



En raison de son poids et afin de faciliter son téléchargement, le rapport a été découpé en trois fichiers. Pour permettre la navigation entre les fichiers, utilisez la table des matières active (signets) à gauche de l'écran.

Kyoto et l'économie de l'effet de serre

Rapport

Roger Guesnerie

Commentaires

Paul Champsaur

Alain Lipietz

Compléments

*Philippe Ambrosi, Jean-Louis Bal, Philippe Ciais,
Patrick Criqui, Christine Cros, Jean-Claude Duplessy,
Sylviane Gastaldo, Jean-Charles Hourcade,
Philippe Jean-Baptiste, Jean Jouzel, Franck Lecocq,
François Moisan, Alain Morcheoine,
Cédric Philibert, Marc Vielle et Laurent Viguié*

*Réalisé en PAO au Conseil d'Analyse Économique
par Christine Carl*

© La Documentation française. Paris, 2003 - ISBN : 2-11-005255-4

« En application de la loi du 11 mars 1957 (article 41) et du Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992, toute reproduction partielle ou totale à usage collectif de la présente publication est strictement interdite sans l'autorisation expresse de l'éditeur.

Il est rappelé à cet égard que l'usage abusif de la photocopie met en danger l'équilibre économique des circuits du livre. »

Sommaire

Introduction	5
<i>Mario Dehove</i>	
RAPPORT	
Les enjeux économiques de l'effet de serre	9
<i>Roger Guesnerie</i>	
<i>Introduction</i>	<i>9</i>
<i>1. Les diagnostics</i>	<i>10</i>
1.1. L'homme et les gaz à effet de serre	10
1.2. Gaz à effet de serre et changement climatique	15
1.3. L'action internationale	18
<i>2. L'économie de l'effet de serre : un bilan coûts-avantages</i>	<i>21</i>
2.1. Le climat, bien collectif global	21
2.2. La maîtrise de l'effet de serre : la nature des coûts	23
2.3. La maîtrise de l'effet de serre : évaluation des coûts agrégés	27
2.4. L'évaluation des dommages dus au changement climatique	31
2.5. L'actualisation	33
2.6. La valeur d'option	35
2.7. Les limites respectives de la climatologie et de l'économie : une parenthèse	37
<i>3. L'évaluation économique du Protocole de Kyoto</i>	<i>40</i>
3.1. La chronologie de l'action	40
3.2. L'ampleur de l'action	41
3.3. Évaluation critique des mécanismes de flexibilité	45
3.4. L'architecture de Kyoto, en courte période : un « <i>second best</i> » perfectible	49
<i>4. Concrétiser Kyoto</i>	<i>52</i>
4.1. Kyoto sans les États-Unis ?	52
4.2. Les options de la politique climatique : un tour d'horizon	55
4.3. Les défis de la politique climatique en France et en Europe	61
4.4. La compétitivité de l'espace Kyoto	63

5. <i>Kyoto : relance, améliorations et prolongements</i>	66
5.1. Relancer Kyoto	66
5.2. Améliorer Kyoto	69
5.3. Prolonger Kyoto... ..	72
6. <i>Conclusion</i>	77
6.1. Kyoto justifié	77
6.2. Kyoto magnifié	78
6.3. Kyoto effiloché	79
6.4. Kyoto ranimé et concrétisé	79
6.5. Kyoto relancé et prolongé	81
<i>Glossaire</i>	87

COMMENTAIRES

<i>Paul Champsaur</i>	91
<i>Alain Lipietz</i>	93

COMPLÉMENTS

A. Certitudes et incertitudes du changement climatique	97
<i>Philippe Jean-Baptiste, Philippe Ciais, Jean-Claude Duplessy et Jean Jouzel</i>	
B. Évaluer les dommages : une tâche impossible ?	117
<i>Philippe Ambrosi et Jean-Charles Hourcade</i>	
C. Les coûts des politiques climatiques	145
<i>Patrick Criqui, Marc Vielle et Laurent Viguier</i>	
D. Incertitude, irréversibilités et actualisation dans les calculs économiques sur l'effet de serre	177
<i>Franck Lecocq et Jean-Charles Hourcade</i>	
E. Prix versus quantités : plafonner les coûts pour aller plus loin	201
<i>Cédric Philibert</i>	
F. Marchés de droits, expériences et perspectives pour l'effet de serre	217
<i>Christine Cros et Sylviane Gastaldo</i>	
G. Les technologies de réduction des émissions de gaz à effet de serre	233
<i>Jean-Louis Bal, François Moisan et Alain Morcheoine</i>	
RÉSUMÉ	249
SUMMARY	257

Introduction

Avec ce rapport sur l'effet de serre de Roger Guesnerie, le Conseil d'analyse économique se saisit d'une des questions qui pourraient compter parmi les plus essentielles des prochaines décennies.

Une des plus complexes aussi, qui oblige la réflexion à se projeter vers des horizons de temps, des degrés d'incertitude et des échelles de risque qu'elle n'a pas l'habitude d'explorer.

Question préalable au débat économique : la communauté internationale a-t-elle eu raison de se mobiliser dès 1992 et de lancer une négociation sur la réduction des gaz à effet de serre qui a abouti au Protocole de Kyoto ? Est-on sûr de la réalité physique de leur responsabilité dans l'augmentation observée de la température de l'atmosphère ? L'audience des analyses récentes de Bjorn Lomborg montre que la discussion scientifique n'est pas close alors que le refus récent des États-Unis de ratifier le Protocole de Kyoto lui donne un relief politique renouvelé. Roger Guesnerie, sans écarter les objections des dissidents, retire finalement des conclusions de plus en plus convergentes des travaux scientifiques la conviction que l'accumulation rapide des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est bien un des facteurs importants des changements climatiques que l'on observe. Et il souligne que l'incertitude inévitable de ces résultats ne doit pas, de toutes façons, conduire à l'attentisme.

Dès lors, quels sont les moyens économiques les plus efficaces et les plus équitables pour réduire les émissions de ces gaz ?

Répondre à cette question suppose d'évaluer les coûts et les avantages des politiques de l'énergie. Des nombreux travaux de modélisation qui ont déjà été réalisés des scénarios très contrastés peuvent être retenus. Ils peuvent inspirer des politiques très diverses, voire opposées.

Roger Guesnerie met en garde contre des interprétations trop hâtives de ces travaux prospectifs, et il invite à la plus grande prudence. Les techniques de l'actualisation sont à cet horizon temporel difficiles à mettre en œuvre. Les vitesses de maturation des innovations étant incertaines, l'arrivée d'informations nouvelles et l'irréversibilité des solutions technologiques imposent la nécessité d'intégrer dans l'analyse des valeurs d'option.

Mais, loin d'inspirer scepticisme et passivité, ces arguments méthodologiques et les contraintes institutionnelles imposées par le cadre néces-

sairement international d'un tel arrangement entre gouvernements conduisent à rejeter les critiques des adversaires du Protocole de Kyoto. Cet accord n'est pas prématuré, l'ampleur de l'effort qu'il impose est justifiée, il ne faut pas attendre passivement les progrès techniques salvateurs, car l'action actuelle renforce les incitations à la recherche et aux innovations. Les mécanismes de flexibilité – le marché des permis d'émission – réduisent utilement les coûts de mise en œuvre. Sur ce dernier point le rapport de Roger Guesnerie est en accord avec un précédent rapport du Conseil d'analyse économique sur la fiscalité de l'environnement rédigé par Olivier Godard et Claude Henry.

Mais le Protocole de Kyoto n'est pas exempt de défauts et il doit être amélioré. Roger Guesnerie ouvre de nombreuses pistes dont certaines sont très ambitieuses. Il fixe une priorité absolue, celle d'intégrer les pays en développement de façon équitable en rendant attrayant l'accord pour ces pays encore peu pollueurs mais qui entendent ne pas être bridés dans leur développement économique et social.

Il faut aussi stabiliser, par l'instauration de prix plancher et de prix plafond, le fonctionnement du marché des permis, sur lequel on sait encore peu de choses car il n'y a pas de précédent comparable. La mise en place d'un système de sanctions crédibles et un accord sur les principes à long terme devraient lever les incertitudes sur l'avenir des avantages historiques dont bénéficient aujourd'hui les pays développés et faciliter le renouvellement périodique des engagements de réduction des États signataires.

Reste la difficile question de la participation des États-Unis, à qui il a peut-être été demandé des efforts trop importants, qu'ils ne pouvaient consentir, et dont le récent retrait fragilise l'accord. Roger Guesnerie plaide pour que l'Europe persévère dans son action malgré leur défection et continue à montrer la bonne voie à la communauté internationale. Mais il souligne aussi avec beaucoup d'insistance la nécessité de protéger l'espace Kyoto contre des distorsions de concurrence que le Protocole crée nécessairement et contre les risques de délocalisation qu'il engendre.

Ce rapport conforte ainsi les conclusions du rapport du Conseil d'analyse économique sur la Gouvernance mondiale rédigé par Pierre Jacquet, Jean Pisani-Ferry et Laurence Tubiana qui proposait aussi de resserrer les liens entre l'Organisation mondiale du commerce et une future organisation mondiale de l'environnement à créer et de revoir les schémas intellectuels qui inspirent les organisations internationales actuelles.

Ce rapport a été discuté à la séance du 27 juin 2002 du Conseil d'analyse économique, puis le 11 juillet 2002 en présence du Premier ministre. Il est commenté par Paul Champsaur et Alain Lipietz.

Mario Dehove

Président délégué par intérim du Conseil d'analyse économique

Remerciements

Ce rapport doit évidemment beaucoup à tous ceux, et en premier lieu Jean-Christophe Bureau, qui ont fait vivre un groupe de travail qui a rassemblé et entendu quelques un(e)s des meilleurs experts français (et quelques étrangers) du sujet.

Ce rapport fait donc état des convictions acquises à leur contact. Même si ce texte n'a pas nécessairement l'aval majoritaire du groupe sur tous les points, il se veut le porte-parole de ses analyses les plus consensuelles. Sans vouloir citer tous les participants, il faut nommer, pour leur présence et leurs contributions, les « piliers » du groupe qu'ont été Jean-Charles Hourcade, qui a de plus mobilisé ses jeunes collègues du CIRED, Sylviane Gastaldo, Alain Bernard, Marc Vielle, Cédric Philibert, François Moisan, Alain Ayong Le Kama ou encore Claude Henry et Michel Moreaux. Patrick Criqui, Katheline Schubert, Joël Maurice, Pierre-Alain Jayet, Olivier Godard, Richard Baron, Dominique Bureau, Nina Kousnetzoff, Alexia Leseur, Frédéric Gherzi, Jean-Jacques Becker, Emmanuel Martinez, ont souvent apporté leur contribution aux discussions, tout comme les experts qui ont présenté leurs travaux au groupe, comme Jean Jouzel, Philippe Jean-Baptiste, Jean-Claude Duplessy, Philippe Ciais, Christine Cros, Christian Gollier, Chris Boyd, Geoffrey Heal et François Falloux.

Ont été également auditionnés Carolyn Fisher, Margo Thorning, Laurence Tubiana, Francis Meunier, ainsi que d'autres contributeurs plus occasionnels. Des versions préliminaires de ce texte ont bénéficié des remarques de Philippe Ambrosi, Alain Bernard, Dominique Bureau, Christine Cros, André Fourçans, Frédéric Gherzi, Pierre-Alain Jayet, Blaise Leenhardt, André Masson, Francis Meunier, Katheline Schubert et Jean-François Vergès et de discussions approfondies à Paris avec Sylviane Gastaldo, Olivier Godard, Jean-Charles Hourcade, Cédric Philibert, à Princeton avec David Bradford.

Le texte tient aussi compte des commentaires de ses discutants, Paul Champsaur et Alain Lipietz, et également des observations de Dominique Dron, Lionel Fontagné et Pierre Jacquet.

Roger Guesnerie

Les enjeux économiques de l'effet de serre

Roger Guesnerie

Professeur au Collège de France

Introduction

En juin 2002, plus de 55 pays ont d'ores et déjà ratifié le Protocole de Kyoto (1997). Mais comme la somme cumulée de leurs émissions ne représente pas encore 55 % des émissions totales des pays industrialisés en 1990, l'entrée en vigueur du protocole est, à ce jour, toujours suspendue à la signature annoncée de la Fédération de Russie.

Parmi tous les accords multilatéraux environnementaux préparés à ce jour, Kyoto se signale par l'ambition de son projet. Il organise une architecture multilatérale de lutte contre le changement et affiche des objectifs de réduction quantifiés et contraignants. L'ampleur de l'effort envisagé est rendue crédible par la mise en place de mécanismes d'observance novateurs. Les conférences de Bonn et Marrakech ont, semble-t-il, préservé l'essentiel. Mais fragilisé par le retrait américain, l'accord est-il aujourd'hui toujours viable ? Si oui, que dire de sa mise en œuvre à l'échelon français et européen ? Comment préparer l'après Kyoto ? Telles sont les questions, que conformément au mandat initial, ce rapport passe en revue.

Une position, celle de l'auteur de ce rapport, plus extérieure au débat qu'il n'est d'usage pour les rapports du Conseil d'analyse économique, appelle quelques commentaires préliminaires. Elle donne l'avantage de l'observation à distance de controverses parfois tumultueuses dont les fronts sont multiples et enchevêtrés. Elle a l'inconvénient de fonder le diagnostic à partir d'un regard particulier, celui de l'économie publique au sens large sur un sujet multiforme qui a suscité des milliers de contributions scienti-

fiques de climatologues, d'économistes, de sociologues, de politologues, de commentaires de philosophes et de multiples prises de position dans la société civile. Ce rapport s'efforce de conjuguer au mieux distance maintenue et familiarité accrue⁽¹⁾.

Le plan adopté pour le rapport est le suivant :

- la première partie présente un *diagnostic* synthétique de l'évolution des déterminants de l'effet de serre et des menaces climatiques qui en résultent ;
- la deuxième partie, intitulée « *l'économie de l'effet de serre* », passe en revue les schémas intellectuels dont dispose l'économiste pour analyser les politiques de lutte contre l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre ;
- la troisième partie est consacrée à *l'évaluation économique du Protocole de Kyoto*. Elle évalue l'opportunité d'une action précoce, discute l'ampleur de l'effort décidé à Kyoto, revient sur les mécanismes mis en place et plus généralement sur l'architecture du protocole ;
- la quatrième partie examine les moyens de *concrétiser Kyoto*. Compte tenu de l'absence des États-Unis, elle commente les conditions d'une mise en œuvre efficace et conforme aux exigences de compétitivité au sein de chacune des parties adhérentes, en particulier de l'Union européenne ;
- la cinquième partie, en examinant comment *relancer, améliorer et prolonger Kyoto*, revient sur les conditions d'une consolidation et d'un dépassement des arrangements actuels.

1. Les diagnostics

Les gaz dits à effets de serre retenus dans les accords de Kyoto sont le gaz carbonique ou dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), les hydrofluorocarbones (HFC), les hydrocarbures perfluorés (PFC), l'hexafluorure de soufre (SF₆)⁽²⁾. Ils jouent un rôle décisif dans les échanges énergétiques entre notre planète et son environnement. Grâce à leur présence, l'atmosphère terrestre, à la manière d'une serre, piège une partie du rayonnement solaire réfléchi par la terre. Heureux effet : en leur absence, la température estimée de la planète serait aux alentours de moins 20° C.

1.1. L'homme et les gaz à effet de serre

La concentration d'un gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère résulte de son accumulation. Elle reflète la somme de ses émissions antérieures, pondérée par des coefficients qui traduisent les modalités et les rythmes,

(1) Ce rapport s'appuie sur la réflexion d'un groupe de travail, voir les remerciements.

(2) Auxquels il faut ajouter la vapeur d'eau dont la concentration joue un rôle très important. Cependant, la vapeur d'eau a une durée de vie courte dans l'atmosphère – sept jours environ – et apparaît plutôt comme une « rétroaction positive directe » (dépendant largement de la température) à l'effet des gaz à « longue vie » dans l'atmosphère.

à la marge d'un scénario donné, de sa migration hors atmosphère⁽³⁾. La contribution de chacun des gaz à l'effet de serre dépend elle-même, à un moment donné, de sa concentration dans l'atmosphère multipliée par un coefficient de réchauffement global spécifique⁽⁴⁾. L'influence de chaque gaz est ainsi fonction à la fois de l'intensité de ses émissions passées, de sa contribution spécifique au réchauffement et de sa longévité. Notons déjà que le plus important des gaz à effet de serre, à la fois pour sa contribution totale au réchauffement et pour la forte irréversibilité de son accumulation est incontestablement le CO₂ : il contribue à environ trois quarts de l'accroissement actuel du pouvoir de réchauffement.

La concentration des gaz à effet de serre s'est considérablement accrue depuis les débuts de l'ère industrielle. La concentration de CO₂ dans l'atmosphère a augmenté de 30 % : partant de 280 parties par million en volume (ppm), en 1750, elle est montée aujourd'hui à environ 370 ppm. La masse totale de carbone accumulée dans l'atmosphère sous forme de CO₂ pendant cette période passait de 590 gigatonnes de carbone (GtC) en 1765, à 609 GtC (correspondant à 286 ppm) en 1850, pour en arriver aujourd'hui à 785 GtC. En parallèle, la concentration de méthane a augmenté de 145 %. Pour retrouver de tels niveaux de concentration atmosphérique pour ces deux gaz, il faut remonter à plus de 400 000 ans en arrière. Mais autant que l'importance du changement de concentration, sa rapidité, moins de deux siècles, un instant à l'échelle des temps géologiques, est spectaculaire et inédite. La contribution de Jean-Baptiste, Duplessy, Ciais et Jouzel, sous forme de complément à ce rapport apporte des informations approfondies sur le phénomène.

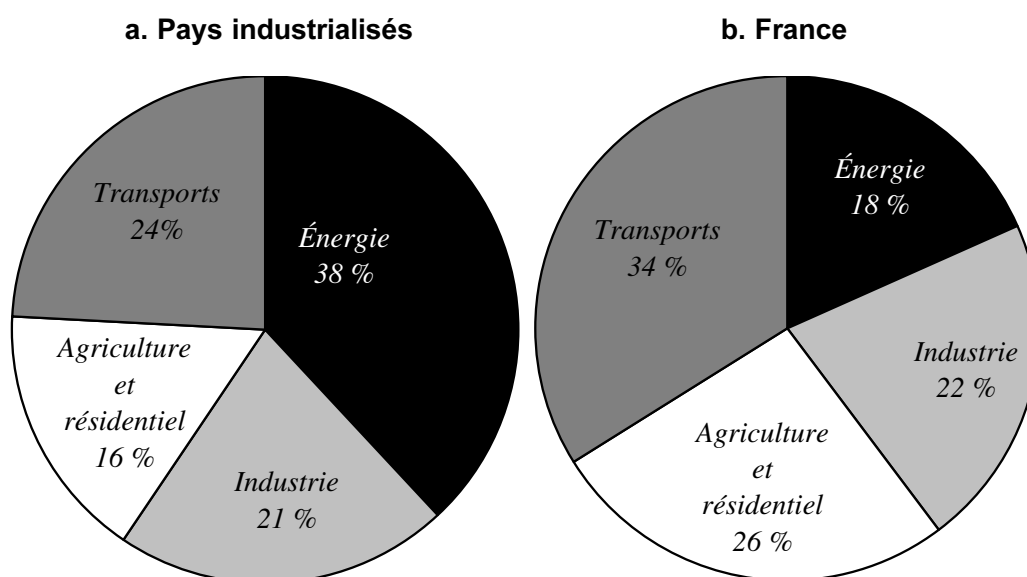
Cet accroissement de la concentration des gaz à effet de serre est clairement lié à l'activité humaine : ainsi, en 1990, pour les pays industrialisés, la production d'énergie, à hauteur de 38 %, le transport à hauteur de 24 %, les autres activités industrielles pour 21 %, l'habitat et l'agriculture pour 16 %, constituent les principales sources anthropiques d'émissions en dioxyde de carbone provenant de la combustion de carbone fossile⁽⁵⁾. Les activités agricoles contribuent de façon significative aux émissions de protoxyde d'azote et aussi de méthane (plus de 50 % du total, où viennent s'ajouter essentiellement les contributions des déchets).

(3) Sous l'hypothèse d'une décroissance exponentielle, la persistance est bien décrite par la demi durée de vie. Cette demi-durée de vie est faible pour le méthane (12 ans), plus longue pour le CO₂ (un siècle). Mais, ce dernier chiffre est d'interprétation délicate. Le taux de décroissance du CO₂ atmosphérique n'est pas immuable et invariant dans le temps : il reflète des mécanismes multiples d'ajustements progressifs des échanges, qui font varier notablement selon les scénarios les conditions d'équilibrage entre atmosphère et biosphère (voir le complément de Jean-Baptiste, Ciais, Duplessy et Jouzel dans ce rapport).

(4) L'indice GPW (*Global Warming Power*) qui mesure le pouvoir de réchauffement de chaque gaz, est de 1 pour le CO₂, de 21 pour le CH₄, de 310 pour le N₂O, de 23 900 pour le SF₆ et varie selon les gaz fluorés.

(5) La combustion des carburants fossiles fournit environ les trois quarts du CO₂ émis, le reste provenant essentiellement des modifications de l'usage de la terre. Les chiffres se réfèrent aux émissions imputables (contenu total en carbone des biens et services produits et utilisés en aval) et non aux émissions directes des secteurs.

1. Répartition par activités des émissions de CO₂ fossile en 1990



Source : UNFCCC, Inventaires nationaux 1990-1998.

Les graphiques 1a et b montrent l'origine des émissions CO₂ fossile pour les pays industrialisés et la France.

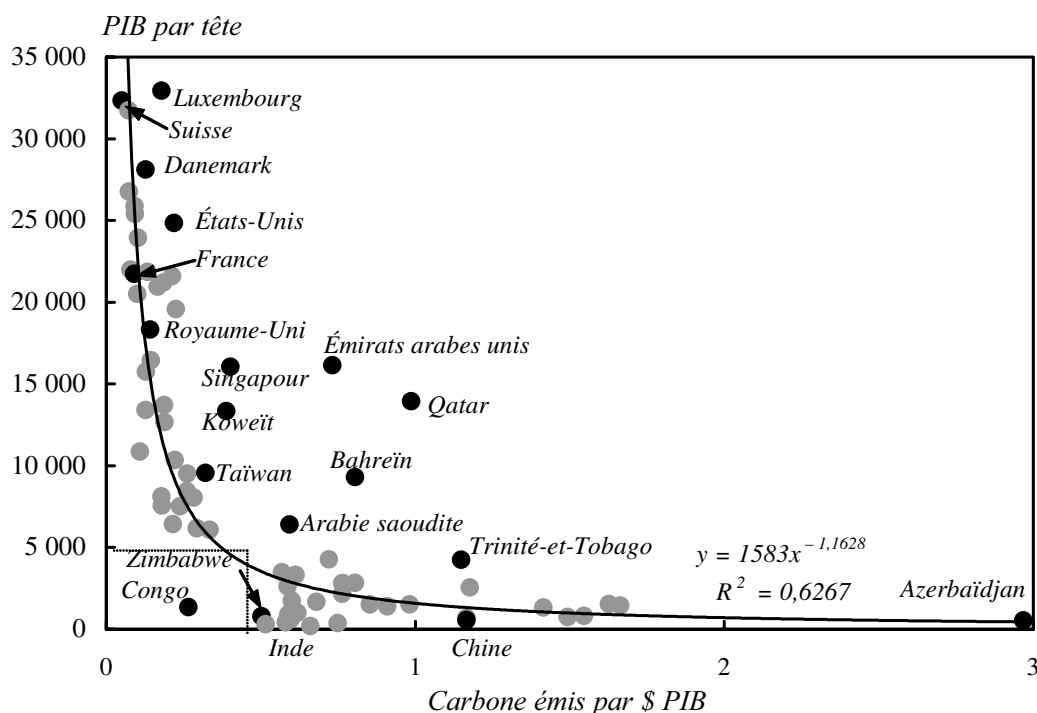
Le secteur des transports apparaît non seulement comme un émetteur parmi les plus importants mais aussi comme celui dont les émissions (directes) croissent spontanément le plus vite (plus de 15 % entre 1990 et 2000 en France).

Le total mondial des émissions annuelles de CO₂, exprimé en masse de carbone, était en 1990 de plus de 7 GtC, dont 6,3 GtC liées à l'énergie. La moyenne, plus d'une tonne par habitant, recouvre une grande dispersion des émissions par tête sur la planète : environ 6 tonnes pour les États-Unis, 2,3 tonnes pour l'Europe, et 1,7 tonne pour la France, qui possède un large parc nucléaire. En Inde, les émissions par habitant, sont environ seize fois moindre qu'aux États-Unis. La corrélation en coupe transversale du niveau de développement et de la quantité d'émissions indique que la poursuite du développement, et en particulier la croissance accélérée des PED les plus peuplés, entre autres la Chine, l'Inde et le Brésil, est susceptible d'accroître rapidement, toutes choses égales par ailleurs, le niveau des émissions.

En l'absence de politique volontaire de réduction, les scénarios au fil de l'eau (« les affaires comme d'habitude », ou « *business as usual* » dans le langage des négociateurs et des économistes, pour désigner une situation de référence sans action spécifique de lutte contre l'effet de serre) indiquent qu'un volume annuel d'émissions de 15 GtC de carbone pourrait être

dépassé vers 2030. Plus de 1 500 GtC pourraient être rejetées dans l'atmosphère pendant le XXI^e siècle, faisant passer la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone à plus de 800 ppm. L'analyse économique de l'effet de serre, comme peut être le simple bon sens le suggère, fait jouer un rôle important à sa réversibilité : jusqu'à quel point la concentration des GES atteinte à un moment donné est-elle réversible ? On l'a déjà noté, la réponse est différente selon que l'on considère le méthane, dont la durée de vie est courte, et le dioxyde de carbone. Retenons pour le second, que le long d'une trajectoire à concentration stabilisée au niveau actuel, sur 100 grammes de CO₂ émis aujourd'hui, 13 grammes seraient toujours dans l'atmosphère dans 1 000 ans. Et si l'on arrêtait toute émission aujourd'hui, le taux de concentration de CO₂ pourrait revenir à son niveau préindustriel seulement dans plusieurs millénaires. La réversibilité des concentrations en dioxyde de carbone⁽⁶⁾ est donc extrêmement lente. En fait, aujourd'hui, sous les hypothèses les plus optimistes, des concentrations nettement inférieures à 400 ppm, à horizon de quelques siècles, sont sans doute hors d'atteinte, sauf révolution scientifique qui permettrait le pompage à grande échelle du carbone contenu dans l'atmosphère.

2. Émissions de CO₂ en fonction du produit intérieur brut

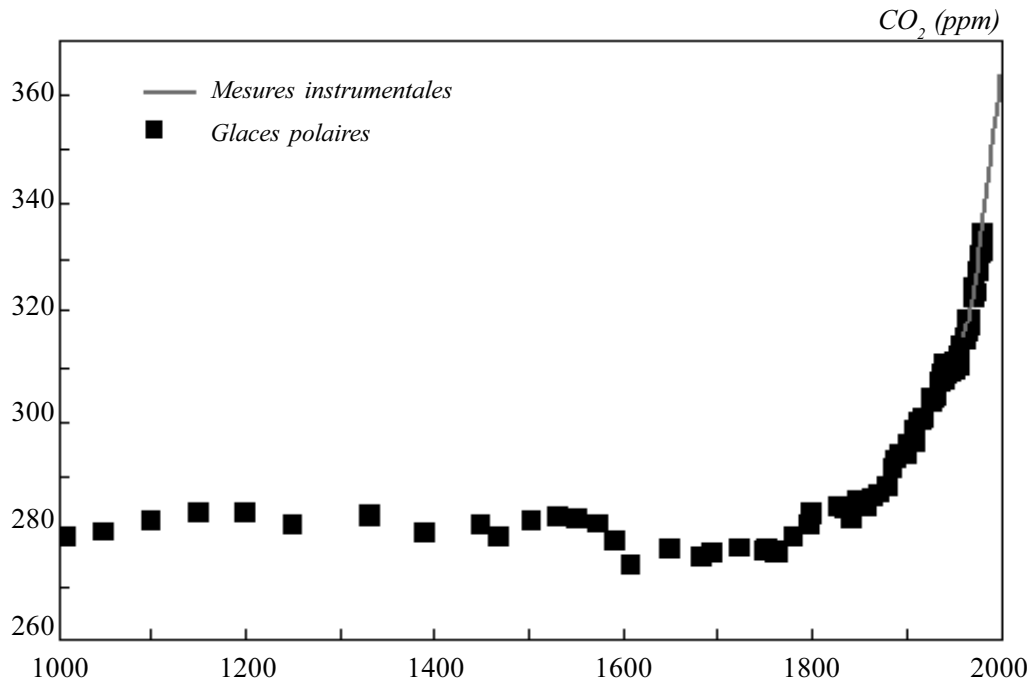


Source : Bernard (2001).

(6) La réversibilité climatique est une question distincte qui sera abordée plus loin.

