

ANNEXE TECHNIQUE

L'incertitude dans la détermination des politiques publiques de lutte aux changements climatiques

Afin de déterminer les meilleures politiques publiques à adopter sur les changements climatiques, il est nécessaire de bien comprendre les conclusions scientifiques des experts. L'acquisition de connaissances scientifiques étant un processus long, rigoureux et en constante évolution, ces conclusions sont toujours teintées de marges d'erreur et d'incertitude. Cela ne signifie pas que les conclusions des scientifiques sont fausses, mais plutôt qu'elles sont perfectibles et qu'elles deviendront plus précises au fil des découvertes.

D'un point de vue économique, il est primordial d'évaluer les impacts des changements climatiques. Une fois ces impacts quantifiés, il est alors possible de comparer les coûts économiques et sociaux des politiques proposées aux bénéfices résultant des changements climatiques évités. Selon la théorie économique, la politique d'atténuation de GES idéale est celle qui minimise la somme de la valeur actuelle des coûts nets d'atténuation et des dommages résultant des changements climatiques futurs²³⁵.

Les six étapes des projections scientifiques

Ce calcul n'est cependant pas simple à effectuer. Pour y parvenir, scientifiques et économistes se servent de modèles d'évaluation intégrée, qui intègrent les modèles climatologiques aux modèles socioéconomiques. Ceux-ci nous permettent de calculer les dommages totaux causés par les changements climatiques, le coût des politiques d'atténuation et le coût social du carbone. Les plupart des modèles comportent des hypothèses sur les six étapes suivantes, comme l'illustre le Tableau A-1²³⁶.

Étape 1. Projections des émissions de GES

En premier lieu, il est nécessaire d'élaborer différents scénarios d'émissions de GES. L'élaboration de ces scénarios requiert des hypothèses sur les différents facteurs affectant les émissions de GES, mis en relation par l'identité de Kaya, expliquée au Chapitre 3. Outre ceux

influençant la croissance du produit intérieur brut comme les tendances démographiques, il est aussi nécessaire d'émettre des hypothèses sur l'intensité en carbone (quantité de GES émise par unité d'énergie produite) et l'intensité énergétique (énergie primaire utilisée par unité de PIB). L'évolution des technologies vertes peut aussi jouer sur ces facteurs. Les prédictions obtenues doivent s'étendre sur plusieurs décennies, voire quelques siècles²³⁷. Sachant que les projections socioéconomiques sont rarement réalistes sur des périodes de plus de 10 ans, de telles projections à long terme comportent toujours une grande marge d'erreur²³⁸.

Étape 2. Taux de concentration atmosphérique de GES selon les différents scénarios

Une fois les scénarios d'émissions établies, il faut ensuite déterminer le taux de concentration atmosphérique qui en résulte. Il est difficile de modéliser ce taux puisque des « puits de carbone » tels que les océans, la végétation et les sols absorbent une partie des émissions²³⁹. Une de ces difficultés provient du fait que les taux d'absorption passés des océans ne nous permettent pas de déterminer les taux pour les prochaines années puisque les océans sont des puits ayant une limite, c'est-à-dire qu'ils seront saturés à un certain moment²⁴⁰.

Dans son dernier rapport, le GIEC établit quatre « scénarios RCP » (Representative concentration pathways) qui sont représentatifs des simulations basées sur deux éléments : l'évolution des émissions de GES et les taux de concentration atmosphérique de CO₂ qui y sont associés au cours du 21^e siècle.

235. William D. Nordhaus, « An optimal transition path for controlling greenhouse gases », *Science*, vol. 258, no 5086, novembre 1998, p. 1315-1319.

236. Les éléments 2 et 3 sont estimés à partir de modèles climatologiques, tandis que les éléments 1, 4, 5 et 6 le sont à partir de modèles socioéconomiques. Voir Robert S. Pindyck, « Climate change policy: what do the models tell us », *Journal of Economic Literature*, vol. 5, no 3, septembre 2013, p. 860-872.

237. À titre d'exemple, l'horizon temporel pour le *Stern Review of the economics of climate change* est de 200 ans. Voir Nicholas Stern, *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, 2007, p. 202.

238. Irene Lorenzoni et W. Neil Adger, « Critique of Treatments of Adaptation Costs in PAGE and FUND Models », dans Rachel Warren et al. (dir.), *Spotlighting Impacts Functions in Integrated Assessment Models: Research Report Prepared for the Stern Review on the Economics of Climate Change*, Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 91, 2006, p. 74; Frans Berkhout et Julia Hertin, « Socio-economic scenarios for climate impact assessment », *Global Environmental Change*, vol. 10, no 3, octobre 2000, p. 165-168.

