

# Faut-il modérer le changement climatique ?

Minh Ha Duong\*

9 octobre 1998

## Résumé

Ce texte commence par une présentation du changement climatique: pourquoi est-ce un problème social majeur et comment les gouvernements y répondent ils ? La section suivante est consacrée à l'analyse économique de cette réponse, autour notamment des accords signés à Kyoto. Elle aborde les thèmes de l'actualisation, de l'inertie des systèmes énergétiques et du progrès technique. Enfin, la conclusion discute une caractéristique fondamentale pour l'analyse économique de ce type de problème d'environnement: l'incertitude. La thèse sous jacente à cet article [3] est que l'irréversibilité est une raison justifiant une action de précaution, c'est à dire une réduction sensible à court terme des émissions atmosphériques de dioxyde de carbone d'origine humaine.

## 1 Introduction

La composition chimique de l'atmosphère a connu des changements importants depuis la révolution industrielle. La quantité de méthane dans l'air a augmenté de 145% et celle de dioxyde de carbone de 30%. Il est connu depuis plusieurs siècles que ces gaz, comme la vapeur d'eau, contribuent à l'effet de serre en captant l'énergie rayonnée depuis la surface de la planète.

Ces phénomènes sont à la base du changement climatique, un dossier qui ne cesse de prendre de l'importance depuis quelques années. La diminution des émissions polluantes de gaz à effet de serre contribue déjà à l'orientation des politiques énergétiques nationales. Ce texte explique pourquoi, dans un avenir proche, elle devrait concerner tous les citoyens dans leurs choix quand à la façon de consommer, de se déplacer et de se loger.

---

\*Chargé de Recherches au CNRS, Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement. CIREN, Jardin Tropical - 45 bis avenue de la Belle Gabrielle, 94732 Nogent sur Marne CEDEX. haduong@centre-cired.fr.

La section 2 qui suit s'attache à montrer la nature du problème constaté et les solutions mises en oeuvre. Elle procède d'une plus approche transversale des enjeux sociaux du problème. Suivant ces fondements généraux, la partie 3 et la conclusion, axées sur un débat scientifique concernant le timing des efforts de réduction de la pollution (faut-il agir et quand?), se rapportent plus spécifiquement aux problèmes d'analyse économique liés à l'évaluation de la politique climatique.

## 2 Du phénomène physique au problème politique

Comme nous l'avons vu en introduction, la composition chimique de l'atmosphère a récemment évolué dans un sens susceptible de conduire à un réchauffement global. Mais les effets de la perturbation sur la température, les précipitations ou le niveau de la mer s'inscrivent sur le fond d'une variabilité naturelle importante. Par exemple, selon les climatologues, depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle la température moyenne globale semble bien avoir augmenté de 0,3°C à 0,6°C environ, alors que sa plage de variabilité 'naturelle' pendant les derniers dix mille ans serait de l'ordre de 1°C.

### 2.1 Réalité du problème

On peut donc soulever avec inquiétude la question de l'attribution de la responsabilité anthropique aux changements climatiques observés. Aujourd'hui un faisceau d'indices scientifiques converge vers une confirmation statistique de cette responsabilité[7]. On ne peut guère s'en étonner, compte tenu de l'accroissement des moyens de calculs informatiques, mais aussi par l'amélioration des modèles ainsi que de la qualité et de la quantité des données qu'ils utilisent: le signal devient de plus en plus important chaque année. Cependant, même si la quête de la certitude mathématique avec toujours plus de décimales exactes est importante pour mieux prédire le changement climatique, la fraction d'incertitude résiduelle ne doit pas être exagérée.

La figure 1 montre, à droite, différents hypothèses de réchauffement  $\Delta T$  global correspondant, à gauche, à différents scénarios d'évolution de la concentration atmosphérique de  $CO_2$  définies dans [6]. Le profil S350, par exemple, suppose que la concentration va cesser d'augmenter avant le milieu de XXI<sup>e</sup> siècle, pour revenir vers 2150 à peu près au niveau de l'année 1988 soit 350 parties par million. La barre d'erreur horizontale correspondante à droite montrent que le réchauffement global à long terme dans ce cas est évalué entre un peu moins de +1°C et +2.5°C, avec une estimation de l'ordre de 1.5°C. Toutefois, ce scénario serait économiquement très diffi-

