Européenne.

Note : dans le premier scénario, les émissions de GES en 2050 sont identiques à celles de 2005 et la concentration de GES en 2100 s'élève à plus de 700 ppme CO<sub>2</sub>. La température en 2100 s'élève de plus de 3°C. Ce scénario de hausse des températures a une probabilité de se produire comprise entre 52% et 96%.

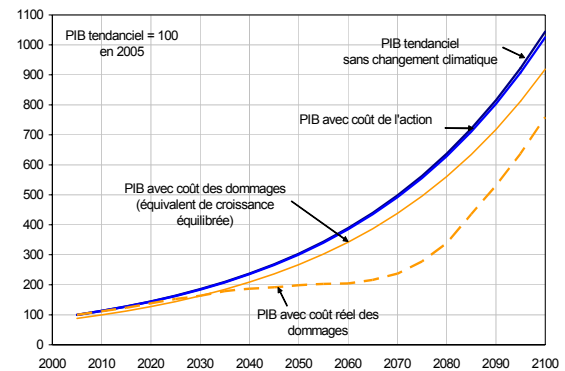
Le rapport établit, à partir de 11 études synthétisées par Meinshausen (2006), une correspondance entre concentrations atmosphériques de GES et hausse des températures. En particulier, une stabilisation à 550 ppmeCO<sub>2</sub> nous laisse de 1 à 37% de chances de rester en-dessous de +2°C par rapport aux niveaux préindustriels (respectivement 31 à 79% pour 3°C et 47 à 94% pour 4°C). Stabiliser à 550 ppm nous prémunirait donc seulement contre une partie des effets liés à une très forte croissance des températures, de l'ordre de celle utilisée dans le rapport pour modéliser le coût des impacts du changement climatique (+3,9° en 2100). L'objectif proposé à la communauté internationale par l'Union européenne, *i.e.* contenir à +2°C maximum le réchauffement de la planète, impliquerait un effort encore plus important (stabilisation en-dessous de 450 ppmeCO<sub>2</sub>, seuil au niveau duquel la

hausse des températures devrait atteindre +2,1°C selon le 4<sup>ème</sup> rapport d'évaluation du GIEC). En pratique, et sous réserve des incertitudes encore nombreuses sur la relation entre concentration de GES dans l'atmosphère et hausse des températures, il est vraisemblable que l'objectif de limitation du réchauffement moyen à 2°C maximum sera difficilement atteint et que l'humanité aura de toute façon à faire face à des conséquences qu'elle peut seulement tenter d'atténuer.

### 3.1.2 Nature des politiques publiques et portefeuille de technologies utilisées

Le Rapport Stern<sup>17</sup> isole une combinaison de mesures permettant de réduire d'un quart les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de l'utilisation des combustibles fossiles entre 2002 et 2050 (amélioration du rendement de l'offre énergétique, maîtrise de la demande d'énergie, substitution de combustible à faible émissions de carbone). Il calcule l'évolution du coût moyen des réductions d'émissions à partir des taux de pénétration des différentes technologies<sup>18</sup> et du coût marginal d'abattement qui leur est associé (\$/tonne de carbone)<sup>19</sup> : en 2050, le coût cumulé de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans une optique 550 ppm s'établirait à 930 milliards de dollars, soit environ 1% du PIB de 2050. Les estimations varient en fait entre -1% (gain net pour l'économie) et 3% du PIB selon les hypothèses prises s'agissant du prix du pétrole et du gaz, de la croissance de la demande d'énergie et de l'innovation technologique.

**Graphique 4 : projections du PIB mondial**



Source : Hallegatte et Hourcade<sup>20</sup>.

Note : l'écart de PIB en 2005 entre les courbes bleues et orange résulte de la méthode choisie par Stern, voir la définition de Balanced Growth Equivalent en 1.1.

(17) Etude intitulée «Costs and Finance of Abating Carbon emissions in the energy sector» (octobre 2006) réalisée par Dennis ANDERSON, professeur émérite à l'Impérial College de Londres et ancien chef économiste de Shell, jointe au Rapport Stern.

(18) La distribution des parts de marché entre les différentes technologies pour la production d'électricité, les transports routiers et la production globale d'énergie primaire en 2025 et 2050 est obtenue par Dennis Anderson (10) parmi 20 000 distributions différentes pondérées par leur probabilité.

(19) Les coûts relatifs des différentes technologies par unité d'énergie produite sont déterminés par rapport à ceux des technologies ou des sources d'énergie de référence : charbon et gaz pour la production d'électricité, essence et gazole pour les transports, gaz pour le chauffage industriel et résidentiel. Les prix de base des combustibles sont pris à 50\$ le baril de pétrole brut et à 6 €/GJ pour le gaz naturel. Ces hypothèses sont compatibles avec les projections de l'AIE. Un baril de pétrole durablement à 100\$ conduirait à rentabiliser plus rapidement les technologies alternatives et à diminuer ainsi le coût de l'action contre le réchauffement climatique. Dennis Anderson tient compte des incertitudes relatives à l'évolution du prix des combustibles et du coût en capital des technologies sobres en carbone en simulant plusieurs distributions de coûts pondérées par leur probabilité, le tout étant agrégé grâce à la méthode de Monte Carlo.