239. Philippe Ciais et al., « Carbon and Other Biogeochemical Cycles », dans Thomas F. Stocker et al. (dir.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2013, p. 468.

240. William D. Nordhaus et Joseph Boyer, *Roll the Dice Again: Economic Models of Global Warming*, MIT Press, 1999.

Tableau A-1

Étapes pour déterminer les coûts des politiques proposées et les bénéfices résultant des changements climatiques évités

ÉTAPES LOGIQUES	HYPOTHÈSES À POSER	FACTEURS D'INCERTITUDE
1 Projections des émissions de GES	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle sera la croissance économique? • Quelle sera la croissance démographique? • Quelle sera l'évolution de l'intensité énergétique de l'activité économique? • Quelle sera l'évolution de l'intensité en carbone? 	<ul style="list-style-type: none"> • Projection de l'économie mondiale à très long terme • Possibles changements dans les tendances démographiques • Multiplicité des facteurs de l'intensité en carbone, de l'intensité énergétique • Évolution difficile à prévoir des énergies vertes
2 Taux de concentration atmosphérique de GES selon les scénarios	<ul style="list-style-type: none"> • Quel est le taux d'absorption des puits de carbone (végétation, océans, sols)? • La saturation relative des océans ralentit-elle leur absorption de GES? • Quel sera le niveau des efforts mondiaux de réduction des émissions (en lien avec la première étape)? 	<ul style="list-style-type: none"> • Les hypothèses précédentes • Saturation des puits de carbone limités (océans) • Capacité d'absorption des autres puits de carbone (végétation, sols) • Scénarios RCP du GIEC
3 Changements de température résultant d'une augmentation de la concentration atmosphérique de CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle est la sensibilité du climat à l'équilibre, soit sa réaction aux GES, dont le doublement du CO₂? • Quels sont les effets de rétroaction? Sont-ils globalement positifs (renforce le réchauffement)? • Quelle est l'ampleur de chacun de ces effets? • Comment le réchauffement global se traduira-t-il dans chaque région? 	<ul style="list-style-type: none"> • Les hypothèses précédentes • Sensibilité entre 1,5 et 4,5 • Incertitude accrue depuis le 4^e rapport d'évaluation • Incohérences entre les données empiriques et les modèles climatologiques • Effet de la vapeur d'eau, des nuages, effet albédo des glaces et autres surfaces, etc. • Effets régionaux, courants marins, etc.
4 Les dommages socioéconomiques associés à la hausse de température	<p>Méthode énumérative :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quels effets inclure? • Quels estimés de chaque effet? • L'adaptation change-t-elle les résultats? <p>Méthode statistique :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les effets du climat sont-ils bien reflétés par le niveau de bien-être (revenus et consommation)? • L'adaptation est-elle bien intégrée? • Quelle valeur accorder à la biodiversité et à d'autres effets difficiles à quantifier? • Probabilité des catastrophes extrêmes? 	<ul style="list-style-type: none"> • Les hypothèses précédentes • Élévation du niveau des mers • Fonte des glaces • Effets nets sur l'agriculture (variation de climat et effet fertilisant du CO₂) • Effets sur les autres industries • La capacité d'adaptation des sociétés • Les technologies futures • Présence d'effets difficiles à quantifier • Probabilité non nulle de catastrophes climatiques extrêmes
5 Les coûts économiques résultant des politiques de réduction des GES	<ul style="list-style-type: none"> • Quelles options de remplacement choisiront les entreprises et les individus? • Quels progrès technologiques émergeront en réponse aux politiques de réduction? 	<ul style="list-style-type: none"> • Les hypothèses précédentes • Réactions des agents économiques • Nouvelles technologies (énergies renouvelables)
6 Taux d'actualisation utilisé pour comparer les dommages évités aux coûts des politiques d'atténuation des GES	<ul style="list-style-type: none"> • Quel taux d'actualisation choisir (et quel taux de préférence intertemporelle)? 	<ul style="list-style-type: none"> • Les hypothèses précédentes • Choix du taux d'actualisation (dont le taux de préférence intertemporelle) • Sensibilité des modèles au choix du taux d'actualisation

Note : Ce tableau résume cette annexe. Voir les sources correspondantes à chacune des étapes.