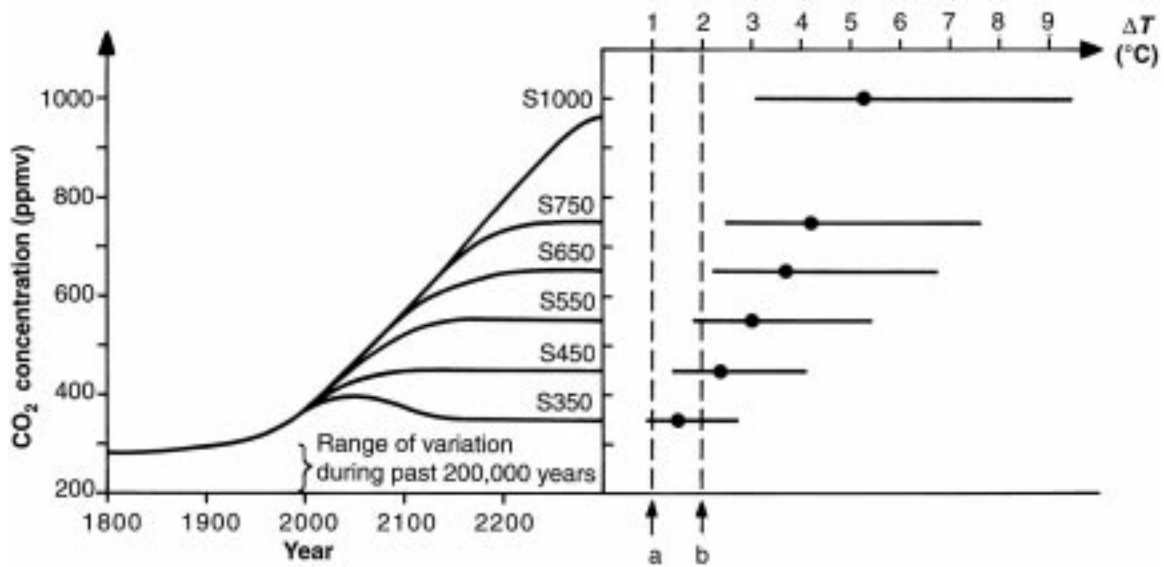


FIG. 1 – A gauche, scénarios de stabilisation de la concentration de  $CO_2$  dans l'atmosphère. A droite, réchauffement global correspondant, en valeur centrale (points) et plage d'incertitude (segment horizontaux). La ligne verticale pointillée a dénote la variabilité naturelle, la verticale pointillée b dénote le seuil reconnu comme dangereux par le Stockholm Environmental Institute. D'après Azar et Rodhe, *Science*, 1997.

cile à réaliser. Il impliquerait en pratique une diminution immédiate et drastique de la consommation mondiale de combustibles fossiles, difficilement conciliable avec les tendances lourdes de la démographie et de l'économie. A terme, un réchauffement global non négligeable devant la variabilité naturelle est donc l'hypothèse la plus réaliste.

Faut-il pour autant s'alarmer d'un tel réchauffement ? Comme on peut le lire çà et là, après tout, la plupart d'entre nous préfèrent avoir chaud que froid ! Réfléchir ainsi à court terme sous-estimerait considérablement l'ampleur du problème. En l'absence de régulation forte des marchés, on ne voit pas ce qui empêcherait la consommation d'énergie fossile de continuer à augmenter au siècle prochain, tirée par la croissance démographique et économique. Les réserves cumulées de pétrole, gaz et surtout de charbon semblent aujourd'hui largement suffisantes pour suivre ou dépasser le scénario S1000. Le réchauffement global, pouvant atteindre 6.4° C à l'horizon 2100 et bien au delà ensuite [7], risque de dépasser largement tout 'optimum climatique'.

A ce stade, il semble important de souligner la différence entre la cause, *le réchauffement global* et une conséquence, *le changement climatique*.

- La moyenne annuelle de la température pour toute la surface du globe est un indicateur qui a le mérite d'être synthétique et clair. Mais un chiffre moyen pouvant sembler faible peut très bien masquer des variations locales et intra-annuelles importantes.
- De plus, on ne doit pas perdre de vue que les climats ne se limitent pas à la température: pour l'agriculture, la répartition des apports d'eau dans l'année, le nombre de jours de soleil ou la date de la dernière gelée sont tout aussi importants.
- Enfin, il existe d'autres conséquences du réchauffement global, comme la hausse du niveau des mers consécutif à la dilatation thermique des océans. Le niveau a monté de 10 à 25 cm au siècle passé, et on peut s'attendre à quelques dm supplémentaires d'ici à 2100.