(20) Page précédente : Hallegatte et Hourcade (2007) : «Le rapport Stern sur l'économie du changement climatique: de la controverse scientifique aux enjeux pour la décision publique et privée», étude pour l'Institut Veolia Environnement.

Comme le démontre le graphique 4 ci-dessus, la lutte contre le changement climatique ne devrait pas infléchir de façon significative le potentiel de croissance de l'économie mondiale : le « choc » global, de faible ampleur, serait comparable à une augmentation de 1% de l'indice des prix, à revenus nominaux inchangés, et pourra donc être absorbé sans difficultés par le système économique dans son ensemble.

La méta-analyse entreprise par Terry Barker pour la *Stern Review* à partir de 11 modèles existants corrobore ces résultats mais avec une plus grande amplitude de variation (entre une perte de 3,4% et un gain net de 3,9% du PIB en 2050).

### 3.2 Le Rapport Stern met l'accent sur deux paramètres-clefs pour minimiser le coût global de réduction des émissions de GES

#### 1) La mobilisation des potentiels d'abattement à faible coût qui existent dans certains secteurs

(1–2\$/tCO<sub>2</sub> pour la déforestation évitée, coûts négatifs pour l'efficacité énergétique et les décharges), pour certains gaz (moins de 3\$/teCO<sub>2</sub> pour les émissions liées à la production d'acide nitrique et adipique, 0,2\$/tCO<sub>2</sub> pour le HFC) et dans certains pays, compte tenu des avantages comparatifs (énergie solaire et biocarburants au Brésil) et du taux de renouvellement du stock de capital (investissements en cours dans les infrastructures énergétiques en Chine et en Inde).

2) L'efficacité des politiques publiques, c'est-à-dire la capacité des gouvernements à mettre en place rapidement et progressivement des incitations économiques

appropriées pour les agents. Le Rapport souligne que plus l'action sera retardée, plus les efforts seront « brutaux » et donc coûteux : dans un scénario à 550 ppm, les émissions de gaz à effet de serre devront diminuer au rythme de 1% par an d'ici à 2050 si le pic intervient en 2015 et de 3 à 4,5% par an si le pic n'est atteint qu'en 2040. Les politiques publiques devront, selon Stern, être mises en œuvre de façon graduelle afin que les différents secteurs puissent s'adapter à la « contrainte carbone ». Le Rapport marque d'ailleurs sa préférence pour une combinaison d'instruments destinés à introduire le prix du carbone, de façon explicite (marchés de permis, fiscalité) ou implicite (réglementation) dans les structures de coûts des agents.

Il estime en outre qu'en raison des imperfections de marché (externalités liées à la diffusion des connaissances, rentes pour les installations existantes dans la conception des réseaux, marchés incomplets...), le seul signal-prix sur le carbone ne devrait pas être suffisant pour garantir un niveau optimal d'innovation et de recherche et développement ni le déploiement des technologies déjà rentables. Stern en appelle à un quadruplement des incitations publiques à la R&D privée (qui s'établissent aujourd'hui à 34 Mds \$ pour les biocarburants, les énergies renouvelables et le nucléaire) et un accroissement significatif de l'effort de R&D publique, notamment dans le domaine de l'énergie (de 10 Mds à 20 Mds \$, niveau atteint au début des années 1980).

**Joffrey CELESTIN-URBAIN**

#### Éditeur :

Ministère de l'Économie,  
des Finances et de l'Emploi  
Direction générale du Trésor  
et de la Politique économique

139, rue de Bercy  
75575 Paris CEDEX 12

#### Directeur de la Publication :

Philippe Bouyoux

#### Rédacteur en chef :

Philippe Gudin de Vallerin  
(01 44 87 18 51)  
tresor-eco@dgtp.e.fr

#### Mise en page :

Maryse Dos Santos  
ISSN 1777-8050

### Derniers numéros parus

#### Février 2008

**n°29 . Enjeux de l'entrée en vigueur de la directive sur les marchés d'instruments financiers**  
Frédéric CHERBONNIER, Séverine VANDELANOITE

#### Janvier 2008

**n°28 . Les conditions d'une contribution positive des fonds souverains à l'économie mondiale**  
Ivan ODONNAT  
**n°27 . Niveau et évolution de la concurrence sectorielle en France**  
Romain BOUIS

#### Décembre 2007

**n°26 . Les facteurs d'évolution de la dépense publique en France : une rétrospective**  
Pierre BEYNET, Hervé NAERHUYSEN  
**n°25 . Les effets du ralentissement immobilier sur la consommation aux États-Unis**  
Luc EYRAUD, Aurélien FORTIN, Sophie RIVAUD

#### Novembre 2007

**n°24 . Une nouvelle base de données pour « mesurer » les institutions**  
Nicolas MEISEL, Jacques OULD-AOUDIA  
**n°23 . Le taux réduit d'impôt sur les sociétés pour les PME**  
Sébastien RASPILLER