Tableau A-2

Caractéristiques des différents RCP

NOM DU RCP	EFFORTS DE RÉDUCTION DE GES	CONCENTRATION ATMOSPHÉRIQUE DE CO ₂ EN 2100 (PARTIES PAR MILLION)	CONCENTRATION ATMOSPHÉRIQUE DE CO ₂ E EN 2100 (PARTIES PAR MILLION)
RCP2.6	Rigoureux	421	475
RCP4.5	Intermédiaires	538	630
RCP6.0	Intermédiaires	670	800
RCP8.5	Aucun	936	1313

Source : Lisa V. Alexander et al., « Résumé à l'intention des décideurs », dans Stocker T.F et al. (dir.), *Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, GIEC, 2013, p. 29.

Les quatre RCP représentent des scénarios d'émissions de GES qui varient en fonction d'une modélisation des niveaux d'efforts mondiaux consacrés à l'atténuation des émissions de GES. Les taux de concentration atmosphérique de CO₂ et de CO₂e associés aux différents RCP à la fin du 21^e siècle varient selon l'intensité des politiques d'atténuation, comme le montre le Tableau A-2.

Étape 3. Changements de température résultant d'une augmentation de la concentration atmosphérique de CO₂

L'augmentation de la température de l'atmosphère terrestre suite à une augmentation du taux de concentration atmosphérique de CO₂ est estimée par la sensibilité du climat à l'équilibre. Celle-ci est « un indicateur de la réponse du système climatique à un forçage radiatif constant » et représente « le réchauffement moyen à l'équilibre à la surface du globe sous l'effet d'un doublement de la concentration de CO₂ »²⁴¹. La sensibilité du climat à l'équilibre est donc un élément central en ce qui a trait à l'élaboration de politiques publiques concernant les changements climatiques puisque les variations de températures déterminent les dommages futurs sur l'humain et la biodiversité.

Le niveau de la sensibilité est une variable dont la valeur exacte demeure toujours inconnue et dont le niveau d'incertitude a grimpé lors de la dernière décennie. L'incertitude quant au niveau de sensibilité à utiliser est

illustrée par les différences entre les deux derniers rapports du GIEC de 2007 et de 2013. Le quatrième rapport du GIEC, paru en 2007, évaluait que la sensibilité se trouvait entre 2 et 4,5 °C, avec une estimation plus probable de 3 °C (c'est-à-dire qu'une concentration atmosphérique de CO₂ deux fois plus élevée entraîne une augmentation de la température de 3 °C)²⁴². Le cinquième rapport du GIEC, paru en 2013, propose un intervalle plus large, soit de 1,5 à 4,5 °C, mais sans estimation la plus probable²⁴³.

Le GIEC n'est pas en mesure de fournir l'estimation la plus probable en raison du « manque de cohérence parmi les valeurs provenant de divers éléments évalués et diverses études »²⁴⁴. Ce manque de cohérence s'explique par la divergence entre les estimations des données empiriques et celles provenant des modèles climatologiques. Ces derniers ont d'ailleurs surestimé la hausse des températures pendant les vingt dernières années, marquées par une pause du réchauffement global. Pour la période 1998-2012, la moyenne d'un échantillon de 117 simulations provenant de 37 modèles a surestimé de plus de quatre fois la hausse de température observée.²⁴⁵ Selon le GIEC, 111 des 114 modèles

242. *Ibid.*

243. Mark C. Freeman et al., « Climate Sensitivity Uncertainty: When is Good News Bad? », National Bureau of Economic Research Working Paper 20900, janvier 2015.

244. Lisa V. Alexander et al., « Résumé à l'intention des décideurs », dans Thomas F. Stocker et al. (dir.), *Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, GIEC, 2013, p. 14.

245. John C. Fyfe et al., « Overestimated global warming over the past 20 years », *Nature Climate Change*, vol. 3, no 9, septembre 2013.

241. GIEC, *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, 2.3 Sensibilité du climat et rétroactions*.

disponibles ont surévalué la température tendancielle sur la même période²⁴⁶. Cela ne signifie pas que la température moyenne ne suit pas une tendance à la hausse, mais peut constituer un indice de surévaluation de la sensibilité du climat à l'équilibre par les modèles, ce qui reste encore à confirmer.