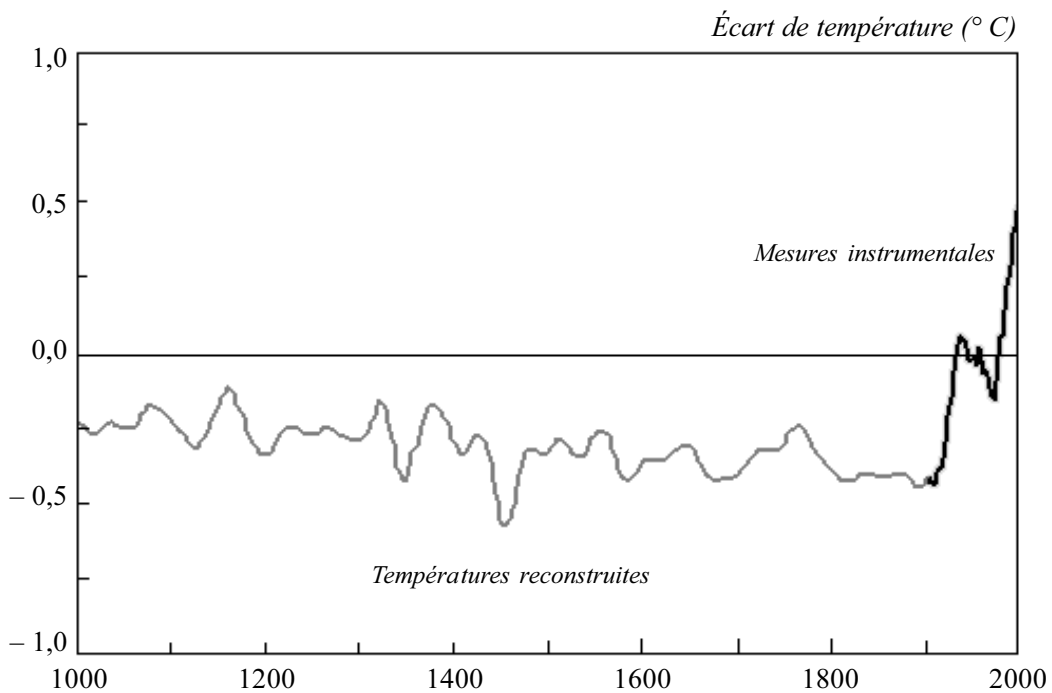
3. Évolution au cours du dernier millénaire

a. De la teneur atmosphérique en CO₂



Sources : Etheridge et al., 1996 et Keeling et Whorf, 1998.

b. De la température moyenne de l'hémisphère nord



Source : GIEC, 2001a.

1.2. Gaz à effet de serre et changement climatique

Les lois physiques élémentaires du phénomène d'effet de serre atmosphérique suggèrent que l'accroissement de la concentration des GES s'accompagne d'une élévation de la température de l'atmosphère. À cette observation fait écho la corrélation étroite établie à partir de carottages glaciaires entre teneur en CO₂, CH₄, et température sur plusieurs centaines de milliers d'années. L'hypothèse de l'actualité d'un scénario contemporain de changement climatique, accréditée par les lois élémentaires de la physique, est renforcée par *le parallélisme troublant de la croissance des concentrations de GES et de la montée observée de la température moyenne sur la planète, qui s'est accrue de 0,4 à 0,8 degré depuis 1850*. Les graphiques 3a et b illustrent de façon spectaculaire ce phénomène.

Mais l'interprétation de la corrélation est sujette à débat. D'une part, l'analyse détaillée de la causalité, par la simulation des effets à court terme d'un accroissement de concentration GES sur les climats du globe, est complexe et difficile. D'autre part, l'histoire à long terme du climat met en évidence des composantes périodiques dans une large gamme de « longueurs d'onde » : les oscillations à basse fréquence (à 20 000, 41 000 et 100 000 ans pour les glaciations) s'expliquent à partir des changements radiatifs relativement faibles qu'engendrent les modifications lentes des paramètres orbitaux de la Terre (théorie de Milankovich), tandis que les variations à court terme font intervenir les cycles de l'activité solaire, l'influence des poussières injectées dans la stratosphère par les grandes éruptions volcaniques, auxquelles se surimposent les modes propres de variabilité du système couplé océan-atmosphère. Cette variabilité naturelle accroît l'incertitude sur le poids de la composante d'origine anthropique dans les modifications de température intervenues depuis le début de l'ère industrielle. Cependant, invoquer l'argument pour justifier l'attentisme constitue, sauf à démontrer l'existence contemporaine d'une composante naturelle de la dérive climatique systématiquement positive, un raisonnement erroné ou au moins douteux. L'augmentation de température est une variable aléatoire, mais à moyenne donnée, *une incertitude accrue, que reflèterait par exemple une variance plus grande, augmente vraisemblablement, pour toutes les raisons qui ont été ou vont être données, les raisons d'agir vite*.

Face à ces données, la communauté des climatologues a pris la première la mesure de l'ampleur du problème et a contribué de façon décisive à donner l'alerte auprès des pouvoirs publics et de la société civile. Elle a joué un rôle essentiel dans la mobilisation internationale des énergies⁽⁷⁾. Celle-ci a

(7) Particulièrement au travers du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, ou en anglais IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change). Ce groupe a été créé en 1988, conjointement par l'Organisation météorologique mondiale et le Programme des Nations unies pour l'environnement. Il a pour mission de rassembler les données scientifiques pertinentes, d'en favoriser la production et la diffusion, et d'en faire la synthèse critique. À partir de là, il lui revient également d'évaluer les incidences, écologiques et socio-économiques, des changements climatiques envisagés. Il lui incombe enfin de formuler et d'évaluer des stratégies possibles de prévention et d'adaptation. Ses rapports sont établis en toute indépendance scientifique, mais sous le regard vigilant des représentants officiels des gouvernements.

permis, depuis l'adoption de la Convention des Nations unies contre le changement climatique lors de la conférence de Rio (en 1992) la mise en place, puis aujourd'hui la ratification (vraisemblable) du Protocole de Kyoto (1997), mis en forme à La Haye (2000), Bonn et Marrakech (2001)⁽⁸⁾. Cette communauté scientifique a considérablement développé l'étude des conséquences climatiques de l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre. Les modèles se sont multipliés. En même temps qu'ils adoptaient des maillages horizontaux et verticaux de la terre des océans et de l'atmosphère de plus en plus serrés, ils prenaient mieux la mesure des échanges dynamiques entre biosphère et atmosphère, échanges qui gouvernent à la fois la stabilisation des concentrations et leurs effets sur les températures et les climats.

Aujourd'hui, presque tous les scientifiques spécialistes du climat dans le monde pensent que l'accroissement de la température moyenne du globe observé depuis 1850 s'explique pour une partie significative par l'accroissement des concentrations en GES dans l'atmosphère terrestre, accroissement pour l'essentiel d'origine anthropique. Les avis restent partagés sur la part expliquée et sur les relations précises de ce réchauffement et des événements climatiques récents comme la récurrence d'El Niño ou, depuis 1990, la multiplication d'années chaudes et l'accroissement de la fréquence des événements exceptionnels.

En ce qui concerne l'avenir, les relations entre émissions de GES et concentration d'une part, entre concentration et accroissement de température d'autre part, sont trop complexes pour que le diagnostic ne comporte pas une marge d'incertitude plus grande encore que dans l'explication du passé. De fait, le spectre des résultats sur le réchauffement climatique délivrés par les différents modèles est large. Leur degré de divergence sur le long terme est illustré par les *différences de pronostic, de 2,7 à 4,7 ° pour l'élévation de température moyenne à horizon 2100* pour un scénario d'émissions conduisant à une concentration de deux fois et demie celle de l'ère préindustrielle⁽⁹⁾. Dans le même scénario, la fourchette retenue pour la montée du niveau des mers va de 15 centimètres à plus d'un mètre.

(8) L'objectif ultime visé par la Convention des Nations unies est de : « stabiliser [...] les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique [...] dans un délai convenable pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement [...] que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable ».

(9) Ce sont les chiffres du scénario A2 du GIEC, conduisant à une concentration en CO₂ de 745 ppm. Le scénario A1, pour une concentration de 725 ppm en 2100, conduit à une fourchette de températures plus basse en 2100 (2,1 à 3,8 degrés), mais implique une stabilisation ultérieure à une valeur maximale proche, légèrement inférieure à 5 degrés. Dans un scénario bas d'émissions (550 ppm en 2100), la fourchette d'accroissement de température se situe entre 2,4 et 3,6 degrés. Pour un scénario pessimiste sur le contrôle des émissions, la température pourrait en 2100 s'accroître de 3,2 à 5,8 degrés.

Les différences ne font pas écho à une controverse scientifique sur les lois physico-chimiques fondamentales qui gouvernent la dynamique du climat. Elles reflètent les difficultés d'estimation de certains paramètres, les incertitudes sur la nature des couplages mettant en jeu l'atmosphère et la biosphère (comme l'effet du CO₂ sur la croissance de la biomasse), les contraintes de volume des calculs qui limitent le resserrement du maillage tridimensionnel, etc. Les instances scientifiques les plus crédibles ont avalisé sinon tel ou tel pronostic, du moins la scientificité des protocoles de modélisation adoptés, et l'honnêteté des résultats (voir en 2002, l'avis de la *National Academy of Sciences* américaine à la demande du Président Bush), écartant le soupçon parfois exprimé d'un message scientifique dicté par l'intérêt. Il n'en reste pas moins des avis dissidents dont il faut faire état. Les argumentaires critiques évoquent parfois l'existence d'une composante systématique négligée des variations climatiques (la périodicité du cycle des taches solaires) ou mettent en cause certains choix, qu'ils jugent à la fois insuffisamment fondés et trop consensuels dans le traitement de questions que les modèles ne peuvent cerner convenablement (formation des nuages dont l'étude requerrait un maillage plus serré, effet réfléchissant des particules). Ces opinions dissidentes suggèrent donc que la borne inférieure des évaluations des modèles (par exemple 2,7 degrés en 2100, dans le scénario évoqué précédemment) serait trop élevée⁽¹⁰⁾.

Ces réserves ne modifient sans doute que marginalement le constat. Même une probabilité plus faible de la borne supérieure de la fourchette des prédictions évoquées plus haut ne suffit pas à lever l'inquiétude : 5 degrés d'accroissement de la température moyenne entre 1850 et 2100 feraient refaire à la planète en deux siècles et demi *l'équivalent du chemin accompli depuis la dernière glaciation* (période qui s'est terminée il y a dix mille ans et pendant laquelle la température moyenne du globe était de 5 degrés inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui et l'Europe était couverte de glaces). Une telle évolution pourrait déterminer des « surprises », que les climatologues n'excluent pas, sans se prononcer sur leurs formes exactes ou leur plausibilité. Le dégel éventuel du permafrost sibérien et la libération du méthane qu'il contient accéléreraient dramatiquement la concentration atmosphérique des GES dans l'atmosphère, menaçant plus encore, dans un cercle vicieux, de réduire la capacité d'absorption des océans. Les modifications de la circulation thermohaline dans l'océan Atlantique pourraient conduire à un changement de régime du Gulf Stream, qui en détourne le cours du nord de l'Europe au sud de l'Espagne. Notons que si le degré de plausibilité d'un tel scénario est controversé, et s'il ne semble pas d'actualité avant 2100, l'existence de deux « attracteurs » pour la dynamique des eaux profondes océa-

(10) Ces réserves sont exprimées avec pugnacité par Lomborg (2001). On peut arguer en sens inverse que la borne supérieure est trop faible, puisqu'elle ne tient pas compte de certains effets accélérateurs possibles comme le dégel du permafrost (qui, cependant, ne pourrait se manifester qu'après 2100).

niques n'est pas une vue de l'esprit mais un phénomène dont la récurrence – à l'échelle géologique – est semble-t-il établie. Il faut encore évoquer, à un horizon plus lointain et dans un registre beaucoup plus spéculatif, les scénarios d'économie fiction comme ceux de Magné et Moreaux (2002), qui supposant que dans plusieurs siècles l'ensemble des énergies fossiles, schistes bitumineux inclus, aura été exploité, les quelques 5 000 GtC rejetées dans l'atmosphère conduiraient à des concentrations de GES allant jusqu'à cinq fois le niveau préindustriel, c'est-à-dire dans des *terrae incognitae* redoutables pour la planète.

Passons sur cette parenthèse du très long terme pour revenir à l'essentiel. Les faits, sont, autant que faire se peut en la matière, avérés : *se prépare, selon un rythme incertain, probablement lent mais susceptible d'emballlements imprévus (certains scénarios de changements rapides ont été mis en évidence), un changement climatique inexorablement lié à une montée des concentrations GES à laquelle les activités humaines contribuent de façon décisive.*

1.3. L'action internationale

Autant la prise de conscience du phénomène a été lente, autant l'action collective internationale, celle envisagée dans la Convention cadre sur le changement climatique (1992) et le Protocole de Kyoto (1997), s'est mise en place dans des délais courts. Cette promptitude est assez remarquable si l'on prend en compte les extraordinaires difficultés d'une négociation planétaire sur un sujet neuf, les incontournables problèmes d'information, de communication, d'analyse qu'il a fallu résoudre, et les conflits d'intérêts qu'il a fallu surmonter pour en arriver là.

On peut évaluer l'ambition des objectifs retenus initialement à Kyoto pour les pays industriels (dits de « l'Annexe B », définie dans le glossaire), comme forte ou modeste selon le point de vue adopté.

1. Le Protocole de Kyoto

À la Conférence de Rio de Janeiro (juin 1992), en l'absence d'accord sur l'usage de l'instrument fiscal, la négociation s'est concentrée sur les émissions quantitatives de chaque pays. Elle a donc remis en cause le régime antérieur où le droit à rejeter des gaz à effet de serre, et donc à modifier le climat, était gratuit et illimité.

Le recours à un marché de droits, envisagé ensuite pour améliorer l'efficacité économique de l'arrangement, déconnecte les allocations initiales – à déterminer selon des critères censés faire un certain écho à l'équité – et finales – modifiées par les échanges économiques. L'allocation initiale comporte des enjeux distributifs importants et doit être établie sur des bases objectives. L'allocation initiale décidée par le Protocole de Kyoto (1997) est établie, de façon quelque peu arbitraire, en référence aux émissions de 1990. On peut imaginer dans l'avenir que la distribution des quotas initiaux se fasse en fonction d'une règle précisée (fonction des émissions, du PNB, du nombre d'habitants, par exemple).

Le Protocole de Kyoto répartit tout d'abord les quantités d'émissions autorisées sur la période 2008-2012, pour chaque pays en référence à ses émissions en 1990. Six gaz sont concernés et les objectifs sont spécifiés en équivalents d'émission de CO₂. Cet accord organise donc en quelque sorte une distribution gratuite aux gouvernements de permis d'émissions qui seront négociables sur un marché de permis dont les conférences des Parties ultérieures préciseront les modalités. Par exemple, les pénalités et sanctions nécessaires à un bon fonctionnement du marché, ont été introduites.

Ci-après les articles du protocole évoquant les échanges de droits :

- *Articles 3.1 et 4.* Les pays peuvent, au moment de la ratification du Protocole de Kyoto, définir une bulle, au sens où un groupe de pays s'engagent solidairement à respecter l'engagement quantitatif global, et se réservent donc le droit de répartir leurs engagements nationaux de façon différente. Au Conseil environnement de juin 1998, l'Union européenne a ainsi adopté une répartition intracommunautaire de l'effort qui n'est pas égalitaire en termes de pourcentages de réduction par référence à 1990. Chaque État membre se trouve ainsi doté d'une cible particulière, qui a été choisie en fonction des possibilités nationales de réduction et d'un compromis politique.

- *Article 3.13.* Possibilité, pour les parties de l'Annexe B^(*), de mise en réserve des quotas d'émission non utilisés sur la période 2008-2012.

- *Article 6.* Des crédits d'émission peuvent être attachés à des projets, sous certaines conditions. Les pays de l'Annexe B peuvent échanger ces crédits, mais peuvent aussi, sous leur responsabilité, autoriser des personnes morales (*legal entities*) à participer aux actions relatives à l'obtention et au transfert des réductions d'émission obtenues par ces projets. Ce mécanisme est baptisé mise en œuvre conjointe.

- *Article 12.* Le mécanisme de développement propre autorise, sous certaines conditions, les parties de l'Annexe B à réaliser des réductions « additionnelles » d'émissions dans les pays hors Annexe B (en gros, les pays en développement), plutôt que sur leur territoire national. Ces crédits pourront être acquis sur la période 2000-2007 et utilisés sur la période 2008-2012.

- *Article 17.* Le commerce des quotas d'émission entre parties de l'Annexe B est autorisé.

Les trois dernières dispositions sont souvent regroupées sous le label mécanismes de flexibilité.

(*) Voir la définition de l'Annexe B et de l'Annexe I dans le glossaire.

1. « Partage de la charge » européen

	Part des émissions en 1990 (% en équivalent CO ₂)	Évolution des émissions de 2000-1990 (%)	Objectif de Kyoto sous la bulle européenne (en 2008-2012 par rapport aux émissions de 1990) (%)
Allemagne	29,1	- 18,9	- 21
Autriche	1,8	3,1	- 13
Belgique	3,4	6,2	- 8
Danemark	1,6	- 1,2	- 21
Espagne	6,8	34,8	15
Finlande	1,8	- 4,1	0
France	13,1	- 1,7	0
Grèce	2,5	23,8	25
Irlande	1,3	24,0	13
Italie	12,4	4,1	- 7
Luxembourg	0,3	- 45,1	- 28
Pays-Bas	5,0	3,1	- 6
Portugal	1,5	30,1	27
Royaume-Uni	17,6	- 12,6	- 13
Suède	1,7	- 1,7	4
Total	100,0	- 3,5	- 8

Source : Ministère de l'Écologie et du Développement durable, D4E.

Réduire d'ici 2008-2012 les niveaux d'émission d'environ 5 % par rapport aux niveaux de 1990, alors que le scénario au fil de l'eau aurait conduit à un accroissement de plus de 20 %, constituait une ambition significative, et dont le coût, on le verra plus tard, n'est pas négligeable pour les pays industriels.

Mais l'action, et à cet égard elle est modeste, ne conduit qu'à un ralentissement de l'accroissement de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre : la réalisation des objectifs de Kyoto, avant le retrait américain, aurait conduit à un abaissement des concentrations en carbone de 384 à 382 ppm à la fin de la période d'engagement. Ce freinage doit être mis en perspective des exigences d'une stratégie visant à *la stabilisation temporaire des niveaux de concentration des GES en 2100*, qui exigerait une *diminution de 50 % des émissions dans quelques décennies*. Et cette stabilisation n'est soutenable à plus long terme que si les émissions sont ramenées finalement à quelques pour cent des niveaux actuels.

L'Union européenne, Partie au Protocole, s'est engagée quant à elle à une réduction de 8 % de ses émissions pour la période 2008-2012 par rapport à 1990, et a réparti l'effort entre ses États membres dans le cadre d'un système communément appelé la « bulle européenne », lors du Conseil des ministres de l'Environnement à Luxembourg en 1998. La France doit revenir pour la période 2008-2012 au niveau de ses émissions de 1990⁽¹¹⁾.

2. L'économie de l'effet de serre : un bilan coûts-avantages

La qualité du climat est, au sens large du terme, un bien économique. La stratégie de lutte contre les effets climatiques des gaz à effet de serre peut, et doit, donc s'appuyer sur le corpus du savoir économique. Il s'agit ici de mobiliser les concepts utiles et les résultats accumulés, d'évaluer leur pertinence, afin d'organiser une sorte d'analyse coûts-avantages des politiques de la maîtrise du changement climatique.

2.1. Le climat, bien collectif global

La « qualité » du climat de la Terre s'impose à tous : c'est donc à supposer qu'on sache la définir, un bien collectif *pur*. Si l'on en juge par l'étendue du « concernement collectif » qu'elle induit, c'est l'archétype du *bien collectif global*. Mais la qualité du climat n'est pas un concept directement opératoire. La concentration des gaz à effet de serre sera prise comme variable pertinente du raisonnement. L'accroissement (respectivement, la diminution) de cette concentration est un mal (respectivement, un bien) collectif pur et global. Notons que cette définition fait sens parce que la diffusion des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est suffisamment rapide (elle est de quelques jours pour le dioxyde de carbone) pour que les effets climatiques des émissions soient indépendants de leur localisation.

(11) Les émissions pour les six gaz concernés par le Protocole de Kyoto, étaient de 144 millions de tonnes d'équivalent carbone (MteC) en 1990 (soit 525 MteCO₂). Les mesures de réduction déjà décidées avant 2000 permettent d'envisager un niveau de 160 MteC en 2010, soit 16 MteC au-dessus du niveau de 1990. Ces mesures prennent en compte notamment en matière de transports, les conséquences de l'accord de réduction des émissions unitaires de CO₂ par les voitures particulières passé entre l'ACEA (Association des constructeurs européens d'automobiles) et l'Union européenne, ainsi que les conséquences des actions de maîtrise du trafic automobile en ville dans le cadre des plans de déplacements urbains. Il convient en outre de souligner que cette estimation a été faite sous l'hypothèse d'une croissance économique de 2,2 % par an au cours de la prochaine décennie. Avec une croissance de 2,8 % par an, le niveau d'émissions estimé s'élèverait à 171 MteC (chiffres issus du document de la Mission interministérielle de l'effet de serre, MIES, intitulé « Programme national de lutte contre le changement climatique 2000-2010 », Paris, janvier 2000).

2. Bien collectif, consentement à payer

Pour les économistes, un bien collectif pur, ou bien public pur, a les caractéristiques que Victor Hugo attribue à l'amour de sa mère : « chacun en a sa part et tous l'ont tout entier ». Chacun en a sa part, c'est-à-dire qu'on ne peut exclure quiconque de l'usage et tous l'ont tout entier, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de rivalité pour sa consommation : ma consommation ne le détruit pas et n'interdit pas sa consommation par quiconque. Ces caractéristiques opposent le bien collectif pur au bien privé, qui est détruit par un usage individuel, nécessairement exclusif : un seul en a sa part, un seul l'a tout entier.

La qualité du climat, dès lors que l'on peut la définir est un bien collectif pur global : il concerne, à la différence des biens publics locaux, l'humanité toute entière. Symétriquement, la concentration des gaz à effet de serre est au moins dans certaines zones de concentration un mal collectif global.

L'analyse oppose les conditions d'une bonne allocation des ressources, selon la nature du bien. Les règles simplifiées de « premier rang » qu'elle souligne : disposition (marginale) à payer égale au coût (marginal) de production pour le bien privé ; somme, étendue à l'ensemble des agents, des dispositions à payer égale au coût (marginal) de production pour le bien collectif, reflètent de façon « duale » la nature des contraintes de rareté (somme des consommations plus petite que production pour le bien privé, consommation par chaque individu plus petite que production, pour le bien collectif).

Dans le cas de l'effet de serre ce que l'on appelle ici disposition à payer dans le langage abstrait de la théorie économique n'est autre, par exemple pour un pays, que la valeur des dommages subis et à subir par ce pays, du fait des changements climatiques.

Mais à niveau donné de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, la variabilité géographique et temporelle de ses incidences climatiques doit être réintroduite : un réchauffement moyen donné de la planète s'accompagne d'une dispersion de changements de température qui peut être grande, comme le soulignent Jean-Baptiste, Ciais, Duplessy et Jouzel dans leur complément à ce rapport. Pour un même scénario de concentration en CO₂, pour une moyenne de 2 degrés, les niveaux de réchauffement sont de 2 à 3 °C sur l'Europe océanique et de 4 à 5° C en Sibérie orientale. Il faudra conserver à l'esprit cette dispersion quand viendra la discussion des risques associés au réchauffement et aussi se souvenir qu'un réchauffement donné, même modéré, peut avoir à la fois des conséquences catastrophiques pour certains – le « Bangladesh » –, et mineures voire bénéfiques pour d'autres – les agriculteurs nord américains et la « Sibérie ». Dans le jargon économique, les « consentements à payer »⁽¹²⁾ (c'est-à-dire

(12) Ou si l'on préfère, « disposition (marginale) à payer ». Ce vocabulaire technique ne préjuge pas des méthodes de la politique environnementale et n'implique aucunement que les pollués, parce qu'ils ont un « consentement à payer », au sens précédent du terme, devraient payer.

le négatif des dommages ou pertes de bien-être subies, telles qu'évaluées par les acteurs concernés) pour la réduction de la concentration de GES, sont extrêmement variables à la fois dans l'espace et dans le temps. La référence aux dimensions spatiales et temporelles du problème conduit à revenir sur les acteurs. Non tant pour affiner l'analyse spatiale, passer de la nation à ses provinces – la Floride contre le Montana ou le Vexin contre le Vaucluse – que pour souligner sa dimension temporelle. Les acteurs économiques dont nous avons à mesurer le consentement à payer ne sont, pour la plupart, pas encore nés. *Les bénéfices de tout programme conséquent de lutte contre l'effet de serre sont variables dans l'espace et diffus dans le temps.* C'est une difficulté essentielle à laquelle est confrontée la conception des politiques de lutte contre l'effet de serre.

Le cadre intellectuel de la réflexion mis en place dicte le plan : comment évaluer les dommages du changement climatique, ou dit autrement, comment évaluer les bénéfices d'une politique de maîtrise du changement climatique ? Comment aussi en évaluer les coûts ? Nous traiterons ces questions en commençant par la seconde.

2.2. La maîtrise de l'effet de serre : la nature des coûts

On évoquera ultérieurement les leviers d'action à long terme dont l'analyse repose sur l'examen des innovations technologiques à venir, dont les coûts de développement, les dates de mise en œuvre, mais aussi les performances sont entachées d'incertitude. On connaît beaucoup mieux les coûts à court et moyen termes, disons ceux qui sont pertinents pour la première phase Kyoto, 2010, jusqu'à 2020-2030.

La réduction des émissions des gaz à effet de serre peut être obtenue de trois manières différentes :

- par amélioration des techniques existantes pour limiter les émissions qu'elles engendrent, par exemple par l'accroissement de l'efficacité énergétique des équipements (qui pour une opération donnée réduit la quantité d'énergie requise), la réduction des fuites de méthane lors de son transport, ou, à une autre échelle, le développement des technologies entièrement nouvelles de séquestration du carbone ;

- par un nouvel arrangement, au sein d'un secteur, des techniques existantes, substituant partiellement les moins polluantes aux plus polluantes. On peut ainsi produire de l'électricité en utilisant plus massivement le nucléaire ou encore les énergies renouvelables, dont il est prévu qu'elles contribueront en 2020 à 20 % de la production d'énergie en Europe (voir le complément à ce rapport rédigé par Bal, Moisan et Morcheoine qui fait le point sur les énergies renouvelables). Ou bien encore en passant, au sein des carburants fossiles, du charbon au gaz, ce qui, comme le montre le tableau 2, réduit d'environ 40 % les émissions de carbone ;

- par l'incitation au basculement de la demande finale, en jouant sur le système des prix au niveau du secteur de la consommation, vers des produits dont la production est moins polluante.

2. Contenu en carbone des divers combustibles

	Tonne de carbone / 10^{12} Joules
Lignite	27,6
Charbon	25,8
Pétrole	20,0
Essence	18,9
Gaz naturel liquéfié	17,2
Gaz naturel	15,3

Source : GIEC (1996).

L'appréhension des coûts du premier type relève d'études microéconomiques, par exemple au niveau de l'entreprise. Le rapport du groupe de travail 3 du GIEC présente une galerie complète des grandes catégories d'innovations susceptibles d'améliorer l'efficacité énergétique dans le secteur de l'industrie de l'habitat et des transports (GIEC, 2001).

L'étude des seconds types de coûts est aussi éclairée par des modélisations sectorielles, ou « mésoéconomiques », dont l'archétype est la modélisation du secteur de production de l'électricité, au sein duquel les conditions de substitution entre techniques et intensité des réponses à une modification du système de prix sont bien comprises.

L'étude des troisièmes types de coûts passe par la prise en compte des comportements des agents finaux.

Ces études peuvent être conduites d'abord indépendamment, puis synthétisées soit dans un cadre d'équilibre partiel, où, par exemple, la demande d'énergie restera exogène, soit dans les cadres que mettent en place les modèles d'équilibre général calculables. Le complément à ce rapport, rédigé par Criqui, Vielle et Viguié, fait une présentation comparée d'une galerie de modèles, qui relèvent des rubriques méso et macroéconomiques. Leurs résultats fournissent les meilleures estimations agrégées des coûts dont nous disposons. Avant d'en présenter un résumé, il est utile de faire un certain nombre d'observations « transversales ».

Remarquons d'abord que les techniques de réduction des émissions au niveau de l'entreprise sont mises en œuvre en passant du moins coûteux au plus coûteux. La substitution des techniques dans le secteur de production d'électricité se fait aussi normalement selon le même principe de telle sorte que les coûts marginaux de réduction correspondant aux deux premières

catégories ci-dessus sont croissants⁽¹³⁾. On peut penser qu'il en ira de même pour les coûts macroéconomiques de la troisième catégorie. On pourrait donc tracer une (des) courbe(s) de coût marginal de réduction, croissante(s) comme dans les manuels d'économie.

3. Coût marginal, réduction et taxe carbone fictive

On peut tracer, par exemple pour un pays, la courbe qui visualise le coût total de réduction des émissions en fonction de la quantité des émissions réduites (on dit parfois, par anglicisme, le coût d'abattement en fonction de la quantité abattue), ou encore en fonction du pourcentage de réduction par rapport à la situation initiale. Il est souvent plus éclairant de visualiser la courbe de coût marginal qui s'en déduit, et qui est généralement croissante. Le coût total, on le verra, peut être mesuré différemment.

La théorie économique du « premier rang » enseigne que, pour un mode de réduction (par exemple, limité aux réductions de CO₂) convenablement défini dans une économie donnée, l'imposition d'une taxe carbone dont l'assiette serait l'émission de CO₂ et qui serait convenablement répercutée sur tous les agents économiques émetteurs conduirait à un niveau d'émission tel que le coût marginal social égale la « taxe carbone ».

La littérature retient souvent la correspondance, ici biunivoque, entre le prix ou le « taux de la taxe carbone » et le niveau de réduction total. On y fera également référence ici.

Pour plus d'information sur les points évoqués ici, le lecteur se référera au complément de Criqui, Vielle et Viguier.

Les coûts, totaux ou marginaux, peuvent-ils être négatifs ? L'argumentaire, dit du « double dividende », qui suggère une réponse positive, mérite examen, tant du point de vue microéconomique que du point de vue de l'économie toute entière.