La complexité de toutes ces conséquences permettent de comprendre pourquoi les modèles intégrés actuels sont insuffisamment précis pour évaluer les risques à l'échelle locale. On sait par exemple que le courant marin dans l'Atlantique Nord qui assure la douceur hivernale en Europe occidentale, le Gulf Stream, peut être considérablement affaibli dans une configuration climatique plus chaude. C'est d'ailleurs pourquoi certains scientifiques qualifient la circulation thermohaline Nord-Atlantique de 'talon d'Achille' du climat. Mais on ne sait pas prédire quand cet affaiblissement se produirait. Il est également difficile de relier le changement de régime du phénomène El-Niño depuis quelques années à l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre.

L'humanité s'est développée et adaptée à des conditions climatiques

relativement stables. Cette adaptation s'est traduite, par exemple, par une répartition du peuplement mondial, par l'édification de villes, de ports et autres infrastructures, par la structuration de sociétés autour de techniques agricoles, et aussi par l'accoutumance aux insectes, parasites et pathologies diverses qui accompagnent les conditions climatiques. Il existe un risque réel que les conditions bifurquent rapidement. En ce cas l'adaptation ne sera pas nécessairement un exercice gratuit et facile. Celui-ci peut au contraire s'avérer coûteux et tragique, tant que ces conditions ne seront pas stabilisées.

## 2.2 Le traitement international

Le débat précédent n'est peut être pas encore bien connu du grand public, comme en témoignent de façon récurrente les colonnes Débats du journal *Le Monde*. Au niveau gouvernemental toutefois, les questions de l'attribution et d'existence du risque que nous venons d'examiner plus haut ne se posent plus vraiment depuis qu'en 1992 à Rio, la plupart des pays ont reconnu explicitement le risque à long terme de la pollution d'origine humaine par les gaz à effet de serre.

Conscients de l'importance du problème, les États mettent en oeuvre des politiques de deux ordres pour y répondre. D'une part, des mesures d'*adaptation* visent à atténuer les effets des perturbations d'ores et déjà inévitables. D'autre part, pour la sécurité du climat, il est nécessaire de réduire les niveaux d'émissions mondiales de gaz à effet de serre nettement en dessous des niveaux actuels. C'est l'objectif ultime des mesures de *modération* du changement climatique et du processus mis en place à Rio de Janeiro en 1992 avec la signature de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique, appelée aussi la Convention Climat. Outre sa valeur symbolique, la Convention a organisé la réflexion internationale sur les plans diplomatique et scientifique.

[www.unfccc.de](http://www.unfccc.de)

L'action diplomatique est d'une envergure supérieure à celle des accords de Montréal sur la limitation des Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone. Son étendue la rapprocherait davantage de l'exemple des discussions sur le commerce international, commencées dès 1948 et n'ayant abouti à l'OMC qu'en 1996. Au stade actuel, les pays développés tentent d'élaborer entre eux une règle du jeu acceptable. Tous les pays n'attendent pas l'émergence éventuelle d'un système de permis d'émissions échangeables pour agir. La Suède, par exemple, a introduit dès 1991 une taxe sur les émissions de dioxyde de carbone.

Les aspects scientifiques du dossier sont suivis par le *Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat*. Le GIEC, aussi appelé IPCC en anglais, est une institution originale placée sous la double égide de l'Organisation Météorologique Mondiale et du Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Sa fonction est de traiter de l'état général des con-

[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

	Année de base 1990	Estimation 1995	Projection 2010		
Union Européenne	949	936	-1%	873	-8%
OCDE moins UE	2086	2254	+8%	1961	-6%
Pays en transition	1311	925	-29%	1298	-1%
Total Annexe I	4346	4115	-5%	4132	-5%
Hors-Annexe I	1774	2225	+25%	4007	+126%
Total Monde	6120	6340	+4%	8139	+33%