La difficulté à établir une estimation de la sensibilité provient des effets de rétroaction. Il est reconnu que le doublement de la concentration atmosphérique de CO₂ entraîne une hausse directe de la température d'environ 1,2 °C²⁴⁷. Or, les estimations de la sensibilité se trouvent dans un intervalle plus élevé que 1,2 °C (de 1,5 à 4,5 °C). Les scientifiques estiment donc qu'à la suite d'une augmentation de la concentration atmosphérique de CO₂, des effets amplifieront le réchauffement direct initial. C'est ce qu'on nomme un effet de rétroaction positif.

Les changements dans la quantité de vapeur d'eau découlant des concentrations de CO₂ plus élevées représentent la rétroaction positive la plus connue, tandis que l'effet de rétroaction des nuages représente la plus grande source d'incertitude²⁴⁸. Cette incertitude est bien illustrée par une étude présentée dans le cadre du quatrième rapport du GIEC, qui fait varier la sensibilité du climat à l'équilibre de 1,9 à 5,4 °C, et ce, seulement en altérant les propriétés radiatives des nuages²⁴⁹.

Étape 4. Les dommages socioéconomiques associés à la hausse de température²⁵⁰

Une fois la sensibilité du climat à l'équilibre déterminée, il est possible d'estimer le réchauffement découlant des différents scénarios de concentration de GES dans l'atmosphère. La prochaine étape consiste à estimer les dommages socioéconomiques correspondant. Ces derniers se mesurent en perte de PIB ou de consommation pour les générations futures.

Deux méthodes sont généralement utilisées pour quantifier ces dommages, soit la méthode énumérative et la méthode statistique. La méthode énumérative se base sur les estimés des recherches dans les différents domaines des sciences naturelles mesurant les impacts des variations de température sur l'environnement. On attribuera ensuite une valeur économique à l'impact environnemental en question. Par exemple, l'augmentation du niveau des mers entraînera des pertes de terres habitables et cultivables et nécessitera la construction de digues supplémentaires, qui sont des variables possédant une valeur marchande. La valeur des ressources utilisées pour la protection des côtes et des terres perdues par l'augmentation du niveau des mers sera additionnée aux impacts sur les autres secteurs économiques affectés, tels l'énergie, l'agriculture, la foresterie, le tourisme, etc. On doit ensuite assigner une valeur à certains effets qui n'ont pas de valeur marchande, comme la santé humaine ou la disparition d'espèces animales et végétales.

La méthode statistique quantifie les dommages socioéconomiques, mais sans faire référence à la littérature des sciences naturelles. Pour cette méthode, on se base uniquement sur la relation observée entre les variations de climat et le bien-être, ce qui présuppose que l'évolution du climat est entièrement reflétée dans l'évolution des revenus et de la consommation.

Aucune de ces deux méthodes n'est parfaite. Une variable de l'évaluation des dommages causés par les changements climatiques, mais qui n'est pas totalement intégré dans les modèles d'évaluation intégrée est la capacité d'adaptation des populations aux variations climatiques, qui varie de façon positive avec le développement économique et technologique. Les modèles se basant sur la méthode énumérative négligent le fait que les différents agents économiques vont réagir et s'adapter aux changements physiques causés par les variations du climat, et ainsi atténuer l'ampleur des dommages potentiels. Au contraire, ceux se basant sur la méthode statistique prennent implicitement en compte la capacité d'adaptation. Cependant, l'adaptation prise en compte est souvent conditionnée par les technologies existantes aujourd'hui, ce qui vient considérablement surestimer les dommages socioéconomiques causés par les changements climatiques²⁵¹.

À l'inverse, les modèles ne prennent pas en compte certains impacts difficilement quantifiables, mais qui demeurent relativement petits par rapport aux dommages

246. GIEC, « Observed Changes and their Causes », dans Rajendra K. Pachauri et al. (dir.), *Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2014, p. 43.

247. David A. Randall et al., « Climate Models and Their Evaluation », dans Susan Solomon et al. (dir.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2007, p. 631.

248. GIEC, *op. cit.*, note 241.

249. Hervé Le Treut et al., « Historical Overview of Climate Change », dans Susan Solomon et al. (dir.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2007, p. 114.

250. Les idées de cette section proviennent majoritairement de Richard S. J. Tol., « The Economic Effects of Climate Change », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 23, no 2, 2009.

251. Indur M. Goklany, « What to Do about Climate Change », *Policy Analysis no 609*, Cato Institute, 5 février 2008, p. 6.

totaux. Selon la majorité des experts, ces omissions sous-estiment quelque peu les dommages totaux des modèles²⁵².