Tout d'abord, au niveau microéconomique, le rapport du GIEC souligne que bon nombre d'investissements efficaces pour la politique environnementale peuvent être effectués à coût nul voire négatif. Ce sont les mesures sans regrets, dont la rentabilité est positive, toute considération d'effet de serre mise à part : elles rejettent moins de carbone tout en étant moins chères⁽¹⁴⁾. Mais l'optimisme des ingénieurs, et le « double dividende »

(13) Il pourrait en aller différemment dans le moyen-long terme.

(14) Pour le GIEC, ces techniques pourraient suffire à effectuer la moitié des réductions nécessaires en 2020 pour stabiliser les émissions au niveau de 1990.

microéconomique qu'il suggère, apparaît généralement suspect aux économistes. Il suppose souvent un déclassement techniquement justifiable, mais économiquement prématuré, des équipements existants. Il fait également trop abstraction des incertitudes sur les performances, et éventuellement de la difficulté de la transformation des méthodes de gestion (par exemple, dans la régulation du trafic urbain). S'il existe des sources potentielles de coûts négatifs, elles ne suffiront pas à faire des politiques climatiques ambitieuses des opérations à coût nul.

Faire basculer la demande finale des produits à contenu en dioxyde de carbone le plus élevé vers ceux où il est le moins élevé, est une autre manière de réduire les émissions globales. Même en l'absence de mesures dans le secteur productif, une fiscalité « à la consommation »⁽¹⁵⁾ pénalisant les produits à fort contenu en carbone incite, en modifiant les prix relatifs, à un tel basculement. Sous l'hypothèse d'une pression fiscale constante, une fiscalité carbone accrue permettra une baisse d'autres taxes de telle sorte que le bien-être (agrégé) des consommateurs ne sera, en première approximation pas affecté. Cette combinaison de mesures permet donc, tant qu'elle s'applique sur un registre modéré, d'obtenir des réductions d'émissions à un coût social (presque) nul. C'est, semble-t-il, la forme correcte de l'argument du « double dividende » macroéconomique. La forme populaire et militante de l'argument suggère que l'allégement, en contrepartie de l'accroissement de la taxe carbone, de taxes judicieusement choisies, procure des bénéfices sociaux nets strictement positifs. Elle ne peut avoir qu'une validité occasionnelle, quand le réexamen de l'ensemble fiscal est l'occasion de faire réapparaître des « inefficacités » auxquelles on aurait dû antérieurement remédier ou qu'il faut de toute façon corriger⁽¹⁶⁾. Les réserves ainsi exprimées sur la plausibilité et l'importance du « double dividende » ne doivent pas être mal comprises : la mise en place d'une fiscalité carbone significative ouvre des possibilités de substitution entre les nouvelles recettes et les anciennes. Elle donne ainsi nécessairement à la question de la réforme fiscale une place, et une certaine priorité, dans l'agenda politique.

Pour en terminer avec les coûts à court et moyen termes, il faut indiquer que les modèles d'équilibre général qui ont une couverture internationale font apparaître un troisième type de *coût* qui a le mérite d'être négatif, c'est-à-dire *en fait un gain*. En effet la lutte contre l'effet de serre, qui réduit la demande et donc le prix de l'énergie mondiale, est bénéfique pour

(15) C'est-à-dire des taxes type TVA qui n'affectent pas le système des prix à la production (qui diffèrent donc des « accises »).

(16) De telles inefficacités sont patentées dans certains cas de subventions énergétiques non fondées. Certains arguments plaident en faveur d'un déplacement de la fiscalité du travail vers la pollution en Europe. Ils doivent cependant faire l'objet d'études spécifiques, dans des modèles adaptés à l'étude de la fiscalité optimale ou de la réforme. Ces études conduiront à des conclusions qui seront d'autant plus crédibles qu'elles ne prétendront pas traiter simultanément les deux problèmes de l'évaluation de la fiscalité générale et celui de l'optimisation de la politique climatique.

une entité importatrice comme la France. Cet effet n'est *ni anecdotique, ni spécifique au court terme* : il fait écho à une tendance lourde des politiques de lutte contre l'effet de serre celle de la réduction de la rente des pays producteurs de carburants fossiles et de son transfert partiel aux États consommateurs.

Toutes ces études font abstraction de ce que l'on pourrait appeler les coûts «macroéconomiques» de très court terme, qui reflètent les difficultés d'ajustements des prix ou des anticipations des agents et qui sont mesurés, selon des logiques parfois différentes, par les grands modèles macroéconomiques d'inspiration keynésienne. Ces coûts, en particulier pour des changements rapides et non anticipés, comme l'a été au début des années soixante-dix le premier choc pétrolier, peuvent être importants. Ils devraient rester mineurs pour le problème qui nous occupe, du moins si les politiques sont introduites dans le cadre de *transitions douces* (ce point sera discuté longuement plus loin).

2.3. La maîtrise de l'effet de serre : évaluation des coûts agrégés

Ces remarques préliminaires faites, il faut tenter d'obtenir une évaluation synthétique du coût de moyen terme (une perte de surplus, dans les termes du calcul économique), en pourcentage du PIB pour donner un ordre de grandeur compréhensible. Combien aurait coûté aux États-Unis, au Canada, à la France et à l'Union européenne, pour les trois premiers types de coûts évoqués ici, la mise en œuvre du Protocole de Kyoto, par exemple s'il n'était pas fait recours aux mécanismes de flexibilité ?

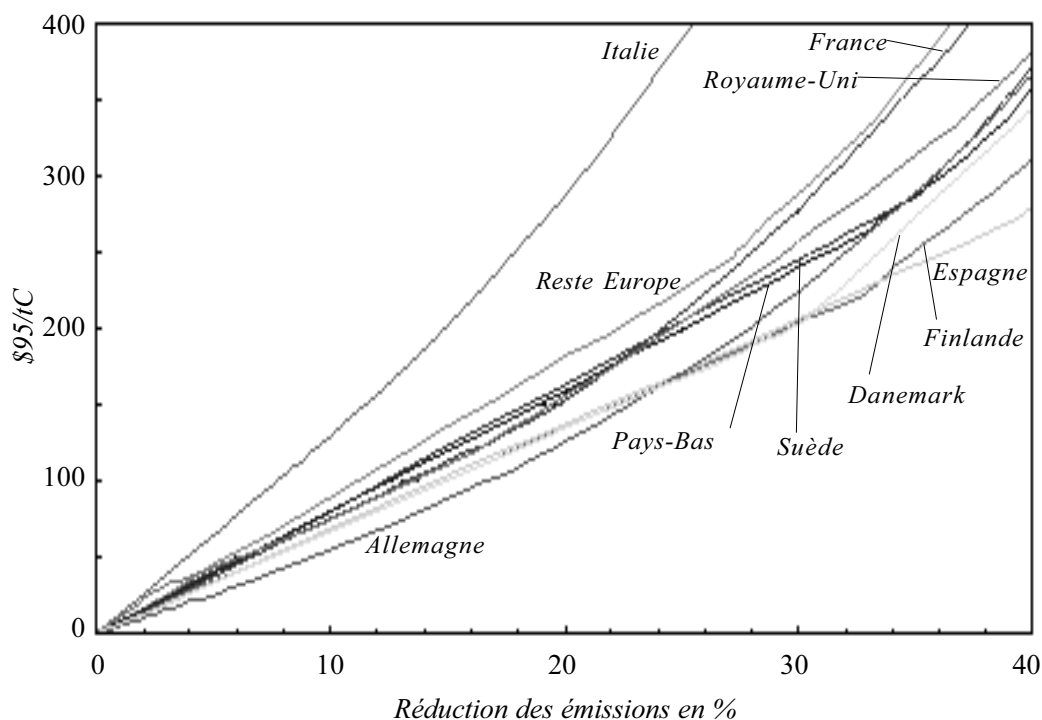
Des études agrègent les trois types de coûts évoqués précédemment, pour mettre en évidence une courbe de coût marginal de réduction fonction de la « quantité réduite ». Elles sont souvent lues en renversant l'ordre des axes, selon la logique évoquée dans l'encadré précédent, quantité « réduite » fonction de la « taxe carbone fictive ».

Le graphique 4, tiré des travaux comparatifs menés par Criqui, Vielle et Viguier dans leur complément à ce rapport, indique les coûts marginaux de réduction sur la période Kyoto, à partir de simulations du modèle l'EPPA mis au point au Massachusetts Institute of Technology.

Si l'on passe d'un modèle particulier comme EPPA à l'ensemble des modèles existants, le spectre des estimations de coûts de Kyoto par pays, est assez large. Les différences ont essentiellement trois sources : les mesures hétérogènes du coût social, reflétant la variabilité de la procédure d'évaluation (équilibre partiel ou équilibre général) ou la nature du coût retenu (perte de PIB ou bien surplus) ; les incertitudes sur les émissions dans le scénario de référence 2010 ; l'incertitude sur les courbes de réduction elles-mêmes. L'hétérogénéité des résultats est illustrée par la comparaison des coûts marginaux de réduction, associés aux objectifs du Protocole de

Kyoto sans flexibilité, et calculés à l'aide de dix modèles. Pour les États-Unis les coûts marginaux se situent entre 50 et plus de 400 dollars, avec une concentration dans la zone 130-260 dollars, et une moyenne de l'ordre de 195 dollars⁽¹⁷⁾.

4. Valeur de la tonne de carbone en fonction du pourcentage de réduction des émissions



Source : Weyant et Hill (1999).

Comment passer de ces courbes à l'évaluation de coûts agrégés ? Esquissons ici un raisonnement grossier mais qui permet de relier les ordres de grandeur des taxes carbone du graphique précédent et les coûts en PIB. Prenons pour coût de réduction permettant la réalisation des objectifs de Kyoto, en l'absence de mécanismes de flexibilité, 200 dollars la tonne de carbone pour les États-Unis, chiffre se situant dans la moyenne des évaluations par les modèles existants. Le pourcentage de réduction prévu dans le Protocole, par rapport au scénario au fil de l'eau était de un peu plus de 30 % pour les États-Unis, soit de l'ordre de 2 tonnes par habitant. En admettant que le coût marginal de réduction reflète bien le coût marginal social et que

(17) Rapporté dans Weyant et Hill (1999). Les différences dans les chiffres comparés intègrent une incertitude sur les émissions de référence en 2010, mais cet élément semble moins peser que l'incertitude sur la forme des courbes de coûts : les réductions requises par Kyoto sur l'ensemble de l'Annexe B sont estimées entre 557 et 1 047 MtC, avec une moyenne de 657 MtC et un écart-type de 157 MtC. Les chiffres donnés pour les États-Unis intègrent des pourcentages requis de réduction variant entre moins de 25 et plus de 31 %.

le coût marginal est croissant linéairement (fonction de coût quadratique), le coût par tête peut être évalué à $(200/2)^2$, soit 200 dollars par habitant, pour les États-Unis, soit environ 0,65 % du PIB par tête, qui est d'environ 30 000 dollars. C'est un chiffre voisin qui est retenu par le modèle EPPA⁽¹⁸⁾. Il s'agit dans la logique considérée⁽¹⁹⁾ d'un prélèvement permanent sur la période, mais qui n'est pas censé affecter le taux de croissance de l'économie.

Les tableaux 3a et b présentent les résultats d'une analyse moins simpliste des coûts totaux de la mise en œuvre du Protocole de Kyoto en 2010 (sans mécanisme de flexibilité), pour les États-Unis et la France. Ils mettent en exergue les résultats obtenus à partir des modèles EPPA, GEMINI-E3 et POLES, modèles et résultats que le complément de Criqui, Vielle et Viguiier, présente de façon plus approfondie.

3. Décomposition du coût de mise en œuvre du Protocole de Kyoto sans mécanisme de flexibilité en 2010

a. États-Unis

	EPPA	GEMINI-E3	POLES
Baisse d'émissions (en MtC)	540	517	476
Baisse d'émission par rapport au fil de l'eau en 2010	- 29,8 %	- 28,9 %	- 27,7 %
Taxe sur le carbone (en \$95)	229	161	145
Coût direct (b\$95)	- 45	- 30,7	- 29,6
Réduction du PIB par rapport au fil de l'eau en 2010	- 1,0 %	- 0,4 %	
Pertes de surplus (EV %)	- 0,49		
Surplus (en Mds\$95)	- 49	- 37,4	

b. France

	EPPA	GEMINI-E3	POLES
Baisse d'émissions (en MtC)	20,3	19,2	17,0
Baisse d'émission par rapport au fil de l'eau en 2010	- 17,5 %	- 15,8 %	- 14,0 %
Taxe sur le carbone (en \$95)	136	237	185
Coût direct (b\$95)	- 1,23	- 1,9	- 1,35
Réduction du PIB par rapport au fil de l'eau en 2010	- 1,1 %	- 0,2 %	
Surplus (en Mds\$95)	- 12	- 0,7	

Source : D'après Criqui, Vielle et Viguiier.

(18) Un raisonnement semblable appliqué à la France et à l'Union européenne conduirait à des résultats plus éloignés de ceux fournis par les modèles existants. Une des raisons en est que, dans les deux cas, la courbe des coûts marginaux, en tonne de carbone par tête est, dans une zone importante, nettement au-dessus de celle des États-Unis.

(19) Qui fait abstraction des gains en termes de l'échange, d'un côté, des pertes macroéconomiques de court terme, de l'autre.

Avec un marché de permis, la moyenne de baisse des coûts marginaux estimée à l'aide des dix modèles évoqués précédemment est de 72, 57 et 78 %, respectivement pour l'Europe, les États-Unis et le Japon. Ces chiffres suggèrent que le coût total pourrait être divisé par 1,5 ou 2 pour les États-Unis, et 2 ou 3 pour l'Union européenne ; une évaluation dont l'ordre de grandeur est confirmé par les trois modèles nourrissant les tableaux ci dessus.

Les émissions anthropiques de carbone peuvent donc dans un premier temps être réduites par une multitude d'actions techniques, comme celles visant à améliorer *l'efficacité énergétique* dans tous les domaines. Elles peuvent l'être également en combinant des actions modifiant la structure de la demande finale et des actions stimulant des substitutions techniques, dans le cas de la production d'électricité, soit en passant par exemple du charbon au gaz, soit en utilisant plus massivement les énergies renouvelables. La mise en œuvre de ces actions pour atteindre les objectifs du Protocole de Kyoto a alors un coût. Les études qui viennent d'être présentées l'évaluent, sous l'hypothèse de mise en place de mécanismes de flexibilité au sein de toute l'Annexe B, à quelques dixièmes de point de PIB. Il est naturel d'y voir, la logique des modèles le suggère, un prélèvement permanent sur la période qui n'affecte pas le taux de croissance de l'économie. Que la décarbonisation de l'économie n'affecte pas les taux de croissance à long terme est plausible, au sens où des arguments intuitifs peuvent être invoqués à l'appui des thèses opposées de l'accélération et de la décélération du progrès technique. L'approfondissement de la réflexion serait ici bienvenu⁽²⁰⁾. Que les mesures n'aient pas de conséquences négatives à court terme est optimiste⁽²¹⁾. La faiblesse des coûts d'ajustement macroéconomiques est d'autant plus plausible que les mesures seront annoncées à l'avance et mises en place dans le cadre de transitions douces. On y reviendra à la section 4 de ce rapport.

Qu'en est il à un *horizon plus lointain* ? À moyen terme, les actions immédiates qui viennent d'être évoquées peuvent être relayées par la mise à contribution massive du système des transports, par le développement de multiples innovations comme la co-génération et de la tri-génération (Meunier, 2002). Une énergie nucléaire classique, rendue plus sûre et/ou mieux acceptée, pourrait jouer un rôle important dans les pays développés même si son développement viendrait assez vite buter sur les ressources en uranium. Le nucléaire contribue à hauteur de 6,7 % aujourd'hui à la production mondiale d'électricité. Néanmoins, ces actions ne peuvent avoir que des effets limités, insuffisants pour stabiliser de façon autre que temporaire la concentration du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Les coûts à moyen-long terme sont donc plus incertains, tributaires de la vitesse de maturation des innovations techniques prometteuses, et ce d'autant plus que les objectifs de réduction sont ambitieux.

(20) Dans cette direction, voir Fougeyrollas *et al.* (2001).

(21) Thorning (2002) donne une vision particulièrement pessimiste de ces coûts.

Sur un horizon lointain, les calculs doivent introduire des hypothèses sur les courbes d'apprentissage qui, aussi étayées soient elles, resteront problématiques. Criqui, Vielle et Viguier suggèrent, dans le complément joint à ce rapport, qu'une réduction des émissions en 2050 à 50 % de leur valeur actuelle, pourrait coûter de 3 à 7 % de PIB mondial. Les travaux du GIEC, à partir de quatre modèles mondiaux de long terme, consacrés à l'étude du rythme optimal des réductions pour différents scénarios de référence, concluent à la plausibilité (hors prise en compte de la séquestration de carbone) de coûts souvent inférieurs à 2 % du PIB à cette échéance. Des coûts significativement supérieurs n'apparaîtraient que pour une cible de 450 ppm dans les scénarios de référence à forte croissance et forte intensité en carbone.

Notons qu'à plus long terme encore, comme l'illustrent les exercices à plusieurs siècles de Magne et Moreaux (2002), la taxation du carbone permet le transfert de la rente pétrolière, mais n'interdit aucunement l'épuisement des ressources pétrolières. Peut-être même n'en éloigne-t-elle pas le terme⁽²²⁾. En l'absence d'innovations techniques permettant de supplanter les carburants fossiles et d'actions résolues pour en rendre l'usage économiquement injustifié (innovations et actions si possible non anticipées par les producteurs !), le prolongement de l'exploitation d'une très grande partie des gisements d'énergie fossile connus ou à découvrir, éventuellement jusqu'à épuisement, resterait une menace potentielle⁽²³⁾.

2.4. L'évaluation des dommages dus au changement climatique

Maîtriser le changement climatique a pour objet d'éviter les dommages qu'il est susceptible de créer. Dans le calcul coûts-avantages des politiques de maîtrise du climat, la colonne « bénéfiques » n'est autre que le négatif de la colonne des coûts économiques du changement climatique. Ceci inclut d'abord les *coûts économiques proprement dits*. Entrent dans cette catégorie la détérioration du capital naturel support des activités productives (agriculture, sylviculture, pêche), les effets sur les activités touristiques (sports d'hiver), les effets sur l'abondance et la qualité des ressources en eau. On peut aussi citer les pertes ou les délocalisations de production agricole di-

(22) Parmi les résultats de Magné et Moreaux, on peut noter des scénarios amenant, malgré une taxe sur les émissions, à l'épuisement complet du stock de pétrole, et à l'utilisation du charbon sur plusieurs siècles, en particulier si des progrès techniques sont réalisés dans son extraction et sa conversion. Un autre résultat *a priori* contre-intuitif est la possibilité qu'un progrès technique important sur l'énergie solaire amène à extraire plus rapidement le stock de charbon de qualité, dont la rente de rareté devient nulle. Ceci, paradoxalement se traduirait par des émissions de CO₂ accrues sur les deux prochains siècles. Il faut noter pour apprécier l'intérêt et les limites de l'exercice, que les forces qui déterminent la dynamique de court terme des prix pétroliers ne permettent aux effets de long terme de se manifester que très lentement, et pourraient même les contrecarrer sur longue période.

(23) Cette « mauvaise nouvelle » doit être relativisée par le fait que l'épuisement de tout le pétrole et gaz conventionnel est compatible avec une stabilisation de la concentration à 450 ppm.

rectement imputables aux modifications climatiques, ou bien les dégâts matériels supplémentaires infligés aux biens et personnes et liés à la multiplication probable des événements extrêmes. Ceci inclut également les *coûts d'adaptation* (protection des côtes, climatisation) permettant de limiter les effets négatifs des modifications du climat. Tous ces coûts directs et ces coûts d'adaptation dépendront non seulement de l'importance mais aussi de la rapidité du changement climatique. Interviennent également les coûts économiques et sociaux dus aux *délocalisations des équipements et aux migrations* humaines que des changements climatiques majeurs susciteraient. L'accélération de l'obsolescence du capital productif (infrastructures et implantations humaines dans les zones côtières), peut aussi relever des coûts de délocalisation. Il faut aussi mentionner les *pertes écologiques* liées par exemple aux effets inquiétants que pourrait avoir le changement climatique sur les zones tropicales. Enfin, sont particulièrement importants les *coûts sanitaires* (les migrations de virus dangereux sont ainsi une des sources potentielles de graves perturbations sanitaires dont la plausibilité est difficile à apprécier), mais aussi les *pertes d'aménité, de bien-être, de confort*, que la détérioration climatique à un endroit donné engendre pour ses habitants. Ces catégories sont inventoriées avec plus de détail dans le complément à ce rapport rédigé par Ambrosi et Hourcade.

L'évaluation marchande de ces différents coûts, à un moment donné et pour une chronique d'émission donnée de GES, est un sujet particulièrement délicat que le complément discute de façon plus exhaustive. Retenons ici que si la mesure économique des premiers types de coûts peut être difficile et incertaine elle ne pose pas de questions de principe. Aussi, l'indexation des dégâts liés aux événements extrêmes à la valeur du capital et donc à la richesse de la société n'est pas problématique. Les méthodes traditionnelles (valorisation marchande à partir de l'examen des valeurs foncières et des choix de localisation, de voyage...) ne sont que d'un secours modeste pour l'évaluation des pertes d'aménité de bien-être et de confort, puisque les données disponibles aujourd'hui ne sont que difficilement extrapolables à un avenir lointain. La difficulté est exacerbée quand on passe à la valorisation des coûts économiques et sociaux comme les migrations, puis à celle des pertes écologiques. Comment évaluer la souffrance d'éventuels « réfugiés du changement climatique » et/ou les difficultés de ceux contraints de les accueillir dans des conditions difficiles ? Comment valoriser le dommage causé à nos descendants par la disparition éventuelle des récifs coralliens, et celui, moins hypothétique, de l'accélération de l'extinction d'espèces animales ou végétales ?

Les ordres de grandeur avancés dans les rares études économiques existantes (1 à 2 % par an du PIB mondial en 2100 pour les dommages agrégés ; dommages beaucoup plus forts – plus de 4 % de leur PIB – pour les pays en développement que pour les pays riches) doivent être interprétés avec prudence.

D'abord, en additionnant les coûts, supposés convenablement évalués, l'évaluation agrégée conduit sans doute à une *estimation marchande minorée*

des coûts sociaux. D'une part, la partie disproportionnée qui serait supportée par les pays en développement suggère une surpondération des coûts monétaires qu'ils supporteraient, du moins si le calcul économique reflète une aversion à l'inégalité⁽²⁴⁾. D'autre part, et l'argument est le jumeau du précédent, les coûts agrégés calculés constituent des « équivalents certains » qui ne mesurent les coûts sociaux que sous l'hypothèse que l'assurance pour les aléas climatiques est parfaite. Or, il n'existe aujourd'hui pratiquement aucun mécanisme d'assurance à l'échelle de la planète contre les aléas climatiques, même si certains risques individuels sont assurables. *L'absence de mécanismes d'assurance* accroît les coûts sociaux à prendre en compte dans le calcul économique (voir Gollier, 2001).

L'incertitude sur l'ampleur des effets, très vite croissante avec l'horizon temporel, rend particulièrement problématique le calcul et le choix d'équivalents certains des coûts. Revenons sur le scénario de modifications de la circulation thermohaline dans l'océan Atlantique conduisant à un changement de régime du Gulf Stream, qui en détournerait le cours du nord de l'Europe au sud de l'Espagne. Les effets pour l'Europe d'un tel phénomène restent très spéculatifs : deviendrait-elle plus froide alors que le reste du monde se réchaufferait ? *A fortiori*, toute tentative d'évaluation marchande sera plus spéculative encore⁽²⁵⁾.

Ces remarques n'épuisent pas les difficultés de traitement des dommages dans le calcul économique. Leur « actualisation », tout comme celle des coûts, mérite une discussion spécifique.

2.5. L'actualisation

La pondération intertemporelle des coûts et avantages est un problème classique, qui prend ici, avec l'horizon temporel exceptionnel du calcul, une importance décisive. Les pondérations retenues par le calcul économique dérivent classiquement aussi du choix d'un *taux d'actualisation*. Le complément à ce rapport rédigé par Hourcade et Lecocq en introduit plus longuement la problématique et discute l'application à l'effet de serre.

En fait le taux d'actualisation seul n'est pas suffisant pour guider les choix publics (ni d'ailleurs les choix privés). La doctrine des années soixante-dix du Commissariat général du Plan soulignait déjà que le taux d'actualisation était un élément central du système des prix intertemporel – c'est le ratio des prix du numéraire à deux périodes – mais n'en était qu'un des éléments. Elle rappelait qu'il fallait lui adjoindre pour le calcul économique le système des

(24) Bien sûr, on peut se demander si le poids ainsi donné à l'équité dans le calcul économique des aménités futures des pays pauvres, n'est pas en contradiction avec les poids implicites que nos politiques actuelles leur accordent : pourquoi dépenser beaucoup d'argent pour aider le Bangladesh en 2050, si on ne le fait pas aujourd'hui ?

(25) Et plus encore, comme on le verra, si cette tentative d'évaluation marchande pondère coûts et des probabilités qui, « subjectives » au sens de la théorie, le seraient, au sens courant du terme, inévitablement de plus en plus.

prix relatifs⁽²⁶⁾. Cette vision, que transmettent toutes les théories exigeantes des choix intertemporels, conduit ici à souligner que l'évaluation d'une amélioration climatique pour les générations ultérieures doit prendre en compte un glissement des prix relatifs le long d'un chemin donné de l'évolution climatique (au voisinage de la trajectoire optimisée où les coûts de production d'une amélioration climatique, tout comme les taux de croissance, sont endogènes, voir Boiteux, 1976, Henry, 2000 et Philibert, 1999). Ce glissement bien sûr ne sera pas le même pour les biens agricoles et pour ce que l'on appelle les aménités générales associées au climat. Pour les biens agricoles, on doit évaluer les changements de production (et de prix, in problème moins simple qu'on ne le croit généralement, voir Wood, 2001). Pour les aménités générales, il faut évaluer convenablement l'élasticité d'un « consentement à payer climatique » vis-à-vis de la richesse⁽²⁷⁾. Le recours à la procédure d'actualisation convenable, dès lors que l'élasticité évoquée est positive, diminuera le taux d'actualisation apparent – mesuré à partir d'une évaluation des avantages fondée sur les valeurs présentes des consentements à payer, et ce d'autant plus que la dite élasticité est élevée. Quelle valeur choisir ? La littérature existante n'est pas prolixe sur ce sujet et ne permet guère de contester sérieusement, ni d'avaliser, une opinion courante pour les biens environnementaux, qui plaiderait pour une élasticité au moins unitaire du « consentement à payer climatique », à niveau de qualité climatique donné. Le consentement à payer s'accroîtrait alors au moins de 1 % lorsque le revenu s'accroît de 1 %, mais le taux d'escompte à défalquer serait plus élevé si la qualité climatique décroissait⁽²⁸⁾.

Par ailleurs, les difficultés dues au risque et à l'horizon, évoquées séparément jusqu'ici, s'entrecroisent. Ainsi à long terme, pour tenir compte du risque, le taux d'actualisation, s'il est appliqué aux équivalents certains des coûts, devrait décroître⁽²⁹⁾. Concluons provisoirement : même si cet argumentaire sur la prise en compte des aspects intertemporels dans le calcul

(26) Voir les rapports de groupes de travail du Commissariat général du Plan parus à La Documentation française, tels Bernard (1972) ou Milleron, Guesnerie et Crémieux (1979), en particulier pp. 30-31.

(27) Comme le montre la parabole esquissée dans une note en cours de rédaction, cette procédure diminue le taux d'actualisation apparent, mesuré par rapport à une évaluation des avantages fondés sur les valeurs présentes. Ce taux devient $g(\sigma - \beta)$, avec g le taux de croissance, σ l'aversion relative au risque de la société, β l'élasticité-revenu du consentement à payer pour le bien environnemental (voir Guesnerie, 2002).

(28) Tout ceci dépend bien évidemment non seulement de l'ampleur, mais aussi de la nature de la détérioration climatique envisagée.

(29) La parabole de Guesnerie (2002), poursuivie dans la logique indiquée par Weitzman (2001) suggère que le taux d'actualisation appliqué aux équivalents-certains (une procédure qui dans le cas général est peu satisfaisante mais qui couvre le cas limite) devrait être à très long terme autour de $(\text{Min } g)(\sigma)$ pour les investissements concernant les biens privés. Le taux d'actualisation devrait être encore notablement atténué, selon une formule plus compliquée (et avec les ordres de grandeur évoqués précédemment pour g , σ et β , être voisin de zéro) pour le bien environnemental.

économique requiert beaucoup plus d'élaboration, il suggère que, *compte tenu de l'incertitude et parce que le bien environnemental considéré est un bien dont la valorisation croît avec la richesse, un calcul économique convenable n'implique pas un écrasement des valorisations futures des aménités environnementales*. Ceci est le cas même si les générations futures sont plus riches que la génération présente. Il en va ainsi dès lors que le bien-être des générations futures n'est pas escompté outre mesure par un coefficient de préférence « pure » pour le présent, dont on peut justifier la présence, mais non, du point de vue éthique une valorisation élevée.

2.6. La valeur d'option

Enfin, le changement climatique qui serait induit par l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre a des aspects irréversibles qui ont été discutés dans la première partie de ce rapport. Rappelons que la réversibilité de la concentration du CO₂ est extrêmement lente à long terme. La réversibilité est plus problématique encore pour les modifications ultérieures du climat induites par l'effet de serre qui pourraient, c'est du moins l'opinion qui prévaut chez de nombreux scientifiques, provoquer des bifurcations climatiques (dont l'archétype est le changement d'attracteur pour la circulation thermohaline) proprement irréversibles à l'échelle humaine.