TAB. 1 – *Emissions de CO<sub>2</sub> d'origine fossile par grandes régions, en Mt de carbone par an. Variations par rapport à l'année de base 1990. Les projections pour l'Annexe I correspondent au Protocole de Kyoto, pour les pays en développement on suppose un taux de croissance annuel des émissions de 4%.*

naissances scientifiques et techniques se rapportant au changement climatique. Ses travaux visent donc à représenter l'ensemble des opinions publiées dans des revues scientifiques. Pour cela, plus de deux mille experts de par le monde participent à la rédaction et à l'analyse de ses textes, et un effort particulier est fait pour inclure les pays en développement. Des gouvernements représentant l'ensemble de la planète approuvent et ratifient les documents du point de vue scientifique et technique. C'est pourquoi ses rapports bénéficient d'une autorité légitime et peuvent avoir un rôle de support objectif dans les débats internationaux.

## 2.3 Le Protocole de Kyoto

Même si les engagements pris reflètent d'abord l'aboutissement de rapport de forces politiques et diplomatiques entre les nombreuses parties prenantes aux négociations, l'argument scientifique ne saurait être totalement absent de l'orientation des débats. Les travaux les plus récents du GIEC mettent en évidence la détection statistique de la responsabilité humaine dans la perturbation du climat. Ce point confirme la nécessité de réduire à *long terme* les émissions polluantes bien en dessous du niveau actuel. Toutefois, la question de l'action à *court terme* reste moins consensuelle.

Des divergences à ce sujet sont apparues à l'occasion de la Conférence de Kyoto en 1997, d'autant plus clairement que le débat s'était focalisé sur un paramètre simple : un objectif de réduction et de limitation d'émission quantifié. Ce paramètre signifie que si les émissions polluantes constatées en

1990 étaient de 100 et l'objectif est  $x\%$ , alors les émissions permises en 2010 sont de  $100 \times (1 - x)$ ). Sous ce rapport, les observateurs ont pu apprécier la différence entre la proposition américaine de stabilisation des émissions, soit  $x = 0\%$ , et la proposition européenne d'un ambitieux  $x = 15\%$ . Ils ont aussi pu remarquer le remarquable sens arithmétique des négociateurs, puisque l'accord s'est conclu exactement au milieu du gué ( $x = 7\%$  pour les américains et  $x = 8\%$  pour l'europe, voir la table 1 d'après [1]).

Concernant les pays développés, dit aussi "cités à l'Annexe I de la Convention Climat", le Protocole de Kyoto peut être vu comme une invitation à échanger des unités de réduction, entre l'OCDE et les Pays en transition. Pour l'Annexe I dans son ensemble, le Protocole ne stipule pas de réduction au delà du  $-5\%$  existant en 1995. La table 1 montre clairement que le monde reste dans une logique de croissance des émissions de gaz à effet de serre. Or c'est une décroissance durable qui serait nécessaire à la stabilisation des concentrations. A plus long terme, on peut montrer que si les pays de l'Annexe I ne parviennent pas à coopérer avec les pays Hors Annexe I pour la période 2010-2020, alors l'objectif de stabilisation à 450 ppmv de la concentration atmosphérique de  $CO_2$  deviendra très difficile à atteindre.

Au delà de ces deux aspects relativement transparents, la critique du Protocole de Kyoto appelle aussi de nombreuses questions plus difficiles.

### 3 Comment évaluer la politique climatique ?

Comment évaluer, maintenant d'un point de vue économique, ces engagements chiffrés qui orientent la politique climatique globale ? La figure 1 montrait les conséquences possibles des scénarios S550 et au dessus en ce qui concerne le réchauffement global. Mais pour répondre à la question précédente, il est nécessaire de s'intéresser plutôt aux effets du changement climatique sur les sociétés humaines, et non sur la température. Le problème de l'incertitude prend alors une importance supérieure pour l'évaluation des politiques de court terme. Nous y reviendrons, mais dans cette partie commençons par examiner une question plus précise: Avec quel objectif climatique à long terme Kyoto est-il cohérent ?

Bien que l'incertitude reste le problème fondamental, une analyse économique grossière des coûts et des avantages reste toujours possible, et nécessaire. Comme dit plus haut, il semble clair que viser un objectif de 350 ppmv demanderait des efforts très importants, disproportionnés par rapport aux bénéfices attendus. La concentration actuelle est de l'ordre de 360 ppmv, il faudrait revenir en arrière. Il semble plus simple de tolérer un changement climatique léger et de s'y adapter. Mais d'un autre côté, il n'est pas possible de courir le risque associé à S1000, avec un réchauffement potentiel supérieur à  $9^\circ C$ . Dans tous les pays, le secteur énergétique est fortement régulé, et les possibilités techniques à long terme sont immenses.