De plus, la majorité des modèles ne tiennent pas compte d'une probabilité non nulle d'une perte de bien-être globale substantielle suite à des catastrophes climatiques extrêmes. Ici, on sous-estime encore une fois les dommages causés par les changements climatiques. Les quelques modèles tenant compte de tels risques accordent probablement une probabilité trop faible à leur réalisation²⁵³.

Étape 5. Les coûts économiques résultant des politiques de réductions de GES

Les politiques de réduction de GES entraîneront inévitablement des coûts économiques. Les entreprises devront recourir à des solutions de rechange plus coûteuses afin de limiter leurs émissions de GES. La diminution de l'activité économique et les prix plus élevés qui en découleront auront un impact sur le PIB et la consommation. Le progrès technologique permet toutefois de diminuer le coût de transition vers des énergies moins intensive en carbone, comme l'illustre la diminution du coût des énergies renouvelables au cours de la dernière décennie²⁵⁴.

Les hypothèses sur l'évolution technologique ont un impact non seulement sur les scénarios d'émissions, et donc sur les taux de concentration atmosphérique des GES, mais aussi sur les coûts économiques d'une transition accélérée vers une économie sans carbone.

On le voit, cette étape du calcul comporte moins d'incertitude que les autres.

Étape 6. Taux d'actualisation utilisé pour comparer les dommages évités aux coûts des politiques d'atténuation de GES

Pour être en mesure d'adopter les politiques publiques les plus appropriées pour limiter les dommages causés par les changements climatiques, il est primordial de comparer le coût des politiques d'atténuation avec les

bénéfices tirés de la réduction des émissions de GES, afin de s'assurer que les coûts ne dépassent pas les bénéfices. Idéalement, on devrait adopter des politiques d'atténuation jusqu'au point où le coût marginal de réduction d'une tonne de GES est égal au bénéfice marginal de la tonne de GES évitée.

La difficulté de cet exercice tient au fait que les bénéfices associés à la réduction de GES seront récoltés par des citoyens des générations futures tandis que le coût des politiques d'atténuation sera supporté par les présentes générations. En tenant compte du fait que la consommation présente est toujours plus valorisée que la consommation future, on utilise un taux d'escompte positif. Cependant, le fait de comparer la consommation des générations présentes à celle de générations qui ne sont pas encore nées soulève des considérations éthiques, qui sont largement utilisées pour justifier un taux d'escompte plus faible que pour des horizons relativement plus courts. L'économiste Martin Weitzman de l'université Harvard caractérise d'ailleurs l'actualisation du futur lointain comme le problème le plus critique de la science économique²⁵⁵.

L'importance du taux d'escompte utilisé s'illustre bien avec le calcul du coût social du carbone qui représente l'impact marginal des émissions de GES. La connaissance de ce coût rend possible l'adoption de politiques qui permettent l'internalisation des externalités négatives liés aux activités émettrices de carbone.

Les différentes estimations du coût social du carbone sont extrêmement divergentes et reposent essentiellement sur le taux d'escompte utilisé, un problème controversé auquel on n'a toujours pas trouvé de solution selon William Nordhaus, économiste de l'Université Yale²⁵⁶. Afin de déterminer quelle réglementation environnementale a des effets positifs, le gouvernement américain a mandaté un groupe de travail composé de plusieurs experts pour calculer ce coût. En 2007, en utilisant un taux d'actualisation de 3 %, ils sont arrivés à un résultat de 24 \$ par tonne de CO₂ pour l'année 2015. Lors de la mise à jour de l'étude, ce coût a été révisé à la hausse à 37 \$. Cette mise à jour illustre d'ailleurs l'influence du taux d'escompte utilisé. En calculant le coût

252. Douglas J. Arent et al., « Key Economic Sectors and Services », dans Christopher B. Field et al. (dir.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2014, p. 690.

253. Martin Weitzman, « Some Basic Economics of Climate Change », dans Jean-Philippe Touffut (dir.), *Changing Climate, Changing Economy*, Edward Elgar, 2009.

254. Agence internationale de l'énergie, *Tracking Clean Energy Progress 2015*, 2015, p. 20.

255. Moritz Drupp et al., *Discounting disentangled: an expert survey on the determinants of the long-term social discount rate*, Centre for Climate Change Economics and Policy, Working Paper no 195, juin 2015.