Concrètement, à l'échelle de temps qui nous concerne ici, on peut seulement à la date t viser à un horizon $t + T$ (pas « trop » éloigné) une stabilisation des concentrations à un niveau pas « trop » supérieur au niveau actuel. La fonction qui mesure le coût d'atteinte d'un objectif de concentration à T à partir d'un niveau initial donné est fortement convexe, c'est-à-dire, conformément à l'intuition, présente des coûts marginaux fortement croissants (Ha-Duong et *al.*, 1997). Chaque instant qui passe accroît le coût ou bien fait disparaître une option de stabilisation ultérieure. Cette situation justifie donc si de l'information nouvelle – éclaircissement scientifique attendu de nouvelles recherches sur la dynamique de l'effet de serre et les dégâts qu'il engendre – est susceptible d'améliorer notre connaissance de l'intérêt de ces options, d'utiliser dans le calcul économique ce que Arrow et Fisher (1974) et Henry (1974) ont appelé une valeur d'option.

Explicitons dans le cadre du problème qui nous concerne, les modifications du problème décisionnel suscitées par *l'arrivée d'informations nouvelles*, et voyons plus précisément pourquoi ces modifications justifient la prise en compte, dans le calcul économique simplifié qui ne traite pas explicitement cette question d'information, de la valeur d'option.

Pour cela, supposons d'abord que la communauté internationale décide de plafonner les concentrations de GES à 550 ppm par crainte d'une explosion du coût des dommages au-delà de ce seuil. Dans ce cas, le *report de l'action est plaidable* comme l'indiquent la plupart des modèles à long terme : il vaut mieux en effet ne pas accélérer l'obsolescence du capital existant, attendre que des énergies alternatives sans carbone viennent sur le marché à bas prix et faire ainsi payer les « réductions » à nos descendants, plus riches que nous.

Mais l'on peut imaginer que dans vingt ans, par exemple, de nouvelles informations nous signalent que la zone dangereuse commence à 450 ppm. Les coûts du freinage accentué que cette nouvelle information scientifique sur la nocivité climatique justifierait plaident pour une action plus rapide et plus résolue dès maintenant. On a ici une illustration de l'effet « irréversibilité » : une « fenêtre de tir » va se fermer et le surcoût que cette fermeture peut imposer à la génération suivante justifie une décélération certes progressive mais immédiatement significative de nos émissions de GES. Une valeur d'option convenable⁽³⁰⁾ réconciliera les résultats du calcul économique simplifié, qui ne procède pas à l'optimisation complète des stratégies, avec ceux de la procédure exhaustive de l'optimisation stochastique.

Il est utile, pour compléter cette discussion de revenir sur le fait que c'est *le stock* des GES dans l'atmosphère qui détermine l'externalité climatique : le flux annuel ne contribue qu'à des mouvements faibles.

L'effet stock suggère en effet que lorsque le pas de temps est faible l'addition au stock des émissions sur la période ne change que peu le dommage marginal, c'est-à-dire que la fonction de dommages directs est « plate ». L'argumentation est présentée et discutée avec plus de détail dans le complément du rapport rédigé par Philibert. Elle implique que, si l'espérance mathématique des dommages calculée à chaque moment ne fait apparaître aucun effet de seuil le coût d'option lui-même devrait être peu variable avec la concentration⁽³¹⁾. Donc, dans la zone qui nous concerne aujourd'hui, et en l'absence d'arguments scientifiques rendant plausible l'apparition de seuils, *en espérance* à moyen terme, la *fonction de dommages* (comme fonction de la concentration) *doit être prise approximativement linéaire*, avec *dommage marginal espéré peu variable* dans une assez large zone de concentrations (voir Newel et Pizer, 2000). *La fonction qui définit le coût d'option* (toujours en fonction de la concentration), n'en est pas pour autant nulle. Mais elle est aussi, sous les hypothèses que nous avons esquissées, approximativement linéaire et, donc définit une valeur marginale d'option relativement constante⁽³²⁾.

(30) Qui pourrait avoir une incidence de l'ordre de la moitié de celle des taux d'actualisation retenus (Ha-Duong, 1998).

(31) Puisque, si l'option ne se situe pas au voisinage de bifurcations climatiques dangereuses avérées en moyenne, la valeur des options disparaissant à l'instant t n'est pas elle-même fortement variable.

(32) L'argument de linéarité ne dit, en tant que tel, rien sur la mesure de l'intensité du dommage marginal, sur la valeur d'option qu'il doit incorporer, et donc sur le bon signal prix à fournir aux acteurs décentralisés. Cette conclusion sur la forme de la fonction de dommages a cependant d'autres conséquences qu'il faudra examiner plus tard.

2.7. Les limites respectives de la climatologie et de l'économie : une parenthèse

L'analyse qui précède a un caractère méthodologique prononcé. Elle constitue cependant un préalable parfois abstrait mais nécessaire à la discussion approfondie d'une question essentielle soulevée par nombre de controverses actuelles, celle du rythme souhaitable de l'action collective. Nous reprendrons cette discussion. Il faut souligner maintenant combien les hésitations méthodologiques et substantives, dont l'exposé prend un tour parfois très technique, ne font souvent que refléter une compréhension limitée qui porte à la fois sur les incidences de l'effet de serre sur le climat et sur leur évaluation économique. Essayons de faire la part de ces effets enchevêtrés.

Il est clair d'abord que la nature des perturbations engendrées par l'évolution climatique affecte profondément leur évaluation : par exemple, une détérioration générale du climat de la planète, soit temporaire parce que liée au rythme des changements des concentrations, soit permanente lorsque à long terme la concentration serait stabilisée, donne beaucoup de poids à l'argument de modification des prix relatifs. Cet argument détermine une réduction drastique des effets de l'actualisation simplifiée à laquelle l'économiste recourt spontanément. Sous d'autres hypothèses, celles d'un « changement climatique doux », les coûts d'un changement climatique pourraient être bornés par les coûts économiques de relocalisation des activités sur la planète. De même, toute la discussion sur les coûts d'option serait bouleversée si le savoir parvenait à identifier plus clairement des risques de « catastrophes climatiques ». Les hésitations des économistes ne font souvent ici que refléter les incertitudes du savoir climatologique.

Cependant, l'économiste, porteur d'une certaine vision rationnelle des choix sociaux qui, ici comme ailleurs est essentielle, doit faire preuve d'une certaine humilité. L'horizon lointain qu'il faut adopter exacerbe les difficultés. D'abord, celles tenant à la nature de l'incertitude. Ensuite, celles de la comparaison intertemporelle. Considérons ces points successivement.

Examinons d'abord l'accroissement des difficultés de traitement de l'incertitude. Confronté à des risques inédits, faisant face à des occurrences d'événements exceptionnels pour lesquels l'objectivation des probabilités est impossible, le modèle rationnel touche à ses limites. Plus prosaïquement, le choix de la décision collective est le plus souvent *sensible non seulement aux spécifications de la théorie* – la rationalité doit s'exprimer dans le choix d'une probabilité subjective ou d'une probabilité subjective « pessimiste » – mais aussi au choix d'une *conception de la rationalité individuelle*, qui va elle-même commander *la rationalité sociale*.

Ainsi, la théorie standard (voir encadré 4) s'appuie sur une réflexion séculaire concernant l'avenir risqué pour proposer une définition réfléchie

de la « rationalité » en avenir incertain qui étend les conclusions traditionnelles en faisant émerger le concept de *probabilités subjectives*. Mais, en élargissant l'espace des paramètres sous-jacents à la décision rationnelle des fonctions d'utilité aux couples fonctions d'utilité et probabilités subjectives, elle affaiblit les capacités prédictives et/ou prescriptives qu'avait la théorie en avenir risqué. Les théories rivales proposant d'autres définitions de la rationalité sous incertitude, et dont les résultats font émerger les concepts plus sophistiqués de « capacités », accroissent plus qu'elles ne réduisent l'espace de l'indétermination rationnelle.

4. La décision rationnelle face à l'aléa

Le choix rationnel en avenir incertain est un sujet classique, auquel Pascal apporta des contributions pionnières. Dans son célèbre pari, il introduit l'espérance mathématique des gains (la somme des gains pondérée par les probabilités) comme maximande du problème de décision. Le paradoxe de Saint Petersburg de Bernouilli suggère de substituer le critère de l'espérance mathématique de l'utilité des gains (la somme de l'utilité des gains pondérée par les probabilités) à celui de l'espérance des gains. Les progrès de la réflexion conduiront aux deux synthèses modernes, qui dérivent le critère de choix d'une axiomatique plus fondamentale.

Dans le cas où les probabilités sont objectives, c'est-à-dire reflètent des lois de probabilité scientifiquement avérées (avec toute l'ambiguïté que peut recouvrir ce terme), l'avenir est dit risqué et l'axiomatique de Von Neumann conclut à l'utilisation du critère de l'espérance de l'utilité.

Dans le cas où les événements ne sont pas régis par des lois mises scientifiquement en évidence, Savage établit qu'un acteur rationnel au sens de son axiomatique évalue, ou tout se passe comme si il évaluait, les conséquences à l'aune de l'espérance mathématique de l'utilité, étant donné que l'espérance mathématique est alors calculée à l'aide de probabilités subjectives qui ont (presque) toutes les propriétés formelles des probabilités.

L'explication par la théorie moderne des choix en avenir incertain, dans le cadre de la problématique de l'espérance de l'utilité met en exergue le rôle des dérivées de la fonction d'utilité et relie l'« aversion au risque » à la dérivée seconde, la « prudence » à la dérivée troisième, etc.

À la suite des critiques d'Allais et Ellsberg, tout un courant de réflexion remet en question le critère de l'espérance des gains : par exemple, certains suggèrent de remplacer les probabilités par des capacités, qui sont des fonctions d'ensembles plus générales.

Le second problème sur lequel la réflexion économique achoppe est celui de la comparaison de bien-être entre les générations, particulièrement quand des générations lointaines sont concernées. Ce problème a une dimension qu'il faut bien appeler « éthique » qui a été ci-dessus abordée comme telle dans une logique « utilitariste » familière aux économistes mais bien sûr discutable.

Il n'est pas surprenant qu'un problème qui met en cause la survie de l'humanité, ou tout au moins l'intégrité du « vaisseau spatial » qui abrite l'espèce humaine, ait des dimensions dont l'évaluation ne puisse être épuisée par la discussion technique des choix selon le modèle de rationalité économique. Même la considération de l'éthique, au sens strict, ne peut rendre compte d'aspects touchant à ce qu'il convient d'appeler la « métaphysique ». Tel est en tout cas le sens des prises de positions de plusieurs philosophes tel que Hans Jonas, « faisant... de la peur spirituelle envers ce qui peut menacer l'humanité le fondement d'une nouvelle éthique de responsabilité qui s'imposerait de façon catégorique aux responsables politiques » (dans Godard, 2001, voir Jonas, 1999, et Dupuy, 2001). Sans traiter le problème au fond, on peut trouver par ailleurs significatif que Daedalus, la revue de l'American Academy of Sciences, ait consacré en 2001 une partie d'un numéro spécial sur les changements climatiques à une analyse des positions des grandes religions sur les problèmes environnementaux.

Il convenait d'ouvrir cette parenthèse, non pour discréditer l'analyse économique mais pour la remettre en perspective. Ce faisant, il convient de ne pas interpréter incorrectement les commentaires critiques sur l'approche économique de l'incertitude et de l'avenir. Les réserves faites ne prétendent pas suggérer l'existence d'approches alternatives supérieures qui seraient aujourd'hui disponibles et accessibles à la raison. Elle ne recommandent pas la substitution de principes alternatifs à la réflexion économique. Par exemple, le *principe de précaution*, selon lequel « l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement », suggère d'éviter la dégradation de l'environnement tant qu'on n'est pas assuré de son innocuité. Dans les faits, au scepticisme parfois exprimé par les économistes sur ses fondements, répond ici la faible valeur opérationnelle du concept si l'on en reste à la définition ci-dessus (Gollier et *alii*, 2000). La phrase est compatible avec une conception intégriste du principe de précaution, le principe d'abstention⁽³³⁾. Ce dernier imposerait au moins que l'on stabilise sans délai la concentration des GES, voire, puisque l'innocuité des émissions post-industrielles n'est pas

(33) Il y a plusieurs conceptions possibles du principe de précaution : tel que défini par le droit interne et les textes de doctrine ; la « règle d'abstention » dont on peut identifier trois composantes : le dommage zéro comme norme générale de l'action (vouloir l'innocuité) ; le renversement de la charge de la preuve (vouloir la preuve de l'innocuité) ; la focalisation sur le scénario du pire (en situation d'incertitude scientifique, vouloir l'innocuité, c'est vouloir l'innocuité du scénario du pire). Voir Godard (1997).

prouvée, que l'on revienne à un niveau préindustriel. Ceci impliquerait une compression drastique du niveau des émissions que personne apparemment ne propose, soit parce que le changement du style de vie qu'elle implique est clairement irréaliste, soit parce que les solutions (partielles) à coût modéré – nucléaire par exemple – sont récusées au nom même de la précaution. Une version modérée du principe, qui ajoute la précision « à un coût économique acceptable »⁽³⁴⁾, plaide pour une action immédiate, mais ne permet pas d'en déterminer le rythme : une action rapide et résolue doit trouver son espace dans les limites de coût autorisées par le réalisme économique ou politique. Ce qui nous ramène à l'argumentaire économique.

3. L'évaluation économique du Protocole de Kyoto

Nous procéderons ici à une évaluation du Protocole en portant successivement un regard économique critique sur la chronologie de l'action proposée, l'ampleur de l'effort qu'elle requiert, deux questions où la problématique coûts-bénéfices longuement proposée est particulièrement utile, puis les mécanismes qu'elle met en place et, plus généralement, sur l'architecture de l'accord.

3.1. La chronologie de l'action

L'état de nos connaissances justifie-t-il une action rapide, c'est dire la mise en place d'un protocole comme celui de Kyoto, ou au contraire l'attentisme ? Comment évaluer l'ampleur de l'effort sous-jacent au Protocole de Kyoto ? Ces deux questions sont quelque peu distinctes, même si chacune doit être évaluée en particulier à l'aune du calcul économique dont nous avons introduit les ingrédients et rappelé la logique.

Considérons d'abord la première question : la mobilisation planétaire autour d'un accord environnemental de type Kyoto constitue-t-elle une réponse à une urgence ou de la précipitation ?

La conviction constamment exprimée dans ce rapport est qu'au regard de l'ensemble des données disponibles, l'action initiée par les conférences intergouvernementales successives depuis le Sommet de Rio en 1992, a été dans l'absolu non trop précoce, mais, à cause du retard de la prise de conscience du phénomène (les premières modifications anthropiques des concentrations atmosphériques de GES se sont manifestées depuis deux siècles), clairement trop tardive. Deux objections méritent cependant examen.

(34) Avec cet ajout, la citation ci-dessus constitue la définition de la précaution dans la loi dite Barnier sur l'environnement. Pour une discussion du principe de précaution et de ses applications, voir par exemple Kourilsky et Viney (2000), Commission européenne (2000), ou Godard (1997).

Une première objection à l'action, le rôle des émissions de GES dans le changement climatique n'est pas avéré, reprend un plaidoyer antérieur pour l'attentisme, alors même que l'évidence scientifique en sens inverse se précise. Comme on l'a déjà dit, cette objection est maladroite. Plus la température est un signal brouillé de la concentration des GES, et sauf si le brouillage avait un biais systématique avéré et de signe convenable, plus sans doute l'action est justifiée.

Une seconde objection, rien ne sert de partir dès maintenant puisque le salut viendra de l'innovation technologique, met en cause, d'une autre manière, la pertinence d'une action rapide et mérite plus ample discussion. Elle repose sur une remarque peu contestable : les leviers de l'action immédiate sont loin de permettre une complète résolution du problème. Que le salut, c'est-à-dire en définitive la substitution de nouveaux combustibles aux combustibles fossiles ou bien encore la séquestration à large échelle des GES, ne puisse venir que de l'innovation technologique, est entièrement exact. Même si, à vrai dire, personne ne peut prédire aujourd'hui la recette miracle : nouvelle génération nucléaire (surgénérateur, fusion « froide »), photovoltaïque ou électricité solaire à concentration, ou bien encore méthode révolutionnaire de séquestration et de stockage du carbone. Mais l'objection néglige le fait que les premières mesures qui seraient prises dans le cadre de Kyoto, même si l'on doute qu'un pourcentage important entre dans la catégorie « sans regrets », sont à *coût faible*, et par là même pour un certain nombre d'entre elles, de rentabilité supérieure aux actions alternatives, recherche y comprise.

Si l'on ajoute à cet argumentaire les vertus d'un affichage précoce et fort de priorités collectives dont la réalisation s'étale sur longue période, il y a peu de doutes que la mise en place sans délai d'une action sur l'effet de serre est aujourd'hui pleinement justifiée. Reste à apprécier son ampleur et sa forme.

3.2. L'ampleur de l'action

L'ampleur de l'effort décidé à Kyoto, doit être évaluée d'abord à partir de considérations coût-efficacité, étant entendu que « Kyoto », dans cette partie de la discussion se référera à l'accord initial entre les pays de l'Annexe B (États-Unis compris) accompagné des mécanismes de flexibilité.

En ce qui concerne les coûts, le tableau 4 indique le taux d'effort, c'est-à-dire le ratio coûts/PIB, pour une série de pays (selon des calculs qui intègrent les dispositions récentes sur les puits de carbone).

Ces estimations de coûts, certes optimistes au regard de la moyenne de celles évoquées précédemment, suggèrent que l'effort demandé en 2010, quelques dixièmes de point de PIB, est relativement modéré. Examinons cette assertion à la lumière d'un calcul économique très simplifié que nous allons peu à peu complexifier.

4. Taux d'effort pour respecter les engagements de Kyoto

En %

	Objectif de Kyoto	Avec marché et puits
États-Unis	- 7,0	0,14
Canada	- 6,0	0,05
Union européenne	- 8,4	0,05
dont France	+ 0,0	0,03
Fédération de Russie	+ 0,0	- 0,9
Japon	- 6,0	0,05
Australie + Nouvelle-Zélande	- 6,8	0,11
Ombrelle ^(*)	- 6,2	0,11
Total Annexe B	- 4,7	0,02

Note : (*) En raison des regroupements des différents pays au sein de POLES, les pays ici comptabilisés sous le vocable Ombrelle sont les États-Unis, le Canada, le Japon, l'Australie et la Nouvelle-Zélande.

Source : Maquette SAGESSE (D4E, ministère de l'Écologie et du Développement durable), bâtie à partir des données de POLES.

On peut se demander d'abord quels bénéfices en 2110, un siècle plus tard, on doit attendre pour rentabiliser un effort présent d'un dixième de point de PIB. Le rendement, avec un taux d'intérêt de 4 %, est approximativement de cinquante fois la mise initiale, c'est-à-dire 5 points de notre PIB. Si l'économie a crû au rythme annuel de 2 %, il n'est que 3/4 de point du PIB 2110. Mais les modèles climatologiques nous indiquent que l'effort Kyoto, maintenu sur un siècle, ne garantit qu'une baisse des températures par rapport au scénario au fil de l'eau, inférieure à 0,2 degré. Par ailleurs, les dommages sont parfois évalués, en 2110, pour l'ensemble du réchauffement à 2 points de PIB. Sur la base de ces données, un raisonnement grossier suggère que la rentabilité de l'effort est problématique, en d'autres termes qu'il constituerait une manière inefficace de contribuer au bien-être des générations futures. Les modèles agrégés d'optimisation des politiques climatiques qui ont été développés (DICE ou sa version régionalisée, RICE), ne font que sophistication l'actualisation très simpliste qui vient d'être suggérée. Ils s'accordent pour recommander un effort beaucoup moins ambitieux que celui assigné par les cibles de court terme de réduction des émissions définies à Kyoto, voire un effort presque symbolique. Ces modèles ont des mérites, en particulier celui de considérer explicitement la modulation temporelle de l'effort, un problème dont le traitement convenable est essentiel à la conception des politiques : il faut agir aux périodes où c'est le moins coûteux, et donc éventuellement attendre l'arrivée d'opportunités technologiques⁽³⁵⁾. Par ailleurs, il est légitime et nécessaire de comparer l'effica-

(35) Les techniques classiques du calcul économique suggèrent une première approche opératoire de cette modulation temporelle : égalisation du taux de rentabilité immédiate de l'action et du taux d'actualisation. Mais elles ne permettent pas, compte tenu des incertitudes sur la rentabilité de la recherche, de trancher de manière très convaincante sur la répartition de l'effort entre le rythme de réduction des émissions et le rythme de la recherche qui permettra une réduction des coûts ultérieurs.

cité de toutes les formes d'action sur le bien-être des générations présentes et futures dont nous disposons, et donc de s'interroger sur l'efficacité relative de la politique climatique et par exemple d'actions plus spécifiques sur l'eau potable. Le calcul économique actualisé constitue très généralement la manière la plus convaincante de procéder à de telles comparaisons.

Ni la modélisation ni l'actualisation ne sont *a priori* suspectes. Cependant, à la fois le traitement des dommages du changement climatique et les procédures d'actualisation retenues dans ces modèles suscitent de sérieuses interrogations qui conduisent à considérer avec scepticisme leurs recommandations. Les raisons de ce scepticisme peuvent être assez simplement et brièvement exprimées. Selon RICE-99 (Nordhaus et Boyer, 2000), la valeur actualisée des dommages totaux dus au changement climatique, au voisinage du scénario de référence au fil de l'eau, dommages dont l'évaluation résulte essentiellement de choix exogènes au modèle, équivaut à deux mois du PIB mondial 2000. S'il en était ainsi, le problème de l'effet de serre serait bien sûr un problème économique mineur : compte tenu de ce que l'on sait sur les coûts de réduction des émissions, il n'est pas besoin d'être grand clerc en optimisation pour conclure que l'inaction conduit à des résultats voisins de l'action optimale⁽³⁶⁾. Qui plus est, la mise en œuvre d'une politique visant à limiter l'accroissement de température à 1,5 degré à l'horizon 2100, un objectif que l'on peut spontanément trouver moyennement ambitieux, conduirait selon les mêmes modèles, à multiplier par quatre les coûts de l'effet de serre en l'absence de toute action ! Il y a évidemment *une totale incompatibilité entre ces résultats et l'intuition qui a déterminé depuis plus de dix ans l'action internationale*.

Cette incompatibilité peut signifier que l'intuition écologique est grossièrement erronée, mais le fût-elle, il paraît invraisemblable qu'elle le soit autant que ce que suggèrent les chiffres avancés. Mentionnons pour mémoire une objection technique qui est loin d'être négligeable : les simplifications adoptées dans la modélisation du cycle du carbone auraient conduit à une sous-estimation systématique et semble-t-il importante du forçage climatique⁽³⁷⁾. D'autres raisons, pas moins importantes, plaident pour une réhabilitation de l'intuition fondatrice. Allons des plus fondamentales aux plus terre à terre.

En premier lieu, on l'a déjà dit, certaines dimensions de cette intuition écologique – le maintien de l'intégrité du vaisseau spatial terre et le « catastrophisme éclairé » qu'il justifierait sont difficiles à intégrer dans le raisonnement analytique, sans que l'on puisse les récuser au nom de la raison.

(36) Toujours à partir des modèles DICE et RICE, Lomborg (2001) indique que la mise en œuvre de la politique optimale apporte un gain social équivalent à deux jours (!) de la production mondiale aujourd'hui.

(37) Par exemple, dans le cadre d'un scénario de stabilisation à 1 000 ppm, le modèle permet un volume d'émissions deux fois plus élevé en 2100 que celui autorisé par un modèle climatique complet.

En deuxième lieu, la partie de l'intuition écologique qui n'est pas rebelle au raisonnement analytique (considérations éthiques, irréversibilité, rôle des prix relatifs dans l'évaluation du bien-être futur, risques faibles d'évolutions climatiques extrêmes) est très largement ignorée. De fait, les modèles évoqués n'ont réussi à être simples qu'en étant trop simplistes. En ignorant, *de facto*, la dimension essentielle du phénomène effet de serre, l'incertitude, et en traitant de façon sommaire le problème de la valorisation des aménités environnementales futures, le calcul écarte le raisonnement économique qui a été présenté dans la première partie de ce rapport et dans le complément de Hourcade et Lecoq. La liste des insatisfactions et/ou lacunes est substantielle : omission de l'aversion au risque de dommages, omission d'une valeur d'option pour intégrer l'irréversibilité, traitement méthodologiquement très contestable de la valorisation d'équivalents-certains dans le long terme et traitement économiquement suspect du glissement du prix relatif des bien environnementaux. Qui plus est, ces insuffisances se conjuguent pour minorer la valorisation actualisée des dommages. En l'absence regrettable d'une alternative crédible, on ne peut lever toutes les interrogations sur les ordres de grandeur des corrections à apporter. Cependant, on ne peut aujourd'hui considérer les résultats de ces calculs qu'avec suspicion, et s'inquiéter du cas qui en a été fait.

Troisième point, au-delà d'une critique portant sur la méthodologie proprement dite du calcul, il faut noter qu'une action initiale relativement vigoureuse a des mérites qui sont ignorés, lorsque le raisonnement qui sous-tend lesdits calculs repose sur l'hypothèse (comme c'est le cas dans les modèles qui viennent d'être discutés) d'un progrès technique exogène et « tombé du ciel ». Une tonne de carbone, aujourd'hui, à un prix significativement supérieur aux 10 euros suggérés dans RICE, renforcerait, à la fois de par sa valeur présente et par la crédibilité qu'il apporte à l'engagement, les incitations à l'innovation technologique. En d'autres termes, *l'affichage précoce d'une volonté politique* et sa concrétisation dans des signaux prix significatifs pour le carbone ou les autres GES constituent des facteurs de stimulation, des aiguillons significatifs d'une politique de recherche et développement (R&D). *Kyoto*, au sens d'une première phase d'action vigoureuse fournissant un signal fort et crédible de la qualité de l'engagement collectif, *et la stimulation du progrès technique sont des compléments et non des substituts*.

Reste, et c'est le quatrième point, que les mêmes analyses sous-estiment ce que l'on appelle parfois les bénéfiques « ancillaires » de la décarbonisation de l'économie à laquelle la réduction des émissions des GES conduirait. La diminution de la pollution urbaine constitue l'archétype de l'effet induit de la politique climatique, effet qui serait important particulièrement dans les premières phases. On ne peut passer complètement sous silence non plus, les conséquences positives en matière de sécurité d'approvisionnement et d'indépendance énergétique.

Concluons : l'appréciation de l'ampleur de l'effort assigné par le Protocole de Kyoto n'est pas pleinement conclusive du point de vue de l'analyse coûts-bénéfices. Le verdict dépend de l'assignation de la charge de la preuve. Pourtant entre une conception assez stricte de la précaution, qu'on peut juger respectable étant donnée l'ignorance sur les risques encourus et les conclusions d'une optimisation économique trop caricaturale, Kyoto choisissait une voie moyenne. On ne peut nier que cette voie moyenne est discutable, mais les bons arguments pour penser que Kyoto fait trop ou trop peu ne font pas preuve si la charge en revient à ceux qui contestent l'intensité de l'action.

Le sentiment exprimé dans ce rapport est que les coûts de Kyoto sont faibles au regard de l'ampleur potentielle du problème climatique. Que les pays riches retardent aujourd'hui leur développement de quelques mois (selon les estimations que nous avons discutées, mais ce pourrait être dans la même logique de quelques années d'ici la fin du siècle prochain) pour se mettre en état de faire face à une menace collective dont la réalité, sinon l'ampleur et l'échéancier, est avérée, est bien le moins qu'ils (que l'on) puissent (puisse) faire.

Naturellement, prendre acte, s'apprêter à faire face et prendre les premières dispositions, ce que fait Kyoto, ne prédétermine pas de l'action future qui devra bénéficier des progrès de la compréhension du changement climatique et des dommages qu'il induit. Il sera nécessaire, selon toute vraisemblance, d'accentuer l'effort. Ou bien, ce qui paraît aujourd'hui assez peu plausible, si la connaissance améliorée confortait les thèses « négationnistes », faire porter l'effort sur l'adaptation plutôt que la prévention.

3.3. Évaluation critique des mécanismes de flexibilité

Kyoto est le fruit d'une négociation internationale dont les acteurs et les décideurs sont les États. Il s'agit d'une donnée lourde de l'ordre international qui s'impose à toute tentative de construction d'un accord global. Le choix d'une politique de quantités, attribuant à chaque pays des quotas d'émissions, résulte plus des contingences de la négociation que de la nécessité institutionnelle : une politique de prix (taxation) a d'abord été proposée par les Européens, avant Rio, puis rejetée par l'Administration américaine qui préférait une réglementation sous forme de quotas. L'option « politique de quantités » adoptée à Kyoto, la différenciation des objectifs entre les États qu'elle implique, reflète les réalités d'une négociation dans laquelle les avantages perçus de la politique et ses coûts individuels sont dispersés.

Avec ces données, États souverains d'un côté, politique de quantités de l'autre, « l'équation » de Kyoto est simple : *comment maximiser l'effica-*

cité environnementale sous contrainte d'acceptabilité politique ?⁽³⁸⁾
C'est au regard de cette équation que sera évaluée l'économie de Kyoto, avec en particulier de ce que l'on appelle ses *mécanismes de flexibilité*. Rappelons qu'ils sont constitués par :

- le marché des autorisations d'émission entre pays de l'Annexe B (dont la liste diffère légèrement de celle des pays de l'Annexe I de la Convention des Nations unies sur le changement climatique (CNUCC), qui doit s'ouvrir en 2008, c'est-à-dire les permis d'émission négociables. Les caractéristiques d'un système de permis d'émission négociables sont décrites dans le complément à ce rapport de Cros et Gastaldo ;
- le mécanisme de développement propre (MDP) qui permet, à partir de 2000, à un pays de l'Annexe B mettant en œuvre un projet de réduction des émissions dans un pays hors Annexe B, d'obtenir des unités de réduction d'émission certifiées ;
- le mécanisme de mise en œuvre conjointe (MOC), débutant en 2008, qui permet à un pays de l'Annexe B mettant en œuvre un projet de réduction des émissions dans un autre pays de l'Annexe B, de se voir transférer une part des crédits d'émission de ce dernier pays.