Afin de mieux comprendre ce qui pourrait amener à préférer, dans cet intervalle très large ouvert entre 350 et 1000 ppmv, un objectif environnemental plutôt qu'un autre, nous explorerons trois aspects critiques que sont l'actualisation, la flexibilité et le progrès technique.

### 3.1 L'actualisation

La courbe de la population mondiale a récemment connu un point d'inflexion: sa croissance est appelée à se ralentir davantage dans le futur. De même, il peut être possible de s'attendre à une baisse tendancielle du taux d'enrichissement par habitant au cours de siècle prochain. Mais compte tenu du développement économique observé sur les deux derniers siècles, dans l'ensemble, les décideurs peuvent s'attendre à ce que nos descendants soient plusieurs fois plus riches que nous. Comment, dans ces conditions, évaluer des mesures qui mettent en jeu simultanément les intérêts de générations existantes et futures ?

L'actualisation (ou escompte) est le principal outil analytique dont se servent les économistes pour comparer les effets se produisant à des périodes différentes. Son principe est celui des intérêts composés: au taux  $r$ , 1 unité de compte aujourd'hui équivaut à seulement  $1/(1+r)$  unités à la période suivante. Le choix du taux d'actualisation a une grande importance technique pour l'analyse de la politique en matière de changement climatique, car l'horizon temporel est extrêmement long et le coût de l'atténuation a tendance à être ressenti bien plus tôt que les bénéfices des dégâts évités. Plus ce taux est élevé, plus les futurs bénéfices sont négligeables et plus les coûts actuels prennent d'importance dans l'analyse.

Une théorie du taux d'actualisation est d'autant plus nécessaire qu'il serait invraisemblable de reprendre pour l'environnement global une valeur aussi élevée que les 8% utilisés pour le calcul économique courant des investissements de l'État en France. Cette théorie a aussi un intérêt en elle-même, car elle relie directement aux interrogations les plus profondes de la pensée économique, notamment celles relatives à la croissance et l'accumulation du capital.

Pour déterminer un taux d'actualisation, on reconnaît aujourd'hui deux approches:

- La première approche, dite descriptive, met en parallèle les mesures de protection du climat et les autres investissements de la société. De même que l'éducation contribue à accumuler du capital humain, et la croissance du capital industriel, il s'agit de reproduire et de transmettre un patrimoine.

La théorie de l'efficacité économique suggère alors d'égaliser le taux d'actualisation avec le taux de rentabilité des autres investissements



publics à long terme ne comprenant aucun risque. Les études empiriques concernant ce dernier conduisent à suggérer un taux situé entre 3% et 6% à prix constant.

- La seconde approche, dite normative, considère l’actualisation comme un paramètre fondé sur l’éthique des choix collectifs. On actualise alors la consommation des diverses générations au moyen d’un “taux de préférence collective pour le présent”, défini comme la somme de deux termes:

**Le taux de préférence pure pour le présent** renvoie à l’idée d’impatience et mesure en quelque sorte la distance à laquelle nous situons les intérêts des générations futures par rapport à ceux de la génération présente. Il est usuellement pris entre 0% et 1%.

**L’effet richesse** provient du fait que nous pensons que les conditions de vie des générations futures seront meilleures que les nôtres, et nous pensons que la valeur supplémentaire d’une unité de biens sera moindre dans les sociétés plus riches du futur. Cet effet peut être contesté compte tenu de la nature particulière des biens environnementaux et des ressources naturelles. Cependant, il peut s’illustrer de façon assez convaincante par l’exemple suivant: La satisfaction qu’un consommateur moderne tire d’un kilo de farine de blé est certainement inférieure à ce que son ancêtre du XIX<sup>e</sup> siècle en tirait.

Au total, cette approche normative conduit à considérer des taux en général inférieurs à 3%.