256. William Nordhaus, *Estimates of the Social Cost of Carbon: Background and Results from the Rice-2011 Model*, Cowles Foundation for Research in Economics, Discussion Paper no 1826, Yale University, octobre 2011.

social du carbone pour l'année 2050, les auteurs obtiennent un estimé de 26 \$ avec un taux d'escompte de 5 %, mais de 97 \$ avec un taux d'escompte de 2,5 %²⁵⁷.

Le degré de sensibilité du coût social du carbone au taux d'escompte utilisé est aussi bien illustré par une revue de littérature recensant 311 estimations. Le coût moyen est de 5 \$ par tonne de CO₂ pour un taux de préférence intertemporelle²⁵⁸ de 3 % comparativement à 75 \$ pour un taux de 0 %²⁵⁹. Il est donc très difficile de déterminer parmi toutes ces estimations laquelle est la plus appropriée.

Une forte dose d'incertitude

On le voit, les démarches des économistes du climat pour déterminer le coût social du carbone sont caractérisées par une forte dose d'incertitude. Cela est d'autant plus vrai que les marges d'erreur à chaque étape du calcul démultiplient l'incertitude associée à toutes les autres étapes. Par exemple, dans le calcul des dommages causés par les changements climatiques, l'écart-type de l'impact économique en termes de perte de PIB n'inclut pas toute l'incertitude associée aux étapes précédentes²⁶⁰.

L'économiste Robert Pindyck de l'université MIT se montre d'ailleurs très critique envers les modèles d'évaluation intégrée. Il affirme que ces derniers donnent une « impression de précision et de connaissance qui est illusoire », que les hypothèses associant les changements climatiques aux pertes économiques sont arbitraires. Ainsi, les modèles sont presque sans valeur pour déterminer le coût social du carbone et les politiques publiques à adopter, selon lui²⁶¹. Martin Weitzman affirme pour sa part que l'incertitude associée aux changements climatiques fait en sorte que les analyses coûts-bénéfices dérivées des modèles sont loin d'atteindre le degré de précision des analyses coûts-bénéfices traditionnelles²⁶².

Résultats des analyses coûts-bénéfices

Bien que les effets associés aux changements climatiques dérivés des modèles d'évaluation intégrée soient hautement incertains, ils représentent les meilleures estimations disponibles et devraient, à tout le moins, servir de ligne directrice pour l'adoption de politiques publiques.

Le dernier rapport du GIEC compile les résultats des modèles d'évaluation intégrée de différentes études ayant quantifié les dommages socioéconomiques associés aux changements climatiques. Malheureusement, très peu d'études quantifient les dommages associés à des hausses supérieures à 3 °C par rapport à aujourd'hui. La majorité des études mesurent l'impact d'une hausse de température de 2,2 à 3 °C. Par exemple, pour les études estimant un réchauffement de 2,5 °C, la moyenne des estimations des dommages causés est de 1,1 % en termes de perte de PIB²⁶³. Bien qu'il n'y ait pas d'horizon temporel associé à ces hausses de température, il est généralement accepté que ces études mesurent les impacts économiques d'ici la fin du 21^e siècle²⁶⁴. Pour sa part, l'OCDE estime que le PIB serait diminué de 0,7 à 2,5 % en 2060 et de 1,5 à 4,8 % à la fin du siècle²⁶⁵.

Le coût économique associé à une stabilisation des concentrations atmosphérique de GES à 430-480 parties par million de CO₂e – stabilisation nécessaire pour avoir plus de 66 % de chance de respecter la limite de 2 °C – équivaut à une perte de consommation de 4,8 % en 2100 selon le GIEC²⁶⁶.

Sur la base de ces chiffres, nous pourrions être tentés de conclure que le coût économique des politiques d'atténuation sera aussi élevé que les bénéfices qu'on pense tirer d'une température globale moins élevée. Cependant, les estimations des coûts des politiques d'atténuation du GIEC sont basées sur le scénario le moins coûteux, soit celui d'un prix unique sur le carbone imposé à l'échelle mondiale. Étant donnée les difficultés de réconcilier les intérêts des pays riches et ceux des pays en développement (voir Chapitre 1), il est peu probable que ce soit le cas. William Nordhaus a d'ailleurs

257. En dollars US de 2007. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, *Technical Support Document: Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis*, Executive Order 12866, février 2010, p. 1; Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, *Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis*, Executive Order 12866, mai 2013, p. 3.