La fin des tergiversations européennes à La Haye concernant le *marché international de permis d'émission négociables* a entériné une novation institutionnelle majeure *a priori* favorable à la coopération internationale.

En premier lieu, en donnant à certains pays de « l'air chaud » (terme utilisé pour désigner des quotas attribués au-delà des émissions actuelles), et par conséquent non contraignants, les transactions sur le marché permettent une forme limitée de transferts internationaux. Ceux-ci élargissent l'espace de négociation et accroissent *a priori* la probabilité de succès de l'Accord.

En second lieu, *le marché abaisse les coûts individuels et globaux d'observance*. D'abord, parce qu'il fournit une sorte de recours et d'assurance pour les États signataires en cas de difficultés internes spécifiques (hivers rigoureux, grèves des transports, opposition résolue au freinage des émissions dans un secteur, etc.)⁽³⁹⁾. Ensuite, parce qu'il transfère l'effort là où il est moins coûteux, abaissant le coût total des politiques d'émission dans des proportions qui peuvent être appréciées par l'abaissement de la taxe carbone marginale associée. Le tableau 5 reprend et complète des estimations du taux d'effort (coût rapporté au PIB) du tableau 4 et illustre l'abaissement des coûts que permet le marché de permis. Gherzi et Hourcade (2002) et Philibert (2002) donnent des informations complémentaires sur l'évolution des coûts en fonction de l'évolution des accords internationaux.

(38) Il convient de noter dès maintenant, pour éviter de caricaturer les positions des uns et des autres, que l'efficacité environnementale n'est pas nécessairement unidimensionnelle : toutes choses égales par ailleurs, on peut préférer un objectif environnemental plus modeste sur la période Kyoto contre un prix carbone plus élevé ou une dispersion des prix carbone plus incitative pour la recherche. Par ailleurs, certaines dimensions de l'acceptabilité politique, par exemple risques de délocalisation, peuvent être évaluées de façon subjective.

(39) Il y a sans doute quelque naïveté, optimisme, voire mauvaise foi pariant sur l'absence réelle de sanctions à accepter des quotas à échéance de dix ans sans assurance contre de mauvaises surprises vis-à-vis des coûts.

5. Impact d'un marché des permis d'émission sur le taux d'effort (coût par rapport au PIB) pour respecter les engagements de Kyoto

	<i>En %</i>		
	Kyoto	Sans marché	Avec marché
États-Unis	- 7,0	0,33	0,20
Canada	- 6,0	0,27	0,15
Union européenne	- 8,4	0,17	0,07
dont France	+ 0,0	0,09	0,05
Fédération de Russie	+ 0,0	0,00	- 1,31
Japon	- 6,0	0,17	0,08
Australie + Nouvelle-Zélande	- 6,8	0,26	0,19
Ombrelle ^(*)	- 6,2	0,29	0,17
Total annexe B	- 4,7	0,22	0,04
Prix du permis en \$90/tC	50,9		

Note : (*) En raison des regroupements des différents pays au sein du modèle POLES, les pays ici comptabilisés sous le vocable *Ombrelle* sont les États-Unis, le Canada, le Japon, l'Australie et la Nouvelle-Zélande.

Source : SAGESSE-POLES.

La contestation moralisante de l'instrument (la « marchandisation » de la nature) a sans doute été accentuée par la maladresse sémantique qui définissait ce marché comme celui de « droits à polluer »⁽⁴⁰⁾. On peut être sensible à la réticence qu'elle exprime à l'égard des solutions « tout marché », que l'air du temps, le fil de l'eau intellectuel plus que la nécessité font parfois prévaloir. Mais en l'occurrence, elle peut refléter une certaine incompréhension des conditions de fonctionnement d'une économie de marché complexe⁽⁴¹⁾, incompréhension qui suscite sans doute une erreur de raisonnement qu'il faut tenter de dissiper. *Diminuer le coût d'une politique environnementale contribue, non pas à faire un cadeau aux pollueurs, mais toutes conditions du marchandage égales par ailleurs, à accroître le niveau d'effort qui peut éventuellement être imposé.* En abaissant le coût des politiques, en ouvrant l'espace de l'accord grâce aux transferts qu'il permet, un marché international de permis d'émission négociables constitue, dès lors que les conditions nécessaires à son bon fonctionnement sont réunies, un facteur de succès et d'efficacité des politiques environnementales liées au changement climatique⁽⁴²⁾.

(40) Les rapports au Conseil d'analyse économique sur la fiscalité de l'environnement, rédigés par Dominique Bureau, Olivier Godard, Claude Henry, Jean-Charles Hourcade et Alain Lipietz reviennent sur cette question. Voir aussi Godard, (1999) qui explique par ailleurs que l'utilisation du carbone a depuis longtemps un prix et le marché des permis ne fera que le changer.

(41) Pour lesquelles la modulation du signal-prix constitue l'instrument privilégié d'intervention, quand la régulation par les quantités en est une forme plus exceptionnelle, en particulier parce qu'elle est de mise en œuvre plus délicate.

(42) Naturellement, facteur de succès ne signifie pas garantie de succès, et on peut noter avec une ironie amère que l'innovation, initialement proposée par les Américains, n'a pas empêché leur retrait ultérieur.

À objectif de réduction totale des émissions donné, le marché d'émissions accroît l'acceptabilité politique générale. Dit autrement, à acceptabilité politique donnée, il permet d'accroître le niveau de réduction. Tel est l'essentiel de l'argumentaire favorable. Mais il doit être affiné pour tenir compte du fait que l'efficacité environnementale d'un dispositif ne se mesure pas uniquement à la réduction des émissions sur une période mais doit incorporer les effets à terme et, par exemple, les effets incitatifs pour la R&D des prix qui émergeront à un moment donné. Une objection aux marchés de permis est que le marché des permis d'émission réduit le coût marginal de l'effort et donc l'incitation à la recherche. Pour tenir compte de ce qui vient d'être dit, il faut reformuler l'objection de la façon suivante : à pouvoir de négociation politique donné, la mise en place du marché des droits, par rapport à un système pur de quotas, accroît l'effort acceptable de réduction des émissions mais réduit aussi, pour un pays acheteur, le coût marginal de l'effort et donc, sans doute, l'incitation à la recherche. Il faudrait, pour que l'argument soit correct, le compléter : le marché accroît le coût marginal pour un pays vendeur, de telle sorte que, même en tenant compte de l'identité de chacun des pays concernés, l'effet global, à supposer que le signe puisse être appréhendé, serait faible.

Les mécanismes de développement propre ou MDP, eux aussi mis en place à Kyoto, permettent, en l'absence d'engagements quantifiés des pays en développement, de leur transférer en quelque sorte gratuitement des technologies « propres », afin, peut être, de les convaincre des vertus des politiques climatiques comme leviers possibles de développement. Ces mécanismes reposent apparemment sur un principe voisin de celui qui sous-tend le marché des droits. En permettant à une entreprise d'acquitter sa facture de réduction d'émission par une action dans un pays en développement, ils réduisent le coût total d'observance, sans théoriquement affecter la performance environnementale. On ne peut cependant créditer le mécanisme des mêmes vertus que le marché de permis.

D'abord, la détermination d'une situation de référence, le fil de l'eau, devra être faite non au niveau d'un pays, mais, ce qui est évidemment beaucoup plus laborieux, au niveau de chaque projet.

Ensuite, le raisonnement précédent, à l'appui des marchés de permis, ne peut être transposé ici : un projet MDP n'est pas mis en œuvre dans un espace homogène où prévaudrait la même « taxe carbone ». Cette remarque n'a pas de conséquences particulières lorsque le projet envisagé est la plantation d'une forêt. Il en va tout différemment pour un projet industriel dans un secteur ouvert au commerce international. En l'absence de participation du pays d'accueil au marché des permis, le dispositif MDP appliqué à un tel projet crée des incitations à la délocalisation. Qualitativement, on peut même parler d'une double incitation. La première liée à l'avantage d'opérer après investissement hors de l'espace Kyoto de la taxe carbone, la seconde, dé-

coulant du rapatriement du gain carbone MDP dans le pays d'origine⁽⁴³⁾. Quantitativement, dans l'état actuel du dispositif, et compte tenu des pronostics que l'on peut faire sur le prix des permis dans l'espace Kyoto, ces incitations devraient rester modestes. Mais elles ne sont pas justifiées d'un point de vue économique, et l'application débridée de la procédure conduirait à une forme d'aide au développement sans doute économiquement et politiquement coûteuse.

Toutes ces raisons rendent inévitable un encadrement administratif lourd (le mécanisme est parfois qualifié d'« usine à gaz » par ses détracteurs) et justifient, à tout le moins, une approche très circonspecte à la mise en œuvre des MDP.

In fine, les MDP constituent un substitut bien peu satisfaisant à une participation effective des pays en développement aux contrôles des émissions. Quitte à leur demander des efforts purement symboliques, voire nuls selon des procédures d'objectifs non contraignants décrites par Philibert (2000) ou Pershing et Philibert (2001), le Protocole de Kyoto aurait aussi gagné à associer les pays du Sud. Les émissions totales de GES sur la planète n'auraient sans doute pas été considérablement modifiées par rapport aux perspectives du premier Kyoto, mais le coût global aurait été notablement abaissé alors que même certains pays du Sud auraient finalement été bénéficiaires de transferts venus du Nord. *Ce scénario*, s'il avait pu être concrétisé, aurait été d'autant plus « sans regret », qu'il aurait, bénéfice majeur, intégré les pays du Sud à l'architecture, et qu'il les aurait instruits de la mécanique de sa mise en œuvre. Comme on le verra, les choses, sur ce registre, ne sont pas nécessairement fermées, mais le retrait américain en modifie significativement la donne.

Il nous faut maintenant procéder à une première évaluation plus générale de l'architecture de Kyoto.

3.4. L'architecture de Kyoto, en courte période : un « second best » perfectible

Un certain nombre de faiblesses de l'accord de Kyoto seront détaillées ultérieurement. Nous nous contenterons de les annoncer sans dès maintenant les traiter au fond. La première, que l'effort demandé aux États-Unis était politiquement difficile à concrétiser, ne met pas en cause l'architecture elle-même, sauf à faire l'hypothèse qu'un accord portant sur les quantités en mettant l'accent sur la position très excentrée des États-Unis sur le diagramme du spectre d'émissions par tête, réduit son pouvoir de négociation.

(43) Imaginons un investissement faisant passer les émissions de carbone de C à c sur un équipement donné. Pour un groupe industriel ayant un parc diversifié, l'équation du coût carbone après investissement est la suivante : pc , s'il reste dans l'Annexe B, 0 s'il se délocalise sans MDP, $p(c - C)$ s'il se délocalise avec MDP. Noter que p , le prix du permis peut cependant baisser si le mécanisme est effectif (voir Godard, 2002).

Seconde faiblesse, la rigidité des objectifs est parfois dénoncée sur la base d'un argumentaire technique qui met l'accent sur le contexte d'externalités de stock et sur le fait que la pente de la courbe de dommage marginal est beaucoup plus faible que celle de coût marginal. On le verra, l'argument est jusqu'à un certain point recevable. Face à une incertitude sur les coûts de réduction des émissions, il conduit à recommander d'amender Kyoto, pour y introduire un mécanisme de soupape de sécurité prix. Quelles que soient les difficultés de mise en place de ce mécanisme – il faut se mettre d'accord sur les modalités de fonctionnement d'une agence de fourniture de permis, sur le prix auquel elle les fournirait et sur le mécanisme de recyclage des recettes – il conduirait à retoucher significativement l'architecture de Kyoto et non à la détruire.

Comment apprécier, compte tenu éventuellement des amendements qu'elle autorise, l'architecture mise en place à Kyoto ?

La conception d'un accord environnemental doit d'abord tenir compte des institutions concernées et des nécessités opérationnelles de l'observance. La logique institutionnelle fait des États souverains les partenaires de la négociation et les responsables de la mise en œuvre des mesures acceptées. Les nécessités de l'observance plaident pour les solutions les plus opérationnelles et la vérification des quotas nationaux en est une, même si, en l'état actuel des techniques, les choses sont inégalement faciles selon les gaz. L'affirmation à Kyoto de la responsabilité nationale de la mise en œuvre des accords et le choix correspondant de sanctions fondées sur les performances nationales constituent une réponse cohérente aux deux préoccupations évoquées.

Mais un accord doit aussi satisfaire aux exigences de l'efficacité économique et de l'acceptabilité politique, deux conditions distinctes même si elles sont liées :

- la réflexion économique traditionnelle sur la « décentralisation » efficace et, en l'occurrence, sur la décentralisation de la production d'un bien collectif suggère que les objectifs nationaux devraient être contingents à la réalisation progressive des aléas sur les coûts et les bénéfices. Ces objectifs devraient déterminer de façon duale, si des droits de propriété adéquats sont définis, des prix contingents des GES, éventuellement interprétables comme prix d'équilibre sur un marché de droits d'utilisation des GES ;

- l'acceptabilité politique devrait être favorisée par un élargissement de l'espace de la négociation afin d'accroître l'ensemble des accords mutuellement avantageux. Compléter le dispositif, comme le suggère la réflexion économique, par la mise en place de transferts internationaux compensatoires reflétant de façon « forfaitaire » (au sens de la théorie) les différences de « consentements à payer » (dommages) et de coûts de réduction, élargit les possibilités d'accord.

Notons, à nouveau, que le dispositif esquissé pourrait tout aussi bien se réinterpréter comme un système imposant un prix mondial des GES, dont

l'assiette serait l'émission nationale⁽⁴⁴⁾. Il serait accompagné de transferts compensatoires qui pourraient cette fois être, en partie ou totalement, concrétisés par des quotas nationaux déterminant des niveaux d'exemption.

On peut voir dans l'architecture de Kyoto, surtout si elle est complétée par un dispositif de prix plafond et prix plancher qui bornerait les transferts de manière non aléatoire, une *réponse approximativement satisfaisante* (dans le sens où elle atténue le risque d'inadéquation de l'objectif quantitatif sans le supprimer) aux *deux premières exigences*. Elle est plus insatisfaisante en ce qui concerne la troisième. Les transferts compensatoires autorisés, qui passent par l'attribution de quotas nationaux différents des performances attendues, sont très largement contraints par la forme des fonctions de coûts nationales et par l'exclusion en principe de quotas nationaux excédant le niveau de référence du fil de l'eau.

On peut comparer de ce point de vue l'architecture de Kyoto à une architecture concurrente parfois proposée qui reposerait sur la mise en œuvre à l'échelon national d'une taxe carbone dans le secteur de l'énergie, harmonisée à l'échelle internationale (Cooper, 2001). Faisant abstraction de la modulation très différente des charges, en termes de coût total ou de quotas implicites, que cette mesure impliquerait, on peut souligner qu'elle cumule des difficultés considérables :

- de définition de cette taxe : quel est le niveau de référence à partir duquel on applique la taxe carbone additionnelle, est-il le même en France et aux États-Unis ?
- de vérification de l'application intégrale de la taxe harmonisée, et ce d'autant plus que la vérification locale est difficile et que la capacité de l'administration fiscale est faible ;
- de négociation, car l'espace du marchandage est unidimensionnel, et pour autant que l'on puisse invoquer les schémas traditionnels, peu propice à l'obtention d'un accord.

Cette alternative à l'architecture de Kyoto ne paraît donc pas particulièrement séduisante, ni du point de vue de l'efficacité, ni du point de vue de l'acceptabilité.

Kyoto n'est pourtant pas la seule réponse. Par exemple, la proposition d'une agence internationale financée *ex ante* par des contributions volontaires des États, et rachetant aux acteurs les réductions d'émissions au-dessous d'un niveau de référence au fil de l'eau, est dans un certain sens comparable à Kyoto à l'aune des trois exigences que l'on vient de souligner (Bradford, 2002). Les formes de concrétisation opérationnelle de cette proposition (elle conduit à traquer les émissions de carbone fossile à la source

(44) Soulignons : un prix, non une taxe. Les relations entre ce prix mondial et une taxe mondiale ne sont pas nécessairement simples (que l'on pense au pétrole si un modèle de Hotelling décrit bien les forces de rappel de son prix à moyen-long terme).

et aux frontières), diffèrent beaucoup de celles envisagées dans le cadre du Protocole, mais elle peut être vue, au moins à court terme, comme « Kyoto-compatible » (pour une variété de points de vue, voir Jacoby, 2002 et Nordhaus, 2000).

Cette conclusion doit rester provisoire, tant il est vrai que notre analyse fait abstraction de la dynamique des accords, dynamique qu'il faut introduire pour porter un jugement plus complet. Nous y reviendrons dans la dernière partie du rapport.

4. Concrétiser Kyoto

4.1. Kyoto sans les États-Unis ?

Le Protocole de Kyoto initial dessinait un accord ambitieux, dans lesquels les pays dits de l'Annexe B, prenaient des engagements de limitation quantitative de leurs émissions. La non-participation des autres pays à l'effort collectif, essentiellement les pays en développement, était déjà un élément de fragilité du dispositif : les émissions des pays en développement pourraient dépasser celles des pays développés initialement parties à l'accord entre 2020 et 2030, selon le succès des politiques de réduction mises en œuvre. Cette fragilité a été considérablement accentuée par la décision de l'Administration Bush de ne pas ratifier l'accord, de telle sorte que les émissions des parties prenantes ne couvrent aujourd'hui qu'un peu plus de la moitié des émissions sur la planète. À court terme, le retrait américain a en particulier pour effet de déséquilibrer dangereusement le marché des permis négociables, en rendant l'offre excédentaire, de telle sorte que l'effectivité du protocole semble aujourd'hui suspendue à la décision de la Russie d'adopter un comportement monopolistique de restriction de son offre ! (voir sur ce point le complément à ce rapport de Criqui, Vielle et Viguier)⁽⁴⁵⁾.

Ce rapport a examiné les objections à Kyoto portant sur la chronologie de l'action l'ampleur de l'effort, la mécanique de mise en œuvre, et sur l'architecture elle-même. Ces objections ont pour l'essentiel été rejetées, même si les critiques formulées suggèrent des améliorations qui seront présentées plus loin. Faut-il cependant persévérer en l'absence des États-Unis ? Les remarques qui suivent, sans en fournir une démonstration complète, accréditent cependant l'hypothèse que la réponse est positive.

(45) Le rôle des puits de carbone est également important. Les plafonds élevés pour la gestion forestière adoptés dans l'Appendice Z pour le Canada et le Japon, correspondent de fait à un desserrement important de leur contrainte de Kyoto. Le plafond du Japon représente environ 4 % de ses émissions de 1990, 7,3 % pour le Canada. À titre de comparaison, la France se voit attribuer un plafond correspondant à 0,6 % de ses émissions de 1990.

En effet, malgré l'absence américaine, la ratification du Protocole de Kyoto verrait un grand nombre de pays, sinon l'ensemble du monde, coordonner leurs politiques et mettre en place des instruments collectifs novateurs en matière d'observance et de gestion. Kyoto expérimente un dispositif qu'il faudra sans doute développer. Et il obtient des résultats de réduction qui ne sont pas négligeables. Même si le produit n'est pas parfait, « la communauté internationale », comme le disent Aldy, Orszag et Stiglitz (2002) « a investi des ressources substantielles... étant donné la complexité de l'obtention d'un compromis... dans la construction d'un consensus autour de l'approche Kyoto », compromis qui ne peut être simplement passé par pertes et profits.

Même si le succès de l'opération incomplète et largement insatisfaisante que constitue Kyoto sans les États-Unis reste quelque peu aléatoire, agir pour la poursuite du processus est, selon toute vraisemblance, « mener le bon combat ». Sauf à y renoncer, les pays de l'Annexe B ont la responsabilité de faire vivre le Protocole, et ceci d'une manière exemplaire, c'est-à-dire en montrant l'efficacité de la coordination et en suscitant l'adhésion. Il n'est pas nécessaire d'être grand politique pour souligner l'importance en la matière de la volonté européenne. Qui plus est, la capacité de l'Union européenne à jouer le rôle de *leader* que lui confère le retrait américain risque d'affecter notablement sa crédibilité future sur la scène politique internationale. Le projet de directive en préparation qui sera évoqué plus loin reflète la conscience de cet enjeu. Crédibilité, efficacité et compétitivité sont les trois pierres d'achoppement de l'action européenne qu'il nous faut évoquer tour à tour.

Sur la *crédibilité*, contentons nous de quelques remarques. Notons d'abord que les actions spécifiques de certains États américains, les initiatives d'origine privée, suscitant sur la base du volontariat des échanges de carbone sur des marchés locaux, démontrent la réalité de la perception du risque climatique par le public. Au-delà de la bonne volonté citoyenne des entreprises, les actions évoquées reflètent des anticipations circonspectes et un souci de prendre les devants de taxes carbone dont la mise en place n'est pas exclue. Tous ces faits manifestent la crédibilité des politiques climatiques, crédibilité dont le maintien constituerait un facteur ultérieur de pression sur le gouvernement des États-Unis.

L'Europe doit par ailleurs prendre en compte le fait que le *leadership* qu'elle doit viser doit être soutenu par une capacité d'initiative intellectuelle plus grande qu'elle n'est aujourd'hui. On peut le regretter, mais en dépit de contributions importantes d'économistes européens, et, par exemple, la bonne qualité de la réflexion économique de l'administration dans ce pays, le débat public sur le sujet a souvent été dominé par les grands départements des universités américaines et les *think-tank* environnementaux d'outre-Atlantique, comme Resources For the Future. L'Europe est ici, comme en d'autres domaines, confrontée à la nécessité de mettre en place un dispositif d'encouragement qui fasse émerger une recherche et des études comparables, par leur volume et leur qualité, à celles existant aux États-Unis.

À l'intérieur de l'Europe, comme à l'extérieur, la viabilité politique de Kyoto repose aussi sur *la vitalité des sentiments « écologistes »*. Si les mouvements écologistes semblent aujourd'hui hésiter sur la hiérarchisation des priorités qu'impose la multiplication des fronts de la défense de l'environnement, leur mobilisation constitue une condition nécessaire au succès des politiques climatiques. La nécessité de remettre à *plat le dossier nucléaire*, pour tenir compte des aspects de sécurité (dissémination de produits fissibles) de l'effet de serre, constitue à cet égard une difficulté qu'il ne faut pas dissimuler.

Les deux autres volets de notre triptyque, efficacité et compétitivité participent aussi de la crédibilité que nous venons d'évoquer.

L'*efficacité* d'abord. Il faut, d'une part, atténuer autant que faire se peut, les coûts économiques. L'ampleur des coûts que la politique environnementale va susciter va déterminer le degré de son acceptabilité politique. Le « double dividende », excellent argument de vente, n'est guère crédible, même si on s'en tient à la formulation prudente évoquée dans la première partie, dès lors que l'on va au-delà d'actions très limitées. À l'inverse, on l'a déjà dit, certaines estimations alarmistes des coûts, fondées sur une utilisation *a priori* inappropriée de modèles macroéconomiques de court terme sont propagées par des opposants résolus à Kyoto. La vérité est intermédiaire : la mise en œuvre de la première phase de Kyoto aura un coût, plus faible qu'il n'avait été initialement envisagé, particulièrement sous l'hypothèse maintenant plausible d'un prix de permis bas. Mais la viabilité politique requiert de le contenir autant que possible. L'exposé des principes et des difficultés de leur *mise en œuvre dans une bonne politique de lutte contre l'effet de serre*, principes et difficultés présentés plus loin, souligne cet enjeu.

La *compétitivité* sera une dimension particulièrement importante de l'efficacité et qui mérite un commentaire approfondi à ce stade. L'introduction de mécanismes de flexibilité dans le Protocole de Kyoto créait ce que l'on pourrait appeler un « espace de tarification carbone » limité aux pays de l'Annexe B. Les MDP, quel que soit le jugement que l'on porte sur leur opportunité politique et leur efficacité, ne constituent aucunement une manière de compléter « l'espace de tarification carbone ». Cet espace s'est réduit considérablement avec le retrait américain. Le risque d'une distorsion de la concurrence internationale au détriment des pays signataires de Kyoto existe, et il faut en mesurer exactement la réalité. *Perte de compétitivité de certains secteurs et délocalisations* accentueraient ce coût aux yeux de l'opinion publique, éventuellement de façon spectaculaire, et pourraient en compromettre la viabilité politique.

Crédibilité, efficacité, compétitivité, tels sont les grands axes autour desquels doit s'organiser la réflexion sur la concrétisation de Kyoto, en France et en Europe. Il faut ajouter que l'action européenne n'a de sens que si elle se situe dans la perspective de relance ultérieure de l'action internationale.

L'examen de cette relance, mais aussi des améliorations à apporter à Kyoto et ses prolongements, est l'objet de l'analyse de la dernière partie du rapport.

Auparavant, il faut évoquer la question suivante : comment en France, au niveau de l'Union européenne, ou ailleurs, mettre en place une politique économique qui permette de satisfaire au moindre coût les objectifs de réduction des émissions assignés par le traité ? Vaste question, dont le traitement complet dépasse largement le mandat de ce rapport mais dont on peut cependant esquisser une première analyse.

4.2. Les options de la politique climatique : un tour d'horizon

L'analyse économique souligne la forte coordination nécessaire à l'efficacité (de premier rang) de la politique environnementale : chaque agent source de pollution doit faire face, pour que son calcul économique décentralisé internalise convenablement l'objectif environnemental, au coût marginal social de sa pollution marginale. Ce coût marginal doit être répercuté de proche en proche dans l'ensemble du système de prix, de telle sorte qu'il induise les agents à utiliser de manière économe des biens dont la production crée directement ou indirectement de la pollution. Naturellement, cet idéal définit un principe pollueur-payeur marginal, que peut concrétiser toute une gamme d'instruments, aussi bien une taxe, un quota, une taxe avec exemption, une subvention, ou encore un marché de permis d'émissions négociables dont la conception requiert éventuellement l'attribution (gratuite ou non) de quotas d'autorisations initiales. Ainsi la prescription forte d'unicité du signal-prix carbone va de pair avec une certaine indétermination de la forme précise de la politique optimale, puisque toutes les solutions peuvent affecter également le coût marginal des entreprises⁽⁴⁶⁾.

Naturellement, taxes, marchés de permis, subventions ont été et sont utilisés par les pouvoirs publics des différents pays (voir le complément de Cros et Gastaldo). La taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) est une des voies empruntées par la France malgré ses déboires dans le domaine de l'énergie (voir l'encadré 5).

Les grands principes ainsi rappelés sont loin de fournir un carcan à l'action de politique économique. À vrai dire, toutes les formes d'intervention qu'ils suggèrent laissent ouvertes l'intensité de la ponction financière qui leur est associée : ainsi, une éventuelle nouvelle taxe qui pèse sur les émissions de CO₂ peut faire l'objet d'un niveau d'exemption qui ne la fait jouer

(46) Cette indétermination reflète l'hypothèse que le coût marginal est un résumé exhaustif des coûts à prendre en compte pour la tarification. Pour une discussion serrée du mérite des différents instruments selon les contextes spatiaux et temporels, voir Helioui (1999).

5. Taxe générale sur les activités polluantes (TGAP)

La TGAP a été mise en place en 1999 à partir de taxes existantes dans le secteur de l'air et des déchets, et étendue en 2000 à trois nouveaux secteurs dans le domaine de l'eau (phosphates, phytosanitaires, granulats). Sa mise en place traduisait l'engagement du gouvernement en faveur d'instruments décentralisés et efficaces de responsabilisation des comportements des agents économiques à la rareté des ressources environnementales. Ceux-ci étaient jugés particulièrement appropriés dans les cas des dommages créés par des pollutions diffuses. Face à de nouvelles questions de même nature telles que l'effet de serre ou l'ozone, il apparaissait donc souhaitable de poursuivre le développement de l'instrument fiscal aux sources d'émission de GES.

Cette extension de la TGAP, dont le principe avait été annoncé en mai 1999 était conforme notamment aux orientations fixées par le Programme national de lutte contre le changement climatique, qui constatait la nécessité de recourir à l'ensemble de la panoplie des instruments des politiques environnementales et en particulier aux instruments économiques. Elle avait pour objectif de renforcer la lutte contre l'effet de serre et de mieux maîtriser la consommation de l'énergie. Elle s'inscrivait dans le cadre de nos engagements internationaux et représentait une mesure importante du volet du Programme national de lutte contre le changement climatique consacré aux entreprises.

Instrument d'incitation à la prévention, la TGAP devait être élargie aux consommations intermédiaires d'énergie. L'opération était conçue à prélèvements constants, puisque les ressources engendrées devaient contribuer à la réduction des prélèvements obligatoires sur le travail.

L'élaboration du dispositif avait fait l'objet d'une concertation approfondie avec l'ensemble des acteurs concernés et notamment des industriels. Les modalités d'application du dispositif devaient permettre de concilier l'objectif environnemental et le maintien de la compétitivité dans le cadre international, comme dans les autres pays européens qui avaient mis en place une écotaxe énergie. Le couplage entre la taxation et le recours à des engagements sanctionnables devait permettre ainsi de parvenir à l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre y compris dans le cas des entreprises fortement consommatrices.