258. Le taux de préférence intertemporelle est une composante du taux d'escompte.

259. Richard S. J. Tol, « The social cost of carbon », *The Annual Review of Resource Economics*, vol. 3, octobre 2011, p. 432. Les valeurs trouvées par l'auteur sont de 19 \$ et de 276 \$ par tonne de carbone. On obtient l'équivalent en tonne de CO₂ en multipliant ces nombres par 0,2727.

260. *Ibid.*, p. 425.

261. Robert S. Pindyck, « The Use and Misuse of Models for Climate Policy », NBER Working Paper no 20900, avril 2015.

262. Martin Weitzman, *op. cit.*, note 253.

263. Richard S. J. Tol *et al.*, « Key Economic Sectors and Services: Supplementary Material », dans Field, C.B. *et al.* (dir.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2013, p. SM10-4.

264. Richard S. J. Tol, *op. cit.*, note 250, p. 44.

265. Rob Dellink *et al.*, « Consequences of Climate Change Damages for Economic Growth: A Dynamic Quantitative Assessment », OECD Economics Department Working Papers no 1135, 2014, p. 3.

266. Ottmar Edenhofer *et al.*, « Summary for Policymakers », dans Ottmar Edenhofer *et al.* (dir.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2014, p. 15.

calculé qu'advenant la participation de seulement 50 % des pays, les coûts économiques associés à la taxe seraient 250 % plus élevés par rapport à une taxe optimale²⁶⁷. De plus, le GIEC base son estimation sur des hypothèses très fortes sur la disponibilité à grande échelle de certaines technologies, comme la capture et la séquestration du carbone. Le GIEC reconnaît d'ailleurs qu'en l'absence de cette technologie, le coût de l'atténuation des GES pourrait augmenter de 138 %²⁶⁸.

Ces fortes hypothèses, combinées à la forte capacité d'adaptation des êtres humains, portent à croire que les efforts de réduction de GES pour limiter l'augmentation de la température à 2 °C seront fort probablement plus coûteux que les bénéfiques. Néanmoins, cela ne constitue pas une raison pour ne pas agir. Le manque d'études mesurant les impacts d'une hausse supérieure à 3 °C – ce qui sous-estime assurément le poids accordé aux possibilités de catastrophes irréversibles – peut justifier l'adoption de politiques d'atténuation.

Dans cette perspective, il est approprié de supporter le coût des politiques de mitigation au même titre qu'il est logique de s'assurer dans la vie courante contre des événements dont la probabilité de réalisation est faible, mais dont l'occurrence entraînerait des dommages considérables, tel un incendie du domicile familial²⁶⁹. On entre toutefois là dans une toute autre discussion.

Il serait cependant très judicieux que le discours politique prenne en considération l'ensemble des bénéfiques et des coûts liés aux changements climatiques et intègre les derniers développements de la science économique. Le *Stern Review*, fortement critiqué pour sa surévaluation des dommages causés par les changements climatiques et son choix d'un taux d'actualisation de zéro (voir Chapitre 2), arrive à la conclusion qu'on doit stabiliser la concentration atmosphérique de GES à 500-550 parties par million de CO₂e²⁷⁰. Depuis, les estimations des dommages dus aux changements climatiques ont été réduits au fur et à mesure que la recherche économique sur cette question s'améliorait²⁷¹.

En somme, le niveau de concentration atmosphérique de GES optimal – toujours basé sur une taxe sur le carbone imposé à l'échelle planétaire – serait d'environ 550 parties par million de CO₂e pour un taux de préférence

intertemporelle de 1 % et de 625 pour un taux de préférence intertemporelle de 3 %²⁷². La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, lors de la Conférence des parties de Copenhague en 2009, a plutôt retenu la cible du 2 °C et une concentration atmosphérique d'environ 450 parties par million de CO₂e.

Bibliographie

ALEXANDER Lisa V. et al., « Résumé à l'intention des décideurs », dans Stocker T.F et al. (dir.), *Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, GIEC, 2013.

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE, *Tracking Clean Energy Progress 2015*, 2015.

ARENT Douglas J. et al., « Key Economic Sectors and Services », dans Christopher B. Field et al. (dir.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2014.

BERKHOUT Frans et HERTIN Julia, « Socio-economic scenarios for climate impact assessment », *Global Environmental Change*, vol. 10, no 3, octobre 2000.

CIAIS Philippe et al., « Carbon and Other Biogeochemical Cycles », dans Thomas F. Stocker et al. (dir.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2013.

DELLINK Rob et al., « Consequences of Climate Change Damages for Economic Growth: A Dynamic Quantitative Assessment », OECD Economics Department Working Papers no 1135, 2014.

DRUPP Moritz et al., *Discounting disentangled: an expert survey on the determinants of the long-term social discount rate*, Centre for Climate Change Economics and Policy, Working Paper no 195, juin 2015.

EDENHOFER Ottmar et al., « Summary for Policymakers », dans Ottmar Edenhofer et al. (dir.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2014.

FREEMAN Mark C. et al., « Climate Sensitivity Uncertainty: When is Good News Bad? », National Bureau of Economic Research Working Paper 20900, janvier 2015.

FYFE John C. et al., « Overestimated global warming over the past 20 years », *Nature Climate Change*, vol. 3, no 9, septembre 2013.

GOKLANY Indur M., « What to Do about Climate Change », Policy Analysis no 609, Cato Institute, 5 février 2008.

267. William D. Nordhaus, *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*, Yale University Press, 2008, p. 19.

268. Ottmar Edenhofer, *op. cit.*, note 266.

269. Martin Weitzman, *op. cit.*, note 253; Robert S. Pindyck, *op. cit.*, note 236, p. 16.

270. Nicholas Stern, *op. cit.*, note 237, « Summary of conclusions ».

271. Robert Mendelsohn, « Climate Change and Economic Growth », Commission on Growth and Development, Working Paper no 60, 2009, p. 10-11.

272. Richard S. J. Tol, « Targets for global policy: An overview », *Journal of Economic Dynamic and Control*, vol. 37, no 5, 2013, p. 918.

GIEC, *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*, 2.3 Sensibilité du climat et rétroactions.

GIEC, « Observed Changes and their Causes », dans Rajendra K. Pachauri et al. (dir.), *Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2014.

INTERAGENCY WORKING GROUP ON SOCIAL COST OF CARBON, *Technical Support Document: Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis*, Executive Order 12866, février 2010.

INTERAGENCY WORKING GROUP ON SOCIAL COST OF CARBON, *Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis*, Executive Order 12866, mai 2013.

LE TREUT Hervé et al., « Historical Overview of Climate Change », dans Susan Solomon et al. (dir.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2007.

LORENZONI Irene et ADGER W. Neil, « Critique of Treatments of Adaptation Costs in PAGE and FUND Models », dans Rachel Warren et al. (dir.), *Spotlighting Impacts Functions in Integrated Assessment Models: Research Report Prepared for the Stern Review on the Economics of Climate Change*, Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 91, 2006.

MENDELSON Robert, « Climate Change and Economic Growth », Commission on Growth and Development, Working Paper no 60, 2009.

NORDHAUS William D., « An optimal transition path for controlling greenhouse gases », *Science*, vol. 258, no 5086, novembre 1998.

NORDHAUS William D., *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*, Yale University Press, 2008.

NORDHAUS William D., *Estimates of the Social Cost of Carbon: Background and Results from the Rice-2011 Model*, Cowles Foundation for Research in Economics, Discussion Paper no 1826, Yale University, octobre 2011.

NORDHAUS William D. et BOYER Joseph, *Roll the Dice Again: Economic Models of Global Warming*, MIT Press, 1999.

PINDYCK Robert S., « Climate change policy: what do the models tell us », *Journal of Economic Literature*, vol. 5, no 3, septembre 2013.

PINDYCK Robert S., « The Use and Misuse of Models for Climate Policy », NBER Working Paper no 20900, avril 2015.

RANDALL David A. et al., « Climate Models and Their Evaluation », dans Susan Solomon et al. (dir.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2007.

STERN Nicholas, *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, 2007.

TOL Richard S. J., « Targets for Global Policy: An Overview », *Journal of Economic Dynamic and Control*, vol. 37, no 5, 2013.

TOL Richard S. J., « The Economic Effects of Climate Change », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 23, no 2, 2009.

TOL Richard S. J., « The Social Cost of Carbon », *The Annual Review of Resource Economics*, vol. 3, octobre 2011.

TOL Richard S. J. et al., « Key Economic Sectors and Services: Supplementary Material », dans Field, C.B. et al. (dir.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, GIEC, 2013.

WEITZMAN Martin, « Some Basic Economics of Climate Change », dans Jean-Philippe Touffut (dir.), *Changing Climate, Changing Economy*, Edward Elgar, 2009.