La recette attendue de cette extension de la TGAP aux consommations d'énergie des entreprises était estimée à environ 580 millions d'euros en 2001, soit 0,09 % de la valeur ajoutée brute des entreprises. L'efficacité économique et environnementale du dispositif proposé, si l'on en juge par la valeur de la taxe carbone marginale implicite (environ 40 euros par tonne de carbone), devait être forte. La TGAP énergie a été invalidée par le Conseil constitutionnel qui a considéré que les taxations qui en résulteraient seraient contraires au principe d'égalité devant l'impôt.

qu'à partir d'un certain niveau, par exemple⁽⁴⁷⁾. Ce seuil n'est cependant pas nécessairement le niveau atteint antérieurement. De même, sur un marché, les autorisations administratives peuvent être attribuées gratuitement pour tout ou partie des émissions antérieures à l'ouverture du marché (le complément étant soit payant soit vendu aux enchères). Ce choix, qu'il concerne la taxe, le marché de droits ou la subvention, renvoie à ce que l'on appelle parfois droits historiques ou du « grand-père », pour se référer au « *grandfathering* » anglo-saxon. La prise en compte des droits historiques permet une meilleure maîtrise des transferts que provoque la modification du système de prix. Ces transferts peuvent être substantiels, particulièrement si cette modification des prix est non anticipée. Des transferts qui touchent les entreprises et les citoyens améliorent l'acceptabilité des politiques, et donc leurs chances de succès.

Une plus grande acceptabilité par les entreprises est censée faciliter le passage d'accords volontaires, auxquels on peut trouver des aspects pédagogiques utiles, mais qui ont peu de chances d'aller au-delà de l'évolution au fil de l'eau et d'être à la hauteur des enjeux.

L'acceptabilité par les ménages peut être aussi améliorée, comme certaines suggestions du rapport 2001 au Conseil national des transports le montrent. Une suggestion est celle d'un système (apparemment viable) de cartes à puce, donnant à chaque automobiliste un crédit gratuit de carbone fossile mais permettant la facturation, au-delà de la limite autorisée, d'une taxe carbone. Il est clair que pour l'ordre de grandeur de la valeur de la taxe carbone envisagée dans la première période Kyoto (qui correspond à un surcoût de quelques centimes d'euro par litre d'essence), l'opération a peu de sens. Mais elle pourrait considérablement améliorer l'acceptabilité politique d'un effort marginal supérieur.

Discutons plus avant la question, en développant l'argumentaire favorable à la reconnaissance des droits historiques.

Une première évidence : les quotas nationaux issus de l'accord de Kyoto sont fondamentalement marqués par la logique des droits historiques, puisqu'ils ne modifient pas ou très peu la hiérarchie internationale des émissions de GES par tête. Le problème de l'antériorité des droits, même s'il ne se pose pas dans les mêmes termes à l'intérieur des nations qu'entre les nations, fait écho à des questions similaires. De même que l'on ne peut « blâmer » les États-Unis d'avoir choisi un développement engendrant de fortes émissions de gaz carbonique, avant que l'on en connaisse les inconvénients, de même l'on ne peut « reprocher » à un producteur d'électricité d'avoir autrefois développé de façon prioritaire les centrales à charbon. Il

(47) Une franchise sur les premières unités de pollution correspondrait à une distribution initiale gratuite d'une partie des permis. Cependant, une taxe et de larges exemptions ne conservent pas tous les avantages d'un système de permis avec allocation gratuite : il n'y a pas d'incitation à réduire au-delà du seuil d'exemption. On peut aussi coupler le dispositif avec une subvention.

est possible de dépouiller l'argument d'une connotation morale qu'on peut juger inappropriée en la matière. D'abord, dans ce domaine comme dans d'autres, les droits historiques ou droits acquis relèvent souvent d'une sorte de « contrat implicite », sans fondement juridique, mais qui a des effets distributifs que l'on ne peut rayer d'un trait de plume. De plus, il se peut, que toutes choses égales par ailleurs, le retrait du droit ait non seulement des effets distributifs non justifiés ou non désirés, mais aussi des *effets néfastes du point de vue de l'efficacité économique*⁽⁴⁸⁾. Dans les conditions réelles du fonctionnement imparfait des marchés financiers, la suppression rapide des droits historiques affecterait les performances économiques des entreprises, dans des proportions qu'exacerberait la compétition internationale. C'est du moins l'avis qui prévaut généralement, même si trop peu d'études sont consacrées à ce sujet important. C'est sans doute à cette opinion qu'il faut attribuer le choix d'exemption du volet énergétique de la TGAP en France ou bien l'option, dans le cadre de la Directive de l'Union européenne en préparation, de distribution gratuite de permis d'émissions, ou encore le choix britannique d'un système basé sur le volontariat, mais en fait fortement subventionné.

Les critiques du système soulignent que l'allocation gratuite de droits à laquelle conduit la reconnaissance des droits historiques, revient à moyen terme à donner une rente injustifiée aux entreprises concernées et à bloquer l'accession aux marchés de nouveaux entrants. Ils notent également, avec raison, qu'une allocation substantielle d'autorisations d'émissions négociables gratuites au secteur de production de l'électricité baissera son coût moyen et non son coût marginal et n'allégera qu'imparfaitement le coût de la taxation carbone pour les clients en aval.

La question ne peut être tranchée de façon uniforme et par une prescription simple à validité générale. Il faut reconnaître que la question des droits historiques se pose différemment, d'une part, à court et à moyen termes et, d'autre part, selon les modalités de la concurrence dans les secteurs envisagés. À moyen terme, où les prix reflètent, sous les hypothèses liées de concurrence parfaite et de rendements constants, à la fois les coûts moyens et les coûts marginaux, l'introduction d'une taxe carbone équivaut à une modification du système de prix à laquelle l'entreprise s'adapte mais qui ne la pénalise en aucun sens clair : la rente associée à une allocation gratuite des droits est, à ce terme et sous les hypothèses faites, injustifiée. À court terme, la substitution d'une taxe carbone à une autorisation administrative éventuellement contraignante mais gratuite, affecte normalement le profit de l'entreprise. Ceci est particulièrement vrai si la mesure n'a pas été suffi-

(48) Par exemple, même dans le monde simplifié de la théorie normative de premier rang (« *first best* »), le passage d'une situation d'allocation gratuite de droits d'émissions négociables sur un marché convenablement organisé à une situation de taxation, qui n'aurait aucun effet sur l'incitation marginale de l'entreprise, peut, si la production requiert un coût fixe, conduire à la fermeture de l'entreprise, même si celle-ci n'était pas socialement souhaitable.

samment anticipée, alors même qu'elle accroît vraisemblablement les besoins de financement pour des investissements plus adaptés, et donc les besoins d'autofinancement, dans un marché financier imparfait. Des allocations gratuites de permis en présence d'un marché de droits, ou des exemptions fiscales, voire des subventions dans d'autres contextes, sont alors au moins temporairement justifiables. La forme de la concurrence, et en l'occurrence ses aspects internationaux, joue aussi un rôle dans l'évaluation de l'opportunité d'une certaine gratuité des droits. Selon qu'elle conduit à des prix qui s'égalisent aux coûts marginaux (ou qui les reflètent), ou par exemple qui répondent à des forces de rappel vers les coûts moyens, les effets d'une éventuelle rente de gratuité devront être appréciés de façon très différente. Des droits qui seraient gratuitement accordés à une entreprise qui est en concurrence sur le marché international avec des entreprises non soumises à la législation carbone lui permettront, dans les cas de compétitivité limite, simplement de survivre.

En conclusion, le « *grandfathering* », ou la reconnaissance de droits historiques et l'allocation de permis initiaux en fonction des émissions récentes peut constituer une réponse à un vrai problème, celui d'une transition douce dans la mise en place de politiques impliquant des modifications substantielles des prix et des flux financiers. Trois points mis en exergue par la discussion peuvent être rappelés.

La reconnaissance des droits historiques ne constitue qu'une solution partielle aux problèmes de compétitivité et d'acceptabilité, puisqu'elle ne protège qu'imparfaitement les secteurs aval des modifications des coûts marginaux des secteurs amont (par exemple, l'industrie métallurgique vis-à-vis du secteur électrique).

Si elle est plaidable, la reconnaissance des droits historiques n'implique pas la reconduction à l'identique de la situation initiale. Ainsi, la détermination du pourcentage de reconduction des droits antérieurs qui, par exemple, laisserait inchangé ou affecterait d'un certain pourcentage le profit à court-moyen terme de l'entreprise, dépend de toute une série de paramètres et en particulier de la forme de la concurrence existant dans le secteur considéré. C'est donc largement une question empirique, qui doit faire l'objet d'une étude au cas par cas. De même, le choix de l'exemption, ou de la taxe contre la subvention, ne se pose pas de la même façon pour des grandes entreprises ou pour des petites, beaucoup plus contraintes dans leur appel au financement extérieur.

De plus, les raisons qui conduisent à reconnaître à un moment donné les droits historiques ne plaident pas pour leur perpétuation indéfinie. *Avec le temps (et sans doute assez rapidement), la proportion des permis mis aux enchères doit s'accroître, et/ou le niveau d'exemption doit décroître, pour rendre justice au caractère collectif du droit de propriété qu'ils reflètent et pour éviter les barrières à l'entrée, qu'ils risquent peu à peu d'ériger.* Le passage progressif à une fiscalité carbone impliquant des rentrées fiscales significatives fera alors entrer la réforme fiscale en bonne place sur l'agenda politique.

Troisième dimension de la décision publique pour la mise en œuvre des politiques climatiques : le point d'application des mesures. Pour garder à la discussion une certaine simplicité, concentrons-nous, en nous limitant aux émissions provenant du carbone fossile, sur les deux grands types polaires de solutions : *solution amont* et des *solutions aval*.

La solution « amont » conduirait à taxer l'ensemble des producteurs et des importateurs de carburants fossiles ou à répartir des droits entre eux. La mesure revient à pénaliser l'usage du carbone, en quelque sorte, à la source. De cette façon le surcoût serait répercuté sur l'ensemble des utilisateurs aval (producteurs d'énergie, automobilistes, consommateurs de fioul domestique) qui, et ceci est approximativement indépendant du mode d'allocation en amont, supporteraient le coût additionnel.

Les solutions traquant les émissions à « l'aval » ont apparemment beaucoup d'inconvénients par rapport à la précédente. Elles requièrent une comptabilité au niveau des unités émettrices. Cette comptabilité n'est pas absolument requise avec des solutions amont, en tout cas pour le carbone fossile (le problème est sans doute différent pour les autres GES que le CO₂)⁽⁴⁹⁾. Des solutions « aval » induisent, compte tenu de la non-uniformité du signal-prix, des réponses moins efficaces du système économique dans son ensemble, même si des corrections fiscales appropriées peuvent limiter cette inefficacité. C'est pourtant une politique de contrôle par l'aval, venant en sus de politiques nationales spécifiques, que tente d'organiser aujourd'hui une Directive de l'Union européenne, qui serait mise en œuvre (première période) entre 2005 et 2007. Cette directive met en place un marché européen de droits d'émission négociables pour un ensemble limité d'industries (production d'énergie pour les installations de puissance supérieure à 20 MW, production et transformation de métaux ferreux, industrie minière, fabrication de pâte à papier...). Le projet de TGAP sur l'énergie en France, invalidé par le Conseil constitutionnel reposait lui aussi sur une démarche « aval ».

Quatrième dimension : celle des mesures d'accompagnement. L'adoption de solutions « aval » avec points d'application sectoriels crée une hétérogénéité du signal-prix dans l'économie. Les effets pervers de cette situation peuvent être atténués par des mesures d'accompagnement. Par exemple, dans le cas où l'action sur le système de prix reposerait sur un nombre de points d'entrée limités, ou bien lorsque l'on peut accroître le coût marginal de la production des biens polluants dans un seul secteur, l'effet systémique des mesures doit être contrôlé par des actions correctrices adéquates sur le système de prix⁽⁵⁰⁾.

(49) En ce qui concerne les autres GES, en particulier le méthane, la politique amont évoquée ci-dessus ne semble pas avoir d'équivalent. Tout ce qui vient d'être dit concernant les droits historiques est évidemment transposable, même si cette transposition requiert dans chaque cas une réflexion spécifique.

(50) Le fait par exemple, que les biens taxés soient substitués ou compléments d'autres biens polluants non taxés, justifie l'abaissement ou au contraire l'accroissement de leurs prix à la consommation. Voir à ce sujet Bernard, Fischer et Vielle (2001).

4.3. Les défis de la politique climatique en France et en Europe

Le paragraphe précédent souligne les différentes dimensions d'une politique destinée à concrétiser les objectifs de réduction des émissions de GES. Le type d'intervention (taxe, subvention, marché de permis d'émission négociables), l'ampleur des flux financiers entre l'État et les agents économiques ou entre agents économiques, c'est-à-dire l'étendue de la reconnaissance d'un droit d'antériorité, les points d'application des mesures (aval, amont, etc. et leur déploiement sectoriel, production d'énergie, transports, habitat), enfin les mesures d'accompagnement sont des variables résultant d'un choix politique.

Naturellement, les choix dans ces différentes dimensions ne sont pas indépendants. La subvention est bien sûr incompatible avec la négation des droits historiques. Une solution de type aval est plus compatible avec la reconnaissance de droits historiques qu'une solution amont. L'atténuation progressive des droits historiques est facilitée par l'approche aval pour le dioxyde de carbone.

L'articulation des choix dans chacune de ces dimensions doit viser à minimiser les coûts économiques et sociaux de l'adaptation. Dans le cas de la France et de l'Europe, l'un de ces coûts est lié aux pertes de compétitivité des industries « exposées » et intensives en carbone. Le problème de l'inégale participation à l'effort de réduction des émissions de GES dans le cadre de Kyoto est rendu plus aigu par le retrait américain de l'accord. L'équation est aussi compliquée pour les pays européens, puisque l'engagement pris globalement doit être décliné et différencié au niveau de chacun des États, sans trop affecter les conditions de concurrence au sein de l'Union. La conciliation de la nécessaire coordination, pour ne pas fragmenter le marché européen par des législations carbone divergentes, et de la nécessaire subsidiarité, chaque pays étant finalement responsable de ses émissions, pose des questions difficiles.

Il n'est évidemment pas dans l'objet de ce rapport de discuter l'ensemble de la politique de l'effet de serre au niveau français ou européen pour les prochaines années. À vrai dire, cette question est un des grands sujets de la politique économique dans cette décennie. Mais pour l'aborder, il faut nourrir par beaucoup d'informations quantitatives les considérations qualitatives faites ici⁽⁵¹⁾. La question pourrait justifier la mobilisation à l'échelon européen d'une « *task force* » jouant un rôle de stimulation et mise en cohérence des études⁽⁵²⁾. Celle-ci devrait être aussi chargée de définir et comparer une série de scénarios fondés sur des combinaisons différentes mais cohérentes des options envisagées plus haut.

(51) Le rapport du Commissariat général du Plan rédigé par Pierre-Noël Giraud constitue un premier pas dans cette direction (Giraud, 2002). Il faut aussi développer une comptabilité carbone mettant en évidence à un niveau suffisamment détaillé les contenus totaux (directs et indirects) en carbone des biens finaux.

(52) À l'image de la Mission interministerielle sur l'effet de serre en France.

En ce qui concerne la coordination européenne, il faut noter que la Directive européenne en préparation opère une sorte de préemption sur l'ensemble de l'architecture ultérieure. Il est difficile à un observateur d'apprécier l'ensemble de la réflexion qui a précédé l'option d'intervention sectorielle et le choix de la solution de marchés de quotas qu'elle propose de mettre en œuvre. Les sceptiques pourraient dire que ce choix reflète le prosélytisme d'une conversion européenne de fraîche date à une foi dont les propagateurs (américains) s'éloignent et qui surestime les mérites relatifs des marchés vis-à-vis de l'intervention fiscale. Mais peut-être ont-ils tort ? À cet égard, les tribulations du projet français de TGAP énergie, dont la maladresse dans le calcul des exemptions s'est révélée un défaut cardinal, a pu jouer un rôle dissuasif vis-à-vis d'instruments similaires. Sauf à remettre en cause le projet de directive, une démarche qui serait sans doute malvenue et tout à fait hors du sujet de ce rapport, il faut noter que :

- la mise en œuvre du marché, toute question d'allocation nationale des droits mise à part, suscitera des difficultés. L'expérience aura certes un coût, mais aussi une valeur pour l'avenir ;

- la prise en compte des droits historiques, et en conséquence le fait que la taxation carbone ne jouera qu'à la marge, diminuera les oppositions à la taxation différentielle (en fonction des contenus carbone) de l'électricité produite par les diverses filières, une solution que la critique reprochait à la TGAP d'écarter ;

- le rattachement de la Directive, s'il est confirmé, à une gratuité complète des droits, au moins pendant la première période, est discutable. Il ne résout qu'imparfaitement le problème de compétitivité dans le secteur aval, par exemple celui de l'industrie métallurgique ;

- en permettant d'afficher un prix de marché du carbone le système aura d'incontestables vertus. Paradoxalement, une de ses vertus sera de faire apparaître ses propres limites dues à son champ restreint à la fois dans l'espace productif et dans l'ensemble des gaz. La prise de conscience des inconvénients d'une action limitée dans le champ des acteurs économiques, devrait susciter des actions complémentaires, à la fois pour le dioxyde de carbone et pour les autres gaz.

Malgré tout, avec la Directive qui fera porter l'effort sur un sous-ensemble d'émetteurs, l'hétérogénéité des coûts marginaux de réduction des émissions restera assez grande dans l'économie à moyen terme. Elle peut être justifiée par des raisons techniques, politiques ou économiques : il importe de renforcer le signal-prix là où il peut stimuler la recherche de technologies plus performantes, ou déterminer l'adoption précoce de techniques dont l'amélioration passe par l'apprentissage. Reste que l'unicité du signal-prix doit demeurer la référence et la charge de la preuve rester à ceux qui s'en écartent.

4.4. La compétitivité de l'espace Kyoto

Il importe de revenir plus longuement sur le problème de compétitivité de l'espace Kyoto. En créant une taxe carbone dont l'assiette géographique est plus limitée encore par le retrait américain (environ un quart des 200 nations, dont le PIB représentait 42 % du PIB mondial en 1990, contre 62 % avec les États-Unis), le Protocole crée des distorsions de concurrence et des incitations à la délocalisation qui accroissent potentiellement son coût pour les pays signataires. Ce constat justifie une réflexion sur la question de *mécanismes compensatoires* rétablissant des conditions de concurrence plus satisfaisantes entre ceux qui souscrivent à Kyoto et ceux qui ne s'y associent pas. Ces mécanismes pourraient prendre la forme de la taxation des biens importés venant hors de la zone Kyoto au prorata de leur contenu en GES et de la détaxation à l'exportation des biens taxés à l'intérieur de l'Annexe B. L'instruction d'une demande en ce sens appellerait sans doute à un retour sur les principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) et, en particulier, sur les clauses concernant les procédés et méthodes de production qui prévalent depuis le GATT de 1947. Faut-il aller en ce sens ?

Quel que soit le sentiment que l'on ait *a priori* sur l'opportunité d'une démarche mettant en cause la séparation commerce/environnement, il est bien évident qu'un rapport sur les enjeux économiques de l'effet de serre ne peut l'éluider. On organisera la discussion de la façon suivante : on discutera de façon préalable l'intensité des distorsions de concurrence entre l'espace Kyoto et le reste du monde ; on examinera ensuite la légitimité intellectuelle d'une liaison commerce-environnement, on s'interrogera finalement sur l'opportunité d'une action auprès de l'OMC.

Les effets de diverses législations environnementales en place sur la compétitivité des industries qui y sont soumises n'est pas un sujet nouveau. L'examen comparatif d'un large échantillon des études existantes permet de mettre en évidence certains effets de délocalisations, mais faibles et jugés inégalement plausibles selon les études (Mulatu et *al.*, 2002). L'existence du Protocole de Kyoto pose cependant des problèmes qui, par rapport à ceux d'hier, sont d'une autre ampleur. Quel effet une taxe carbone aura-t-elle sur la compétitivité des industries de l'espace Kyoto ? La réponse est loin d'être claire aujourd'hui. D'abord, parce que les études sur ce sujet ne sont pas légion. Ensuite, parce que la réponse dépend, à la fois du niveau de la « taxe carbone » et de ses modalités de mise en œuvre. Les arguments de compétitivité sont souvent à l'arrière-plan des propositions donnant une large place aux « droits historiques » : ainsi l'argumentaire TGAP, en soulignant que les exemptions limitaient l'accroissement du coût moyen dans la sidérurgie, suggérait qu'elles n'affectaient pas sa compétitivité. Retenons simplement ici, en extrapolant sur les chiffres TGAP, qu'une taxe carbone accroîtrait le coût moyen dans la sidérurgie en France de 5 % environ pour chaque « tranche » de taxe de 80 euros

par tonne⁽⁵³⁾. Ce calcul devrait être relayé par beaucoup d'autres, mais il suggère la conclusion grossière suivante : la compétitivité de l'espace Kyoto serait peu affectée pour des niveaux d'effort réduits (taxe carbone de quelques dizaines d'euros) mais serait en tout état de cause sérieusement affectée, dans certains secteurs, pour des efforts de réduction notables (200 euros par tonne). Ces conclusions provisoires obtiennent à éclairer la question de l'opportunité de mise en place de protections compensatoires. Elles invitent à réexaminer la légitimité intellectuelle de la séparation traditionnelle entre commerce et environnement.

La conception intellectuelle qui sous-tend les accords du GATT de 1947, aujourd'hui prolongés dans le cadre de l'OMC, doit être rappelée. L'échange y est vu comme une procédure mutuellement avantageuse et les décisions internes de la production ne créent pas, pour reprendre un vocabulaire ancien, d'« externalités pécuniaires ». La logique intellectuelle de cette position, souvent contestée depuis quelque temps, ne serait-ce que par ceux qui suggèrent des normes communes dans les conditions de travail, est enracinée dans le « *mainstream* » de la réflexion économique sur le commerce international. Dans cette optique, la présence de bien collectif local, ou de biens environnementaux locaux dont les aménités concernent essentiellement tout ou partie d'un pays, n'affecte pas les conclusions. Et toujours dans la même logique, les atteintes à la souveraineté interne des États, comme celles auxquelles conduiraient des normes communes de conditions de travail, par exemple, sont difficilement recevables, sauf à arguer d'une interdépendance des préférences dont la réalité objective est difficile à cerner. *Les choses sont toutes différentes pour un bien collectif global*, comme l'est la qualité du climat : tout ou partie de l'avantage mutuel tiré des avantages de l'échange peut être annulé par le comportement de « passager clandestin (*free rider*) », d'une partie des participants à l'échange, vis-à-vis du bien collectif global. Par exemple, si les industries polluantes de l'Union européenne, celles qui sont par définition touchées par la taxe carbone, perdent des parts de marché au profit d'industries plus polluantes, hors de l'espace Kyoto, non seulement le bien-être européen en sera affecté (dans le cas d'un bien collectif local, ce coût serait la contrepartie d'une préférence interne à l'Europe que les règles du commerce, selon la doctrine traditionnelle, n'ont pas à internaliser), mais la pollution mondiale augmentera éventuellement. Ceci compromettrait la réalisation de l'objectif spécifiquement recherché au niveau européen (la diminution de la progression de l'effet de serre), et pourrait-on ajouter, mais ce n'est pas nécessaire à l'argument, diminuerait le bien-être mondial.

(53) Calcul effectué à partir du tableau page 23 de l'étude d'impact de l'extension de la TGAP aux consommations intermédiaires, ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement.

Nous sommes à même, après ce bref rappel théorique, de discuter l'opportunité d'une action auprès de l'OMC visant à évoquer les moyens du rétablissement d'une concurrence équitable entre l'espace Kyoto et le reste du monde. Une rapide analyse suggère que cette action n'est sans doute pas impérative à court terme, puisqu'il reste beaucoup de flou sur l'action qui sera menée et sur ses effets compétitivité. Mais la réflexion indique sans ambiguïté que cette action serait légitime. Une demande de traitement particulier pour les pays signataires de Kyoto serait plaidable, sans contrevenir à l'esprit des accords qui régissent aujourd'hui le commerce. Que les industries des pays signataires de Kyoto perdent des parts de marché n'est pas, on l'a déjà dit, un argument recevable en soi dans le cadre des accords commerciaux multilatéraux. Mais la perte des parts de marché consécutive à l'absence de protection, en accroissant la concentration atmosphérique des GES, crée une externalité négative pour le pays et cet argument est lui éventuellement recevable au titre de l'article 20 du GATT⁽⁵⁴⁾. Qu'enfin, l'externalité s'applique à l'ensemble du monde, que le « bien-être social mondial » autant que celui des pays de l'Annexe B soit en cause renforce le plaidoyer (Neary, 1999 et Rieu, 2002).

Faut-il cependant faire une telle démarche ? Elle aurait à la fois des avantages et des inconvénients, mais les inconvénients l'emportent sans doute à court terme.

Des avantages d'abord. En posant assez rapidement le problème à la jurisprudence de l'Organe de règlement des différends de l'OMC, et en demandant un amendement des statuts de l'OMC, les pays signataires de Kyoto signaleraient la qualité de leur engagement et en accroîtraient la crédibilité. Ils pourraient ainsi adapter l'argumentaire suggéré dans le paragraphe précédent et demander des clauses d'exemption des règles d'accès au marché pour les exportations de pays refusant une discipline en matière de biens collectifs globaux, aux bénéfices avérés pour d'autres pays.

Des inconvénients. Une telle demande est aujourd'hui prématurée, puisqu'elle tendrait inutilement les relations avec les pays en développement (PED), à un moment où l'avenir du protocole requiert que tout soit fait pour l'élargir d'une manière flexible et avantageuse pour eux. Il est important de souligner à cet égard que, sous l'hypothèse de l'élargissement, dont on plaidera la cause plus longuement ci-dessous, le conflit potentiel sur cette question avec les PED, incorporés dans un espace Kyoto, disparaîtrait totalement.

(54) Le préambule de l'accord instituant l'OMC souligne explicitement que le commerce doit être compatible avec le souci de protéger et préserver l'environnement.

5. Kyoto : relance, améliorations et prolongements

Comment relancer Kyoto, comment l'améliorer, comment le prolonger ? Nous examinerons successivement ces trois questions.

5.1. Relancer Kyoto

On a déjà souligné que les mesures de réduction des émissions et la stimulation du progrès technique sont des compléments plutôt que des substituts. Cette analyse a un corollaire : tout plaide pour un partage d'un effort économique et financier donné, selon des clés à déterminer, entre R&D et réduction des émissions⁽⁵⁵⁾. En d'autres termes, *étant donné l'objectif d'effort collectif assigné à Kyoto, sa répartition entre réduction et stimulation de la recherche, trop biaisée en faveur de la première, est insatisfaisante*. La carence du dispositif Kyoto en la matière étant patente, il faut d'ores et déjà essayer d'y remédier. Pour cela, les pays ayant ratifié Kyoto, ou au moins une partie d'entre eux, devraient s'engager dans des actions conjointes de recherche collective sur les technologies sans carbone⁽⁵⁶⁾. Une initiative européenne en ce sens, proposant une coopération selon des modalités de partage des coûts et des résultats à déterminer, serait particulièrement bienvenue.

Autre problème urgent, celui des pays en développement. Répétons les convictions affirmées précédemment. En premier lieu, la non-participation des pays du Sud, en limitant l'aire de la « taxe carbone », accroît les coûts des pays du Nord, d'abord parce qu'elle augmente le niveau de la taxe permettant l'atteinte d'un objectif quantitatif donné, ensuite parce qu'elle accroît l'incitation à la délocalisation. Les mécanismes MDP, dont le mérite est de maintenir le Sud dans la négociation, sont de ce point de vue peu satisfaisants. En second lieu, les pays du Sud *ont raison de refuser un effort coûteux à ce stade*. Demander à l'Inde de payer pour réduire ses émissions par tête, très inférieures à celles des États-Unis, est proprement choquant.

Pourtant des solutions mutuellement avantageuses existent : la participation des pays du Sud, dans des conditions attrayantes pour eux, réduit aussi considérablement le coût de la réduction pour les pays du Nord. Toutes les analyses convergent sur ce point. Par exemple, la simulation faite au moyen du modèle GEMINI E3⁽⁵⁷⁾, sur un Kyoto élargi à l'ensemble des pays du monde et où les droits initiaux sur le marché des permis sont répartis au prorata de la population, illustre, de façon spéculative certes mais spectaculaire, une conciliation à moyen terme de *l'équité et de l'efficacité*.

(55) Idéalement, une part de l'effort devrait être consacrée à l'adaptation, mais l'action sur ce volet est aujourd'hui généralement prématurée.

(56) Ces actions passeraient éventuellement par le secteur privé mais pourraient redonner un sens à la création d'institutions collectives ambitieuses (Commissariat international à la recherche sur les énergies sans carbone ?), dont le caractère trop étroit de l'espace national a diminué l'attractivité.

(57) Voir le complément de Criqui, Vielle et Viguié à ce rapport, ainsi que Bernard (2001) et Criqui et al. (1999).

Sur un marché mondial des permis avec droits proportionnels à la population, le prix des permis serait par exemple divisé par deux ou trois en 2040, par rapport à sa valeur sous une hypothèse Kyoto prolongé sans participation des PED ; le coût pour l'Annexe B lui serait divisé par trois tandis que les transferts au reste du monde seraient proches de 0,5 point de leur PIB.

Même si, à long terme, comme on le verra plus loin, la situation est moins simple, on voudrait ici *faire partager la conviction que la participation à la lutte contre le changement climatique peut aujourd'hui être rendue attrayante pour les pays en développement*. Sans entrer dans le détail de la discussion technique, la base des propositions pourraient s'appuyer :

- sur des quotas nationaux larges (avec « air chaud ») qui, dès lors que les pays bénéficiaires font des efforts minimaux, leur assurent un transfert positif⁽⁵⁸⁾,
- sur des quotas « non contraignants », dont le dépassement n'implique pas sanction mais dont l'amélioration donne l'accès au marché international de permis.

Plutôt que de se juxtaposer aux mécanismes de type MDP, les schémas que l'on esquisse s'y substitueraient. Ils devraient sans doute, afin de ne pas exacerber les difficultés de mise en œuvre d'un marché international de droits auquel les États-Unis ne participeraient pas, s'accompagner d'un relèvement des objectifs de l'Annexe B, étant entendu que le coût d'observance en serait *in fine* diminué et que le système conduirait à des transferts significatifs vers les pays du Sud « vertueux ».

Enfin, pour lever la méfiance légitime des PED, vis-à-vis de « carottes » trop temporaires, ces schémas devraient donner des garanties à moyen terme, par exemple en affichant des principes qui, à moyen ou long terme, relèvent d'une logique (au moins partiellement) « égalitaire » (quotas indexés jusqu'à un certain point sur la population). On discutera ce point plus longuement plus tard.

L'exploration de la piste qui vient d'être rapidement suggérée constitue *une priorité absolue aujourd'hui*. Tout ce qui a été dit jusqu'ici – les effets prévisibles du développement sur les émissions totales de GES, le caractère étriqué de l'espace Kyoto, les limites que la compétitivité met à l'efficacité d'une politique environnementale dont la base est trop restreinte, le caractère mutuellement avantageux de l'élargissement plaidé – indique à quel point ce dossier sera décisif pour l'avenir des politiques de lutte contre le changement climatique. Soulignons aussi, bien que ce rapport laisse volontairement dans l'ombre les aspects géopolitiques du dossier, que la position de trois grands partenaires de cette négociation, l'Inde, la Chine et le Brésil, tous susceptibles de subir à l'avenir des dommages climatiques notables, constitue un facteur favorable au traitement réaliste du dossier qu'ouvrirait la proposition que l'on vient d'esquisser⁽⁵⁹⁾.

(58) Tout en restant dans la même logique, à « l'air chaud », on peut cependant préférer, comme l'économiste suédois Bohm, des transferts monétaires équivalents.

(59) Il faut noter, malgré le rôle effectif et potentiel du charbon dans l'économie, le succès des premiers efforts chinois en matière de réduction des émissions.

Les États-Unis peuvent-ils revenir à la table des négociations ? Il faut revenir sur le dossier. Évoquer d'abord les erreurs qui ont pu être commises ne relève pas de la suffisance, mais reflète simplement la nécessité du jugement *a posteriori* et la meilleure information sur laquelle il peut reposer. L'hypothèse la plus simple est que Kyoto a sans doute *trop demandé aux États-Unis*. La concession tardive de l'Union européenne sur le problème du marché de permis est une première reconnaissance de cette erreur. Il est cependant étonnant, *a posteriori*, que l'extrême réticence des citoyens américains à limiter leur consommation d'énergie n'ait pas amené à reconnaître à quel point la potion Kyoto était difficile à « avaler », toutes contingences électorales mises à part⁽⁶⁰⁾. Naturellement, demander au plus gros pollueur de la planète (6 tonnes d'équivalent carbone par habitant), par ailleurs le plus riche, une réduction de 7 % de ses émissions ne paraît pas déraisonnable. Évoquer sa responsabilité, comme celle des autres pays riches, dans les dommages que le changement climatique imposerait à d'autres pays, éventuellement beaucoup plus pauvres, n'est pas déplacé. Mais il s'agit là d'un argument « moral » qui ne tient pas compte de la donne économique, c'est-à-dire dans les termes de l'analyse précédente, des « consentements à payer » et des coûts. C'est bien ce qu'indiquent les études les plus récentes. Notons qu'aujourd'hui, compte tenu de l'inaction et de la croissance démographique et économique, la tendance américaine de progression des émissions entre 1990 et la phase 1 de Kyoto se situe autour de 25 à 30 %. Baisser de 30 à 35 % les émissions entre 1997 et 2012, c'est-à-dire selon un rythme de décarbonisation de 2 % par an, constitue une tâche bien difficile, vu l'inertie des équipements et des institutions, et ceci même si de fortes potentialités de réduction à coûts faibles ou négatifs existent dans le pays.

Il faut bien évidemment que les États-Unis reviennent à la table des négociations aussitôt que possible : il serait très présomptueux d'en indiquer les moyens, mais l'analyse qui suit, et en particulier la discussion de l'architecture d'un accord international amélioré, a pour but d'y contribuer. La stratégie apparemment la plus raisonnable dans l'immédiat est de tenter, par la négociation, de convaincre les PED de rejoindre les pays de l'Annexe B, dès que possible. Paradoxalement, l'absence des États-Unis, semble-t-il opposés à des solutions impliquant à court terme des transferts avantageux pour les PED, ou à des arrangements égalitaires à long terme, pourrait rendre cette négociation plus facile.

(60) Malgré l'apparente contradiction entre les positions du candidat Al Gore et du président élu George W. Bush, la plupart des observateurs s'accordent à penser qu'un autre résultat des élections américaines n'aurait sans doute pas fondamentalement changé la donne. On peut soutenir que cette position américaine reflète une mauvaise interprétation de leurs intérêts, étant donné le taux de substitution entre *leadership* moral et *leadership* militaire et le coût économique de ce dernier.

5.2. Améliorer Kyoto

Revenons à une donnée de l'analyse économique de l'effet de serre qui a fait l'objet de la première partie : la plupart des experts s'accordent aujourd'hui à considérer que la fonction qui évalue les dommages globaux en fonction de la concentration des GES est, dans les intervalles de concentration du carbone pertinents à court terme, linéaire et « plate ». Les dommages marginaux seraient donc relativement constants. Beaucoup d'économistes pensent que dans un tel contexte la comparaison, du point de vue de l'efficacité, d'une *politique de quantités* (fixer un objectif quantitatif convenablement choisi, ici, le meilleur selon un calcul d'espérance mathématique) et d'une *politique de prix* (donner aux agents un signal-prix conforme à l'espérance du dommage marginal) est alors défavorable à la première. Le complément à ce rapport rédigé par Philibert examine ce point en détail. L'argument peut être exprimé ainsi de manière intuitive : comme les coûts marginaux de réductions sont, exprimés dans la variable stock, rapidement croissants, alors que le bénéfice marginal est relativement constant, la rigidité de l'objectif quantitatif conduit à des accroissements de coûts importants et socialement inutiles, en cas d'aléa défavorable sur les coûts, alors qu'elle ne permet pas d'exploiter des opportunités de gains de bien-être importantes en cas d'aléa favorable⁽⁶¹⁾.

Cet argument a été invoqué, soit pour réfuter l'ensemble de l'architecture du Protocole de Kyoto, soit pour proposer des amendements. Il faut discuter ici la nature de l'argument d'abord, sa portée ensuite.

Il faut noter d'abord que les politiques de quantités avec marché de permis, on l'a déjà dit, constituent un premier mécanisme d'assurance pour les chocs internes spécifiques des participants. L'argumentaire en faveur des solutions « prix » s'applique donc à une incertitude structurelle et de moyen terme, plutôt que conjoncturelle, sur les coûts. Il appelle en outre nombre de réserves techniques⁽⁶²⁾, et, on doit garder à l'esprit, des réserves plus

(61) Dans le cas où l'incertitude reflète simplement de l'information asymétrique, et non de l'incertitude objective, l'argument reste similaire : la fonction du dommage espéré constitue le bon schéma d'incitations non linéaire qui concrétiserait la politique optimale en information asymétrique ; si cette fonction est linéaire, elle est bien approximée par une taxe linéaire sur les émissions, si au contraire elle est non linéaire et présente des effets de seuil, avec une pente élevée dans la zone seuil, elle est bien approximée par une contrainte quantitative.

(62) La nature technique de l'argument en faveur des solutions prix de Newell et Pizer (2000), cité précédemment, conduit à exprimer certaines réserves. Il repose sur une formalisation des coûts, fonctions de coût par période convexes, qui pose des questions d'agrégation intertemporelle : la procédure revient, semble-t-il, à surestimer les coûts d'une politique de quantités, en traitant des substitutions intertemporelles de l'effort, à coûts marginaux non actualisés voisins, comme la somme d'additions et de retraits marginaux dont les coûts diffèrent substantiellement. Enfin, les politiques de quantités ont des avantages qui ne sont pas pris en compte dans le modèle. Par exemple, on pourrait arguer qu'une certaine fluctuation des prix autour de leur valeur moyenne aura un effet positif sur l'incitation à la recherche (la « convexité en prix » de la fonction de recettes de l'innovateur ne semble pas cependant avoir des conséquences empiriquement validées).

fondamentales, au moins à long terme, l'argument néglige un des facteurs possibles d'impuissance des politiques de prix, à savoir le fait qu'elles transfèrent la rente associée aux énergies fossiles sans nécessairement réduire leur rythme d'extraction, une remarque qui poussée à ses limites disqualifierait les politiques de taxation.

L'argument invoqué en faveur des solutions « prix » ne constitue donc aucunement la critique dévastatrice de l'architecture Kyoto que certains voient en lui. S'il faut malgré tout retenir une leçon des discussions qu'il suscite, c'est que *une politique de quantités accroît la variabilité des coûts, au-delà de ce qui est souhaitable*. Il en est ainsi parce qu'un lissage insuffisant a des effets négatifs sur le bien-être, mais aussi sans doute parce que les acteurs de l'économie de l'effet de serre ont de l'aversion au risque de coûts, et qu'il est donc souhaitable, pour limiter l'équivalent certain de leurs coûts, de réduire leur exposition au risque. Combiner cet argument avec celui portant sur la forme de la fonction de dommages conduit souvent à recommander *un prix plafond* sur le marché des permis d'émissions. Cependant, l'analyse qui vient d'être faite laisse planer des doutes sur l'adéquation entre l'objectif et la mesure préconisée. On peut se demander s'il ne faut pas plutôt rechercher un prix plafond, non pour les permis, mais pour les GES, prix qui additionnerait le prix de marché de la ressource sous jacente (par exemple pétrole, gaz ou charbon pour le CO₂), et le prix du permis lui-même. En d'autres termes, le prix plafond du permis plutôt que d'être stable devrait idéalement fluctuer pour stabiliser le prix plafond global⁽⁶³⁾.

Résumons : diminuer, autant que faire se peut, les coûts de l'intervention est un facteur positif du succès de la politique environnementale. À cet égard, le recours à une politique qui fixe exclusivement des objectifs quantitatifs conduit à une variabilité des coûts qui appelle, pour diminuer la prime de risque, un mécanisme d'assurances. C'est ainsi que l'on peut regretter *l'absence d'une soupape de sécurité* dans le dispositif Kyoto et souhaiter son inclusion ultérieure (Kopp et al., 1997). Cette sécurité prendrait la forme d'une fourniture garantie de permis à un prix plafond, fourniture assurée quand le prix du marché dépasse ce prix plafond. On l'a dit, idéalement, il faut se demander si ce prix plafond ne devrait lui même pouvoir varier dans certains cas pour contrecarrer partiellement les variations significatives, disons pour faire bref, du prix de l'énergie. Les recettes correspondantes pourraient être recyclées par une instance internationale selon les méthodes éprouvées au niveau national, mais plus difficiles à concrétiser au niveau international.

(63) Cette proposition mériterait beaucoup plus de discussion théorique, puisqu'elle pose la question de la valeur du signal prix au comptant pour le marché de l'énergie, et de précisions pratiques, puisque les prix des divers supports de GES sont eux-mêmes susceptibles de varier de façon différente.

Un argument symétrique du précédent plaide pour que la valeur de marché, du marché des permis d'émission, des réductions opérées au-delà de leurs quotas par certains pays, ne soient pas excessivement aléatoires, et donc qu'un *prix plancher* des permis soit introduit⁽⁶⁴⁾.

Toutes insuffisances des politiques de quantités mises à part, le Protocole met en place des mécanismes dont le bon fonctionnement n'est pas acquis d'avance. Par exemple, le *préjugé favorable aux marchés des permis d'émission négociables* est fondé sur le succès d'expériences probantes à leur échelle, essentiellement le marché du SO₂ aux États-Unis (voir le complément à ce rapport rédigé par Cros et Gastaldo). Mais l'échelle des marchés internationaux que met en place le Protocole de Kyoto est tout à fait autre et rien n'assure que tel ou tel réglage, qui s'est avéré favorable dans un contexte particulier, le soit très généralement. Par exemple, le « *banking* » ou report de crédits d'émissions qui permet un lissage temporel de l'effort, peut compromettre dans certaines circonstances une stabilisation convenable des anticipations. Le précédent favorable du marché du SO₂ ne doit pas faire oublier le temps historiquement nécessaire à la mise en place des marchés financiers existants. Il y a donc, c'est un mérite non un défaut, un aspect *expérimental* dans les mécanismes mis en place⁽⁶⁵⁾.

À cet égard, un encadrement par un prix plafond et un prix plancher selon la logique discutée ci-dessus, aurait d'autres vertus que le lissage intertemporel des coûts, seul placé jusqu'ici sous les feux du projecteur (Cournède et Gastaldo, 2001).

D'abord, il contribuerait, et ceci ne serait peut être pas la moindre de ses vertus, à *encadrer les anticipations, permettant ainsi de parer au risque de volatilité* d'un marché dont les rares expériences faites à ce jour ont montré la réalité⁽⁶⁶⁾.

Ensuite, notons que la proposition de soupape de sécurité, si elle introduit une régulation en prix dans un système basé sur l'attribution d'objectifs quantitatifs, ne constitue pas un reniement de l'architecture Kyoto. Le prix plafond peut être vu comme un mécanisme de sanction en cas de dépas-

(64) La logique de ce prix plancher n'étant pas exactement symétrique de celle du prix plafond, le problème de son indexation sur le prix des ressources énergétiques mériterait une discussion spécifique.

(65) Des propositions ont été faites pour éviter les « *junk permits* » provenant d'États ne respectant pas leurs engagements par Victor (2000). Notons aussi l'intérêt de solutions déjà adoptées, par exemple, celle d'une réserve pour la période d'engagement, un mécanisme méconnu mais essentiel : tout pays doit garder en réserve une partie importante de ses permis d'émissions initiaux. Mais les pays acheteurs peuvent également vendre (temporairement) une partie de leur quantité assignée (10 %). On préserve l'intégrité environnementale du marché (plus question d'inonder le marché avec des permis dont le pays aurait besoin pour couvrir ses émissions), tout en assurant sa liquidité. Une entreprise qui dépasse ses objectifs mais serait située dans un pays acheteur net aurait quand même accès au marché international.

(66) La volatilité de prix observée sur le marché américain du SO₂ est quelque peu inquiétante.

sement des quotas des pays (il avait été envisagé comme tel dans les négociations antérieures sans être cependant adopté). La « soupape de sécurité » constituerait un substitut des mécanismes d'observance, que Kyoto a réussi à rendre juridiquement contraignants mais dans le cadre de dispositifs qui laissent subsister des zones d'ombre. En l'absence de prix plafond, un pays qui finalement rechigne à l'effort demandé pourrait simplement reporter les réductions prévues, et subir, comme le prévoient les engagements internationaux pris à Marrakech, une pénalité faisant jouer un multiplicateur : toute tonne manquante doit être « récupérée » dans une proportion supérieure (1,3) pendant la deuxième période d'engagement. Mais, en l'absence de date butoir, et malgré l'interdiction de participation au marché des permis que le défaut déclencherait, les dettes environnementales pourraient être cumulées et un jour devenir irrécouvrables.

5.3. Prolonger Kyoto

Comment prolonger Kyoto ? Les améliorations proposées ci-dessus touchent à l'architecture, et principalement à ses aspects statiques. Pour répondre à la nouvelle question posée, il est nécessaire de réintroduire simultanément la dynamique intertemporelle de l'accord et la légitimité du « *grandfathering* » international que Kyoto phase 1, introduit.

Kyoto peut soutenir deux interprétations extrêmes. *A minima*, il relève de l'accord mutuellement avantageux, qui tient compte des différences de coûts et d'exposition à l'effet de serre, et donc n'appelle pas nécessairement une participation universelle. Difficultés de la négociation initiale mises à part, la renégociation de l'accord, après la période contractuelle, est soumise à de nombreuses inefficacités potentielles, comme toute négociation séquentielle. Nous n'en dresserons pas ici la liste exhaustive, mais on retiendra l'une d'entre elles, une sorte de talon d'Achille assez commun en l'occurrence, l'effet de cliquet (voir Freixas et al., 1985). Nous avons déjà examiné la question : comment sanctionner un pays qui ne s'est pas conformé à ses engagements ? Mais, le volet sanction masque un problème moins visible, mais peut être plus redoutable : quel sera le point de départ pour la renégociation de la période ultérieure ? La réponse est en principe on ne peut plus claire : faire comme si l'objectif antérieurement accepté avait été atteint. Mais il est peu réaliste de penser qu'il en sera bien ainsi : le « défaut » sera, bien entendu, un argument de la discussion ultérieure⁽⁶⁷⁾. Il donnera de fait vraisemblablement un pouvoir de marchandage et donc, au travers des accords successifs, une part accrue du surplus à la partie défaillante.

(67) Même si des dispositions prévoient une renégociation précoce qui limite le risque dans les premières étapes. Ainsi, le Protocole de Kyoto spécifie dans son article 3.9 que « Pour les Parties visées à l'Annexe I, les engagements pour les périodes suivantes sont définis dans des amendements à l'Annexe B du présent Protocole [...]. La Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties au présent Protocole entame l'examen de ces engagements sept ans au moins avant la fin de la première période d'engagement ».

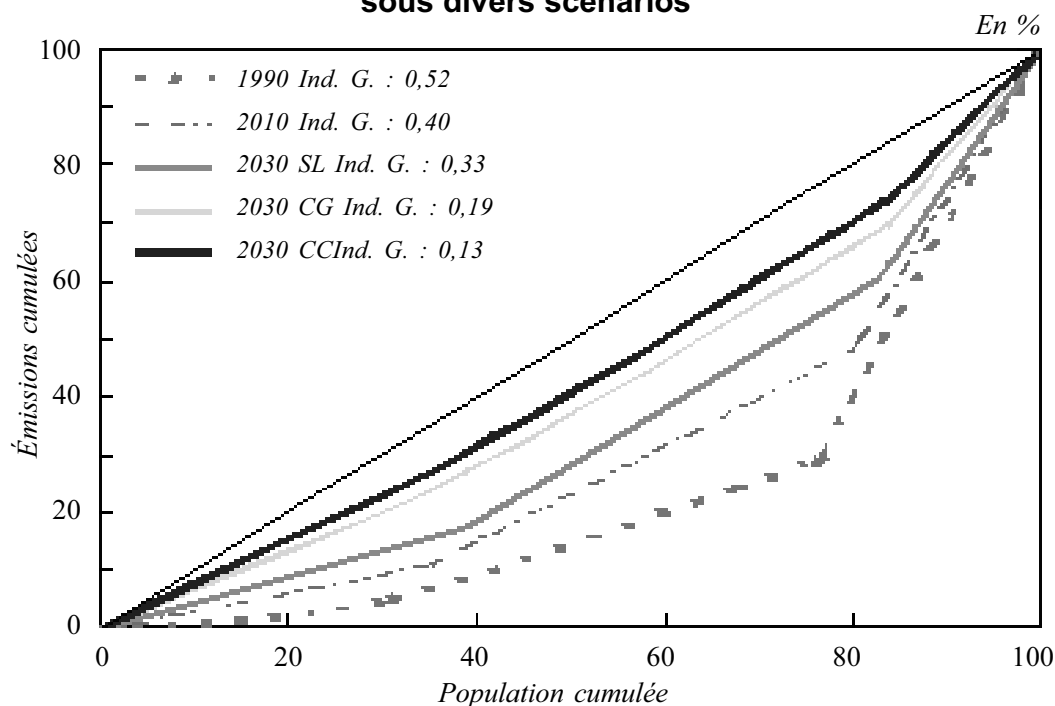
Une interprétation plus ambitieuse ou plus utopique de Kyoto est d'y lire en filigrane, comme de nombreux commentateurs l'ont fait, *l'annulation progressive des droits historiques (grandfathering)* dont la prise en compte conduit à ménager à court terme les gros émetteurs de GES⁽⁶⁸⁾. On substituerait ainsi à la logique des droits historiques une logique plus « égalitaire », conduisant par exemple à une affectation des droits nationaux d'émission sur la base de la population du pays. Une telle formule ne peut prétendre être « équitable », en l'un des sens profonds du terme auquel on peut faire référence, et encore moins résoudre le problème général et largement indéfini de la réalisation d'une justice internationale. Le développement économique fait aujourd'hui apparaître une nécessité de limiter l'utilisation d'un bien anciennement gratuit, nécessité qui suggère la définition des *droits nouveaux à l'échelle planétaire*. Une distribution égalitaire semble constituer, toutes choses égales par ailleurs, une base d'allocation du droit qui à la fois est assez naturelle et va dans le sens d'une plus grande « équité », quel que soit le sens exact que l'on donne à ce terme. Sans discuter plus longuement la bonne formule, on peut penser que cette utopie était bien en filigrane de Kyoto. On peut d'ailleurs attribuer les difficultés actuelles aussi bien au fait que cette logique égalitaire ait été trop présente, en faisant l'hypothèse qu'elle a contribué à accentuer l'effort demandé aux États-Unis au-delà de ce qui était politiquement réaliste ou bien, au contraire, que son explicitation aurait contribué à susciter l'adhésion des pays en développement, en leur attribuant de « l'air chaud » aujourd'hui et en leur offrant des perspectives favorables à long terme.

Cette brève analyse suggère deux conclusions :

- la pérennité et la « soutenabilité » à long terme d'accords internationaux de type Kyoto serait considérablement améliorée s'ils incorporaient un accord sur *les principes de répartition de l'effort à long terme*. Un tel accord devrait statuer sur les droits de propriété implicites ou explicites qui finiront par émerger. En l'absence de cet éclairage, qui devrait s'accompagner d'un *ciblage indicatif* de l'objectif de long terme (et donc sans doute aussi de trajectoires indicatives), des comportements opportunistes, nuisibles pour l'efficacité de l'action, surgiront de façon récurrente. Quel que soit le principe adopté, même s'il doit rester simple, il n'exclut pas, tout au contraire, que la définition des trajectoires prenne en compte, dans la *transition*, d'autres considérations que celles incorporées dans la cible de long terme. Par exemple l'*indexation transitoire* sur la croissance (comme mécanisme d'assurance) est compatible avec une certaine égalité des droits inscrite dans la perspective longue ;

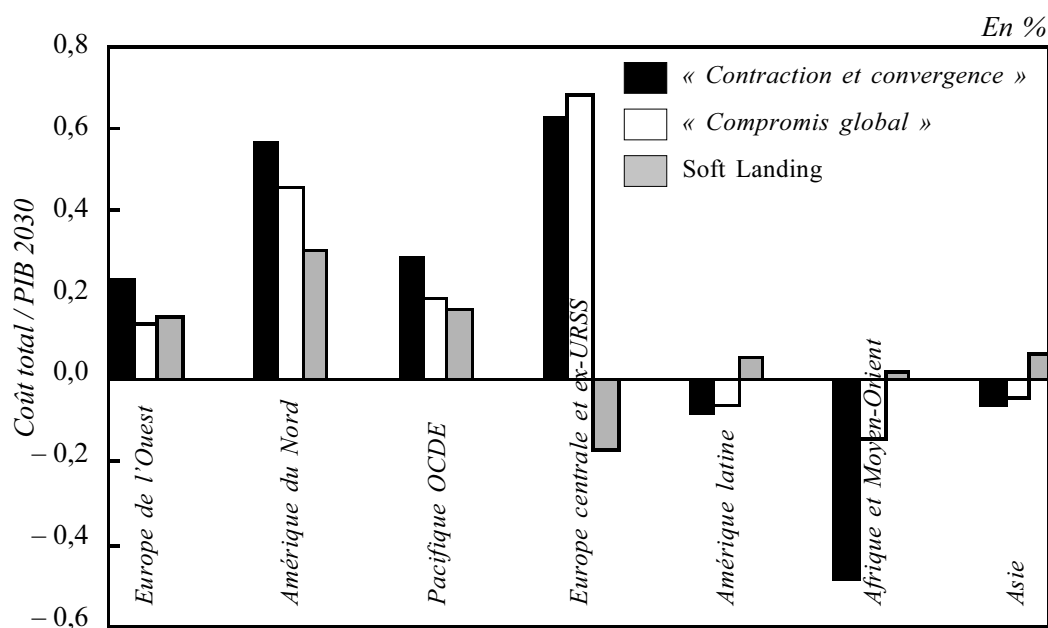
(68) L'Accord de Bonn stipule que les pays de l'Annexe I devront mettre en œuvre des actions domestiques « en visant à réduire les émissions d'une manière qui conduise à réduire les différences par tête entre pays développés et pays en développement tout en travaillant à l'objectif ultime de la Convention ».

5. Émissions cumulées en fonction de la population cumulée, sous divers scénarios



Source : Complément Criqui, Vielle et Viguier à ce rapport. Voir le complément pour la signification des scénarios *Soft Landing* (SL), « contraction et convergence » (CC), et « compromis global » (CG) ; Ind. G = indice de Gini.

6. Taux d'effort selon divers scénarios



Source : Complément Criqui, Vielle et Viguier à ce rapport. Voir le complément pour plus de détails.

• les arguments de simplicité, d'équité et d'adhésion politique à l'échelle de la planète donnent un statut « focal » aux *solutions de type égalitaire*. On peut penser qu'en tout état de cause l'inégalité résiduelle de la répartition des émissions fera débat. Et ce d'autant plus qu'elle pourrait rester forte, comme l'indique le complément de Criqui, Vielle et Viguiier à ce rapport. À titre d'illustration, cette inégalité est clairement visualisée sur le graphique 5, au travers de courbes qui retracent les émissions cumulées en fonction de la population cumulée et de leurs indices de Gini, pour des scénarios différents d'attribution de droits de propriété⁽⁶⁹⁾.

On a déjà souligné que les solutions égalitaires, qui permettent des transferts concrets vers les PED, ont des avantages pour les pays du Nord qui les rendent beaucoup plus politiquement réalistes qu'il n'y paraît. Le surcroît d'efficacité que ces solutions déterminent à court terme, dès lors qu'elles suscitent l'adhésion des PED, a une contrepartie à long terme⁽⁷⁰⁾. Des politiques égalitaires imposent cependant des coûts inacceptables à certaines parties (Russie) compte tenu de leur « consentement à payer » probable : comme le montre le graphique 6 tiré du complément de Criqui, Vielle et Viguiier qui indique les efforts demandés à l'Amérique du Nord, ainsi qu'à l'ex-bloc soviétique à un horizon de moyen terme, sous des scénarios visant à une convergence des émissions par tête (voir aussi Germain et Van Steenberghe, 2001).

La combinaison de ces deux remarques amène à recommander d'élargir les accords de court moyen terme, type Kyoto, pour leur adjoindre un *accord* non sur le montant mais *sur les principes* de l'allocation des droits de propriété portant sur les droits d'émissions à l'horizon de 2050-2070. Quelle que soit la forme exacte de ces principes, le mode d'allocation doit rester *simple* et il semble devoir relever d'un *compromis entre la logique d'attribution égalitaire et celle de l'acceptabilité*⁽⁷¹⁾.

On ne peut traiter cette question de l'acceptabilité sans revenir sur un problème plus fondamental, celui de la participation. La pérennité d'un accord environnemental de type Kyoto, aussi bien conçu soit-il, est constamment menacée par le « *free riding* », le passage gratuit (plutôt que clandestin) que donne la défection. *C'est qu'il est impossible ici, d'exclure aussi peu soit-il, de l'usage du bien collectif produit par l'accord*. Pour la plupart des participants, le retrait est préférable à la participation, dès lors

(69) Dont l'un intègre comme objectif une convergence des émissions par tête au niveau planétaire, et conduit à la courbe la plus proche de la bissectrice.

(70) À long terme, l'acceptabilité politique de scénarios de convergence des émissions par tête peut être améliorée par la force que le « voile de l'ignorance », même très incomplet, donne à l'argument distributif qu'ils incorporent.

(71) On pourrait par exemple définir pour chaque pays, une population fictive tenant compte de sa population présente et future et de son degré d'exposition à l'effet de serre (la Russie ayant alors une population fictive supérieure à sa population réelle).

que les autres continuent à participer⁽⁷²⁾. Ce risque ne disparaît pas même dans l'hypothèse d'une action limitée, mais s'accroît avec l'ampleur de l'effort demandé. Bâtir un ordre international, lorsque les raisons d'y participer sont si fragiles, sera difficile. Ne faut-il pas, pour le renforcer, élargir l'espace des accords ?

La réflexion entamée précédemment sur les relations entre commerce international et biens collectifs globaux, partait de la nécessité de préserver l'efficacité de l'effort environnemental entrepris par un sous ensemble de pays (les pays signataires). Mais l'enjeu de cette réflexion, qui conduisait à *reconsidérer le bien-fondé de la séparation des champs du commerce et des biens environnementaux globaux*, est plus large. On doit s'interroger : en l'absence de toute instance mondiale de gouvernement, les accords internationaux concernant le commerce et ceux concernant les biens publics globaux devraient-ils, idéalement, être globalisés ? On se limitera ici à quelques remarques.

La réflexion économique suggère que l'extension du domaine de la négociation accroîtrait en l'occurrence l'espace des accords mutuellement avantageux, une conclusion que n'invalident pas, semble-t-il, les théories les plus réalistes de la négociation aujourd'hui disponibles.

La suggestion, qui devrait bien entendu être précisée par des études complémentaires, n'implique pas que les travaux préparatoires à un accord global ne pourraient ou ne devraient être séparés. Elle n'implique nullement que les agences techniques, l'OMC et une éventuelle future agence de l'environnement, devraient fusionner.

Même si l'on admet que cette globalisation des compromis sur le couple des politiques commerciale et environnementale est bonne du point de vue de l'efficacité, elle change aussi le pouvoir de marchandage de chacun des partenaires. En l'occurrence, compte tenu du contentieux Kyoto, elle le modifierait sans doute en faveur de l'Europe et au détriment des États-Unis.

L'évaluation de la faisabilité et de l'opportunité diplomatique d'actions en ce sens dépasse bien sûr le cadre de ce rapport. Il convenait cependant de faire état de la conviction qu'un compromis environnemental de type Kyoto est nécessairement fragile et qu'il ne peut être renforcé qu'en étant couplé à d'autres arrangements internationaux (commerce, autres accords environnementaux) moins soumis au risque de « *free-riding* ». En d'autres termes, *une globalisation des compromis est bénéfique et, c'est le sentiment fort exprimé ici, nécessaire à la viabilité d'accords environnementaux réellement ambitieux.*

(72) On peut envisager des sanctions, dont Adly, Orzag et Stiglitz (2002) dressent une liste, jusqu'aux plus anecdotiques (exclusion des jeux olympiques ou de la coupe du monde de football).

6. Conclusion

Ce texte porte un jugement globalement favorable à l'action initialement envisagée à Kyoto, tant en ce qui concerne son ampleur que ses modalités. Rappelons d'abord les attendus de ce jugement.

6.1. Kyoto justifié

Tout d'abord, dans l'état actuel des connaissances scientifiques, il est difficile de prendre son parti des risques climatiques en reportant à une date indéterminée une action significative. L'*opportunité d'un accord international*, mettant en place la « quinquennalité » et les « logiciens » d'une politique de contrôle mondial des émissions des gaz à effet de serre *est peu douteuse*.

L'ampleur de l'effort initialement envisagé à Kyoto peut faire l'objet de débats. Il se situe dans une *fourchette raisonnable* au sens où les bonnes raisons pour estimer que Kyoto fait trop ou trop peu ne font pas démonstration. La nature de l'incertitude et l'horizon temporel rendent difficile l'analyse coûts-bénéfices. Mais les arguments concluant à un freinage trop rapide reposent sur un calcul économique simpliste, et ne sont pas plus convaincants, voire souvent moins, que ceux concluant à un freinage insuffisant. La vérité est que notre compréhension des effets climatiques de l'accroissement des concentrations atmosphériques est encore insuffisante, et que cette situation appelle la prudence. Par ailleurs, un affichage d'intentions vigoureux est nécessaire pour changer les anticipations tant des pollueurs que des innovateurs. Prudence et crédibilité recommandent, comme le visait Kyoto, d'aller bien au-delà d'actions symboliques.

Les mécanismes de flexibilité visent à abaisser notablement les coûts de mise en œuvre des politiques. Les marchés de permis d'émissions négociables constituent une innovation majeure, susceptible d'accroître beaucoup l'efficacité de l'action, même si le dispositif n'a jamais été expérimenté à cette échelle. Le rapport explicite en revanche les réserves qu'appelle la mise en place des « mécanismes de développement propres ». Plus généralement, l'*architecture* envisagée à Kyoto conduit à des engagements quantitatifs, idéalement trop rigides. Mais l'encadrement quantitatif est aujourd'hui trop décrié. La mise en place des solutions alternatives est, compte tenu des réactions probables de l'offre énergétique, plus difficile qu'on ne le réalise généralement. Une forme de *contrôle par les prix*, celle que cherche à concrétiser un dispositif de « soupape de sécurité », est cependant souhaitable. Par ailleurs, l'architecture Kyoto permet d'organiser de façon convenable la négociation et ouvre la porte à des transferts limités. Elle est *perfectible* et susceptible d'évolutions vers d'autres architectures « Kyoto compatibles ».

Même si ce rapport n'est pas compétent pour évaluer les aspects les plus politiques du dossier, en particulier pour apprécier la fermeté de la vo-

lonté politique d'une Europe placée en position de *leader* écologique, il souligne les coûts d'un renoncement à Kyoto et plaide au contraire pour tenter de faire vivre et d'améliorer le protocole. Cependant avant de reprendre les principales suggestions qui ont été faites en ce sens, il est utile d'évoquer plusieurs scénarios de l'après Kyoto, en commençant par deux scénarios extrêmes, Kyoto magnifié et Kyoto effiloché.

6.2. Kyoto magnifié

Nous avons esquissé, tout au long de ce rapport, les traits d'une gouvernance vigoureuse « post-Kyoto » Elle combinerait :

- des objectifs quantitatifs de type Kyoto, faisant l'objet d'un accord entre entités souveraines. Mais l'accord serait élargi à la définition de principes d'allocation de long terme des droits nationaux. Il serait assorti de perspectives provisoires de concrétisation desdits principes. L'égalité des droits pour tous les habitants de la planète conserverait une position focale dans la discussion, même si le compromis sur les principes de long terme devrait nécessairement concilier capacité de mobilisation et réalisme économique et politique, et refléterait donc l'exposition variable des protagonistes au risque climatique ;

- des assignations d'objectifs contraignants sur la période et de chemins indicatifs d'objectifs cohérents avec les perspectives de long terme ;

- la possibilité de réaliser les objectifs de la période, non seulement par des efforts de réduction interne mais aussi par des échanges sur des marchés d'émissions internationaux. À cet égard, la régulation de ces marchés par un prix plancher et un prix plafond, au travers de ce qui équivaut à une taxe s'appliquant aux dépassements et une subvention maintenant une incitation minimale à la réduction, devrait viser à encadrer les prix totaux des émissions GES et non le seul prix des permis. Le solde lié aux interventions serait géré collectivement et pourrait servir à la mise en place d'aides spécifiques aux PED, à la subvention d'une recherche internationale... ;

- la solidité de l'accord serait garantie par son inclusion dans un « *package deal* » d'accords internationaux incluant les accords de commerce, et définissant les règles du jeu d'une société internationale solidaire.

Une telle forme de gouvernance vigoureuse, dont on vient d'esquisser les règles, et qui mérite l'appellation de post-Kyoto relève t-elle de l'utopie ?

Reconnaissons qu'il y a effectivement derrière Kyoto, une utopie. C'est une utopie au meilleur sens du terme. Elle cristallise, autour d'une question jugée majeure, des espoirs de mise en place d'une gouvernance mondiale ambitieuse, car susceptible de concilier l'aide aux PED et la résolution d'un problème environnemental majeur. On a dit, pour la discréditer, que les modalités d'aide qu'elle mettrait en place ne sont pas les plus adaptées. Et il est vrai qu'il y a, dans l'absolu, de meilleures manières de soutenir le

développement que de disséminer, de façon plus ou moins égalitaire, des droits de propriété sur l'environnement. Mais, la mise en œuvre de ces moyens alternatifs demeure aujourd'hui encore bien plus improbable que celle du « super-Kyoto » esquissé ici, dont au moins l'instauration est plaidable du point de vue de l'efficacité. L'obstacle essentiel à ce que l'on a appelé l'utopie Kyoto est en fait la réticence d'une partie de la communauté internationale à l'égard de toute solution impliquant une redistribution significative des revenus sur la planète. L'état des lieux rend donc aujourd'hui l'avènement de cette utopie peu probable. Mais le mûrissement de la prise de conscience que susciterait un accroissement spectaculaire du danger du changement climatique, s'il était prouvé, pourrait lui redonner quelques chances.

6.3. Kyoto effiloché

À l'autre extrême, les effets de démonstration d'un club limité de nations, ne parvenant pas à convaincre l'essentiel de la communauté internationale de les rejoindre et restant minoritaires à la fois en nombre et en volume d'émissions, risquent de n'être ni très efficaces ni gratifiants. Pour ne pas perdre le soutien politique des citoyens inquiets de la faible valeur du ratio efficacité/coût d'un effort isolé, mais aussi tout simplement pour rester efficace dans l'état actuel des règles du commerce, l'effort des pays « vertueux » devrait rester assez limité. La « compétition par l'exemple » risque d'être fort modérée.

On peut craindre aujourd'hui que se profile une autre variante de Kyoto effiloché. C'est « l'air chaud » russe, plutôt que l'effritement de la politique des Européens qui va, en abaissant trop le prix des permis sur le marché, limiter l'effort. Ceci peut mettre en cause une de ses vertus cardinales, la crédibilité que l'affichage d'un prix carbone significatif donne à la politique climatique et la stimulation de la recherche qu'elle suscite. Jusqu'à la fin de la première période d'engagement, en 2012, l'Union européenne a une responsabilité déterminante pour contenir ces risques d'effilochement. Elle doit procéder de façon efficace à une réduction significative de ses émissions, tout en gérant la question de l'air chaud russe. Un certain nombre de suggestions faites ici s'inscrivent dans la logique de cette exigence.

6.4. Kyoto ranimé et concrétisé

Ranimer Kyoto c'est, pour l'Union européenne, afficher une détermination qui passe :

- d'abord, et c'est moins mineur qu'il n'y paraît, par un soutien approprié à l'affirmation d'une *autonomie intellectuelle* européenne, susceptible de remettre en cause la position souvent hégémonique des États-Unis dans le domaine des politiques climatiques (stimulation de la recherche, « *task force* » administrative européenne ?) ;

- ensuite par une réflexion sur la *compétitivité de l'espace Kyoto*, incontournable dans le contexte actuel. Cette réflexion renvoie aux contradictions croissantes entre, d'une part, les réalités des interactions entre échanges commerciaux et environnement et, d'autre part, les conceptions intellectuelles qui fondent l'OMC. Elle appelle un retour sur la question plus générale des liens entre commerce international et gestion des biens collectifs globaux. Plus spécifiquement, le rapport montre comment, à terme, la limitation de l'espace de la taxe carbone à une partie de la planète réduit considérablement l'efficacité des politiques climatiques. Il passe en revue les avantages et les inconvénients d'actions précoces à destination de l'OMC ;
- enfin et surtout, par un effort de consolidation des accords Kyoto. Ceci passe par l'adjonction d'un volet de coopération technologique sur l'effet de serre, et la construction d'un « espace Kyoto de la recherche technologique ». Les formes que devrait prendre la coopération suggérée sont très ouvertes, mais toute l'analyse, sur l'aspect décisif des novations technologiques, sur la répartition de l'effort entre réduction et recherche, sur les dimensions stratégiques de la question, en souligne l'importance et l'urgence.

Ce rapport n'a fait qu'aborder la question de la mise en œuvre ou de la concrétisation des politiques climatiques à l'intérieur de la France et de l'Union européenne, un sujet qui est périphérique au champ assigné au rapport. Il prend cependant position sur certains points :

- il préconise des *transitions douces*, susceptibles d'atténuer les coûts d'ajustements macroéconomiques de court terme. Ces transitions devraient être anticipées suffisamment à l'avance par les agents économiques et ne modifier que progressivement les droits de propriété implicites existants, reconnaissant donc de façon transitoire les droits historiques liés à l'antériorité ;
- même s'il admet que les premières actions sont à coût relativement faible, le rapport exprime certaines réserves sur l'ampleur d'un « double dividende » pour les politiques de l'effet de serre, ou du moins sur l'argumentaire et les preuves qui en ont été données jusqu'ici. Cette circonspection va de pair cependant avec la forte conviction que *le passage, qu'on souhaite ici progressif, à la fiscalité carbone met la réforme fiscale à l'ordre du jour*. D'une part, la mise en évidence d'inefficacités plus ou moins restées cachées jusqu'alors est susceptible de mettre en lumière des opportunités de réforme. D'autre part, le temps de la mise en place de la fiscalité carbone *constitue une période favorable à une restructuration de la fiscalité dans son ensemble* ;
- il recommande un retour sur les choix fondamentaux concernant le prélèvement de la taxe carbone. La « *conventional wisdom* » qui conduit à taxer « en aval » les grandes unités de production et d'une manière différente, peut-être « en amont », les émissions diffuses, mérite d'être soumise à une investigation critique approfondie.

Rappelons, finalement, les principales suggestions du rapport, pour relancer et prolonger Kyoto au-delà de 2012.

6.5. Kyoto relancé et prolongé

L'action menée dans le cadre de Kyoto ne prendra tout son sens que si elle peut rebondir en 2013, une échéance qu'il faut préparer dès maintenant. Le sentiment exprimé dans ce rapport est que l'ambition du Protocole de Kyoto ne pourra être pérennisée que si au moins une grande partie des PED est associée au prolongement de l'accord. Pour qu'il en soit ainsi, les pays de l'Annexe B peuvent et doivent, c'est le principal message de ce rapport, *présenter des solutions économiquement séduisantes aux PED*.

Ces solutions pourraient être plus ou moins inventives (comme expliqué dans le rapport). Mais pour être mutuellement avantageuses (abaisser le coût pour les pays riches et conduire à des transferts significatifs sur une période suffisamment longue vers les PED), elles devront être *généreuses à court terme* et donner de solides *garanties sur les règles du jeu à moyen terme*. Sans aborder les questions diplomatiques et géopolitiques au fond, ce rapport exprime la conviction qu'un accord sur la base des solutions suggérées est possible, dès lors que *les deux* conditions qui viennent d'être soulignées sont remplies. Fournir, dès aujourd'hui, un appui pour mettre en place dans les PED des systèmes performants d'inventaires constitue une priorité concrète.

Toujours à moyen terme, une forme de contrôle des prix des GES accompagnant le contrôle quantitatif, que ce contrôle relève de *la soupape de sécurité avec un prix plafond* ou qu'il fixe une borne inférieure à l'incitation avec un prix plancher, devrait être intégrée au dispositif. Mais le mécanisme sera d'autant plus satisfaisant qu'il stabilisera, par exemple, le prix total du carbone et non la seule « taxe carbone ».

Au-delà, l'accord pourrait à l'occasion évoluer vers des architectures qu'on a appelé Kyoto-compatibles, ou bien plus efficaces ou bien plus adaptées à l'économie politique de la négociation. Il faut, d'une manière ou d'une autre, résoudre beaucoup mieux qu'on ne le fait aujourd'hui *les inefficacités intertemporelles qui accompagnent l'effet de cliquet*. Il faut aussi faire que *l'espace de la taxe carbone s'élargisse à la planète toute entière*. Dans la logique Kyoto stricte, la solution de ces problèmes ne peut passer que, d'une part, par un accord sur les principes de répartition à long terme des droits d'émission et, d'autre part, sur une coercition pour la participation, dont l'instrument privilégié pourrait être la *globalisation de compromis* internationaux hors du domaine de l'environnement proprement dit. Ces problèmes ont d'autres solutions Kyoto-compatibles sur lesquelles on ne reviendra pas ici, mais que des études en cours, ou à susciter, doivent impérativement approfondir.

L'avenir des politiques climatiques soulève des interrogations : les États-Unis modifieront-ils leur position et si oui, quand ? Mais cet avenir est ouvert et appelle l'action, une action dont ce rapport a cherché à explorer les grands sentiers.

Références bibliographiques

- Aldy J.E., P.R. Orszag et J.E. Stiglitz (2001) : *Climate Change: An Agenda for Global Collective Action*, Centre on Global Climate Change, 11 octobre.
- Arrow K.J. et A.C. Fisher (1974) : « Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility », *Quarterly Journal of Economics*, 88, 2, mai, pp. 312-319.
- Bernard A. (1972) : *Calcul économique et planification*. La Documentation française, Paris.
- Bernard A. (2000) : *The Pure Economics of Tradable Pollution Permits*, Miméo, Conseil Général des Ponts et Chaussées, Paris.
- Bernard A. (2001) : *Vers une nouvelle architecture du Protocole de Kyoto : quelques simulations préliminaires effectuées avec le modèle Gemini E3*, Miméo, Conseil Général des Ponts et Chaussées.
- Bernard A., Fischer et M. Vielle (2001) : *Is There a Rationale for Rebating Environmental Levies?*, Resources for the Future, Document 0131, Washington DC.
- Boiteux M. (1976) : « À propos de la critique de la théorie de l'actualisation », *Revue d'Économie Politique*, 5, septembre-octobre, pp. 1-17.
- Bradford D. (2002) : *Improving on Kyoto: Greenhouse Gas Control as the Purchase of a Global Public Good*, Princeton, Mimeo.
- Commission européenne (2000) : *Communication sur le principe de précaution*, Bruxelles, février.
Disponible sur <http://www.waternunc.com/fr/dg11eu21.htm>.
- Conseil d'analyse économique (1998) : *Fiscalité de l'environnement*, La Documentation française, 198 p.
- Cooper R. (2001) : « The Kyoto Protocol, a Flawed Concept », *Environmental Law Reporter*, 31, pp. 11484-11492.
- Cournède B. et S. Gastaldo (2000) : *Combinaison d'instruments prix et quantités contre l'effet de serre*, Communication aux journées de l'Association française de sciences économiques, Marseille, septembre.
- Cournède B. et S. Gastaldo (2001) : *Comparaison des instruments prix quantités dans le cas de l'effet de serre*, Mimeo, Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.
- Criqui P., S. Mima et L. Viguié (1999) : « Marginal Abatement Costs of CO₂ Emission Reductions, Geographical Flexibility and Concrete Ceilings: An Assessment Using the POLES Model », *Energy Policy*, 27.

- Daedalus (2001) : *Religion and Ecology: Can the Climate Change?*, n° spécial.
- Dupuy J-P. (2001) : *Le catastrophisme éclairé*, Le Seuil, Paris.
- Etheridge D., L. Steele, R. Langenfelds, R. Francey, J. Barnola et V. Morgan (1996) : « Natural and Anthropogenic Changes in Atmospheric CO₂ Over the last 1000 Years from Air in Antarctic Ice and Firn », *Journal of Geophysical Research*, 101, pp. 4115-4128.
- Fougeyrollas A, P. Le Mouel et P. Zagamé (2001) : « Semi Endogenous Growth in a Computable General Equilibrium Approach », *Computing in Economics and Finance*, 232, Society for Computational Economics.
- Fougeyrollas A., P. Le Mouel et P. Zagamé (2001) : *Endogenous Growth and Environmental Regulation: The Case of the Kyoto Protocol*, Mimeo, Université Paris I.
- Freixas X., R. Guesnerie et J. Tirole (1985) : « Planning Under Incomplete Information and the Ratchet Effect », *Review of Economic Studies*, 52, pp. 173-192.
- Germain M. et E. Van Steenberghe (2001) : *Constraining Equitable Allocations of Tradable Greenhouse Gases Emission Quotas by Acceptability*, Mimeo, CORE, Louvain.
- Gherzi F. et J-C. Hourcade (2002) : « The Economics of a Lost Deal: Kyoto, The Hague, Marrakesh », *The Energy Journal*, 22-3, pp. 1-26.
- GIEC (2001) : *Climate Change 2001*, 3 vol. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Giraud P.N. (2002) : *Effet de serre: modélisation économique et décision publique*, Rapport du groupe présidé par Pierre-Noël Giraud, Commissariat général du Plan, La Documentation française, Paris.
- Godard O. (1997) : « Les enjeux des négociations sur le climat », *Futuribles*, 224, pp. 33-66.
- Godard O. (dir.) (1997) : *Le principe de précaution dans la conduite des affaires humaines*, Éd. de la Maison des Sciences de l'Homme et INRA-Éditions.
- Godard O. (1999) : « Sur l'effet de serre » in *Nouvelle encyclopédie de bioéthique*, Hottois et Missa (dir.), Bruxelles, De Boeck Université, pp. 360-363.
- Godard O. (2002) : « Le changement climatique planétaire. Le commerce de permis d'émission au service de la protection d'un bien collectif », *Revue d'Économie Financière*, 66, pp. 75-100.
- Gollier C. (2001) : *The Economics of Risk and Time*, The MIT Press, Harvard, MA.

- Gollier C., B. Jullien et N. Treich (2000) : « Scientific Responsibility and an Economic Interpretation of the Precautionary Principle », *Journal of Public Economics*, 75, pp. 229-253.
- Guesnerie R. (2002) : *Long Run Discounting of Environmental Goods under Uncertainty*, Miméo, DELTA, Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Ha-Duong M. (1998) : « Quasi-Option Value and Climate Policy Choices », *Energy Economics*, 20, pp. 599-620.
- Ha-Duong M., M. Grubb et J-C. Hourcade (1997) : « Influence of Socio-Economic Inertia and Uncertainty on Optimal CO₂-Emissions Abatement », *Nature*, vol. 390, pp. 270-274.
- Helioui K. (1999) : *Méthodes d'évaluation des politiques environnementales*, Association française des entreprises pour l'environnement, Paris.
- Henry C. (1974) : « Investments Decisions under Uncertainty: The Irreversibility Effect ». *American Economic Review*, 64, 6, décembre, pp. 1006-1012.
- Henry C. (2000) : *Growth, Intergenerational Equity and the Use of Natural Resources*, Mimeo, Ecole Polytechnique, Paris.
- Jacoby H.D. et A.D. Ellerman (2002) : *The Safety Valve and Climate Policy*, Report 83, Massachusetts Institute of Technology, Joint Program on the Science and Policy of Global Change.
- Jonas H. (1990) : *Le principe de responsabilité*, Éd. du Cerf, Paris
- Keeling C.D. et T.P. Whorf (1998) : “ Atmospheric CO₂ Records from Sites in the SIO Air Sampling Network ” in *Trends: A Compendium of Data on Global Change*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee.
- Kopp R., R. Morgenstern et W. Pizer (1997) : *Something for Everyone: A Climate Policy that Both Environmentalists and Industry Can Live With*, Resources For the Future, Washington DC.
- Kourilsky P. et G. Viney (2000) : *Le principe de précaution*, Rapport au Premier ministre, Odile Jacob, Paris.
- Lomborg B. (2001) : *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*, Cambridge University Press.
- Magné B. et M. Moreaux (2002) : *Long Term Energy Trajectories: Assessing the Nuclear Option in Response to Global Warming*, Mimeo INRA-LEERNA et Université de Toulouse 1.
- Meunier F. (2002) : *Perspectives technologiques pour les économies d'énergie*, Présentation au groupe « effet de serre », Conseil d'analyse économique, Paris, janvier.

- MIES (Mission interministérielle sur l'effet de serre) (2000) : *Programme national de lutte contre le changement climatique*, Paris.
- Milleron J-C., R. Guesnerie et M. Cremieux (1979) : *Calcul économique et décisions publiques*, Commissariat général du Plan, Paris.
- Mulatu A, R. Florax et C. Withagen (2002) : *Environmental Regulation and competitiveness: An Exploratory Meta-Analysis*, Mimeo, Vrije University, Pays-Bas.
- NAS (National Academy of Sciences) (2002) : *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises*, Ocean Studies Board, Polar Research Board, Board on Atmospheric Sciences and Climate, National Academy Press, Washington DC.
- Neary P. (1999) : *International Trade and the Environment: Theoretical and Policy Linkages*, Mimeo, University College, Dublin.
- Newell D. et Pizer W. (2000) : « Regulating Stock Externalities Under Uncertainty », *Resources for the Future*, DP 9910, Washington DC.
- Nordhaus W.D. (1993) : « Rolling the 'DICE': An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases », *Resource and Energy Economics*, 15, pp. 27-50.
- Nordhaus W.D. (2000) : « From Porcopolis to Carbopolis: The Evolution from Pork Bellies to Emissions Trading » in *Emissions Trading*, Kosobud (ed.), John Wiley, New York, pp. 61-73.
- Nordhaus W.D. (2001) : *After Kyoto: Alternative Mechanisms to Control Global Warming*, Présentation à la session de l'American Economic Association et de l'Association of Environmental and Resource Economists, Atlanta, Georgie, 4 janvier.
- Nordhaus W.D. et J. Boyer (2001) : *Warming the World: Economic Models of Global Warming*. MIT Press, Cambridge MA.
- Philibert C. (1999) : « The Economics of Climate Change and the Theory of Discounting », *Energy Policy*, vol. 27, n° 15, pp. 913-927.
- Philibert C. (2000) : « How Could Emissions Trading Benefit Developing Countries », *Energy Policy*, vol. 28, n° 13, pp. 947-956.
- Philibert C. (2002) : *Evolution of Mitigation Commitments*, Agence Internationale de l'Énergie, Paris.
- Philibert C. et J. Pershing (2001) : « Des objectifs climatiques pour tous les pays : les options », *Revue de l'Énergie*, 524, février, pp. 92-104.
- Résolution sur le principe de précaution (2000) : *Sommet européen des chefs d'État et de gouvernement*, Nice, décembre.
- Rieu J. (2002) : *Politiques nationales de lutte contre le changement climatique et réglementation de la concurrence : le cas de la fiscalité*, Mimeo, Ministère de l'Écologie et du Développement durable, D4E.

- Thorning M. (2002) : *Kyoto Protocol and Beyond: Economic Impacts on EU Countries*. American Council for Capital Formation, Center for Policy Research.
- Victor D. (2000) : *Collapse of the Kyoto Protocol*, Princeton University Press
- Weitzman M. (2001) : « Gamma Discounting », *American Economic Review*, 91, 1, pp. 260-271.
- Weyant J. et J. Hill (1999) : « The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi Model Evaluation. Introduction and Overview », *The Energy Journal*, Special Issue on the Cost of the Kyoto Protocol.

Glossaire

- AI** scénario « accord initial » de Kyoto
- AIE** Agence internationale de l'énergie
- Annexe 1** Les pays qui s'étaient engagés à des cibles de réduction des émissions lors de la signature de l'Accord de Kyoto sont désignés par les pays dits « de l'Annexe 1 ». Il s'agit de trente-six pays industrialisés et en transition mentionnés dans l'Annexe 1 de la Convention cadre des Nations unies sur le changement climatique. La liste consiste en l'Australie, l'Autriche, la Belgique, la Bulgarie*, le Canada, la Croatie*, la République Tchèque*, le Danemark, l'Estonie*, la Finlande, la France, l'Allemagne, la Grèce, la Hongrie*, l'Islande, l'Italie, le Japon, la Lituanie*, la Lettonie*, le Liechtenstein, le Luxembourg, Monaco, les Pays-Bas, la Nouvelle-Zélande, la Norvège, la Pologne*, le Portugal, la Roumanie, la Fédération de Russie*, la Slovaquie*, la Slovénie*, l'Espagne, la Suède, la Suisse, l'Ukraine*, le Royaume-Uni et les États-Unis d'Amérique, ces derniers ayant ultérieurement déclaré leur intention de ne pas ratifier le Protocole et donc de ne pas adopter de cibles de réduction d'émission. Les cibles d'émission varient selon les pays. L'astérisque dénote les pays en transition vers une économie de marché.
- Annexe B** Les pays de l'Annexe B sont trente-neuf pays qui sont cités dans l'Annexe B du Protocole de Kyoto comme s'étant engagés dans des réductions d'émission. Les émissions légalement contraignantes varient selon les pays. Bien que les termes « Annexe 1 » et « Annexe B » soient souvent utilisés de manière interchangeable, ce sont les pays de l'Annexe 1 qui peuvent en pratique investir dans des projets de mise en œuvre conjointe et de mécanismes de développement propre (les projets éligibles au titre du mécanisme de développement propre sont ceux hors Annexe 1). Ce sont cependant les pays de l'Annexe B qui ont des obligations de réduction d'émission dans le cadre du Protocole de Kyoto.
- La Biélorussie, la Turquie font partie de l'Annexe 1 mais pas de l'Annexe B. La Croatie, le Liechtenstein, Monaco et la Slovénie font partie de l'Annexe B mais pas de l'Annexe 1.

BM	scénario Bonn-Marrakech (Protocole de Kyoto)
CEA	Commissariat à l'énergie atomique
CEI	Communauté des États indépendants
CIRED	Centre international de recherche sur l'environnement et le développement, laboratoire du CNRS
CM	scénario du compromis manqué à La Haye (Protocole de Kyoto)
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CNUCC	Convention cadre des Nations unies sur le changement climatique
COP	Conférences des Parties (Protocole de Kyoto)
EEE	Économies d'Europe de l'Est
EHSS	École des hautes études en sciences sociales
EV	variation équivalente (surplus compensé des consommateurs utilisé pour fournir un équivalent monétaire des variations de bien-être d'une économie)
GATT	Accord général sur les droits de douanes et les échanges (sigle anglais)
GES	gaz à effet de serre
GIEC	Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC en anglais)
GPW	<i>Global warming power</i> (indice de pouvoir de réchauffement d'un gaz en équivalent CO ₂)
GtC	Gigatonne de carbone
IAE	sigle anglais de AIE
IASA	<i>International Institute for Applied Systems Analysis</i>
IPCC	sigle anglais de GIEC
KW	Kilo Watt
KWc	Kilo Watt calorifique
KWe	Kilo Watt électrique
MDP	mécanisme de développement propre
MIES	Mission interministérielle pour l'effet de serre (France)
MteC	million de tonnes équivalent carbone.
NACC	<i>National assessment of climate change</i> (programme des États-Unis)
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique (OECD en anglais)

OMC	Organisation mondiale du commerce
OPEP	Organisation des pays exportateurs de pétrole
PED	pays en développement
PIB	produit intérieur brut
PMA	pays les moins avancés
PNLCC	Programme national de lutte contre le changement climatique (France)
ppm	partie par million en volume (10^{-6})
ppt	partie par billion en volume (10^{-12})
R&D	recherche et développement
t	tonne (10^3 kilogrammes)
TGAP	taxe générale sur les activités polluantes
UNFCC	sigle anglais de CNUCC
W	Watt (unité de puissance)

Symboles chimiques

O₂	oxygène
C	carbone
CFC	chlorofluocarbure
CH₄	méthane
CO₂	dioxyde de carbone ou gaz carbonique
HCFC	hydrochlorofluocarbures
HFC	hydrofluorocarbures
N₂O	protoxyde d'azote (ou acide nitreux ou oxyde nitreux)
NO_x	oxyde d'azote (autre que protoxyde)
SO₂	dioxyde de soufre