Le choix du taux d’actualisation est un problème parce que c’est un paramètre critique pour l’évaluation des politiques climatiques, et que les diverses méthodes disponibles donnent des résultats sensiblement différents. Ce problème ne peut pas être contourné en raisonnant selon une approche coût-efficacité, c’est à dire en examinant seulement comment atteindre à moindre coût un objectif climatique donné par ailleurs. Certes, cela dispense d’évaluer formellement les bénéfices de la modération du changement climatique. Mais l’analyse suggère toujours de reporter d’autant plus les efforts sur les générations futures que le taux d’actualisation utilisé est élevé.

A ce stade, diverses réponses sont possibles. La plus pragmatique consisterait à regarder ce paramètre comme un instrument subjectif, les points de vues différents étant également valides dans la mesure où ils sont clairs et correctement argumentés. La plus radicale consiste à rejeter l’idée de la recherche d’un optimum économique, pour se concentrer sur l’analyse des trajectoires faisables ou possibles. Entre ces attitudes, s’élabore actuellement un volume de travaux important sur le choix collectif et le développement durable, dont on peut espérer un jour des outils formels et numériques plus satisfaisants

## 3.2 La flexibilité et l'inertie

Le second point clé qu'il est nécessaire de discuter pour évaluer les politiques climatiques décrit la possibilité de changer plus ou moins rapidement avec des coûts d'ajustement plus ou moins élevés. La flexibilité a deux effets opposés sur la désirabilité d'un effort de réduction à court terme.

- D'un côté, l'inertie liée au capital en place impose le changement dans la continuité, en interdisant toute déviation rapide des trajectoires actuelles.
- De l'autre, cette même inertie implique qu'il est d'autant plus urgent de débiter les réformes tôt que celles-ci seront longues à réaliser.

Métaphoriquement, on retrouve ici le schéma d'opposition entre le lièvre et la tortue. Celle-ci doit soutenir un effort constant tout au long de la course, et en particulier dès le départ. Le premier peut se permettre de démarrer fort, mais compte surtout être en mesure de compléter rapidement le trajet sur la fin, et à cause de sa préférence pour le présent (l'actualisation !), il y trouve intérêt.

Nous parlons ici de la transition vers des sociétés moins émettrices de carbone, ce qui exigera le remplacement de la base matérielle de l'économie. La vitesse à laquelle ce renouvellement du capital en place peut s'effectuer sans entraîner de coûts d'ajustement trop élevés correspond au rythme d'amortissement naturel des équipements. Il est plus pratique de considérer, plutôt que ce rythme de dépréciation, la durée de vie  $D$  des systèmes énergétiques comme mesure de la flexibilité.

Cela permet d'apprécier, en première approximation, l'urgence de faire démarrer les politiques de modération de l'effet de serre, en comparant cette durée de réforme du système socio-économique  $D$  avec le temps restant  $T$  avant que le climat franchisse un seuil de danger. Si l'actualisation incite à repousser les efforts dans le futur, l'inertie fixe la durée totale de ces efforts et impose de commencer à temps pour ne pas encourir de coûts d'ajustement trop élevés.

L'histoire énergétique des deux derniers siècles montre une succession de formes d'énergie primaire dominante de moins en moins polluantes, la biomasse, le charbon, le pétrole, et peut-être demain le gaz. Chaque transition a pris environ un demi-siècle. Ce chiffre, pour  $D$ , pourrait sembler élevé devant la durée de vie d'une centrale thermique ou des équipements ménagers. Ce serait oublier que les systèmes énergétiques sont aussi déterminés par un ensemble de facteurs interdépendants plus large, tant pour l'offre que pour la demande. La production, le transport et la distribution font appel à des infrastructures lourdes, souvent à l'échelle nationale comme des ports ou des pipe-lines. La structure de l'habitat, la qualité du bâti et les schémas de transports dépendent de considérations sociales encore plus générales, tout ceci évoluant lentement à l'échelle de la génération.

Pour se faire une idée sur  $T$ , on peut considérer que la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, qui était de l'ordre de 280 ppm avant la révolution industrielle, atteint aujourd'hui environ 365 ppm et augmente environ de 15 ppm par décennie. Certains ont pu fixer un seuil de danger climatique à 2°C de réchauffement global, ce qui serait très probablement atteint après que la concentration s'élève à 450 parties par million (ppm) et très probablement dépassé si elle atteignait 550 ppm.

Cette évaluation permet de justifier l'urgence de l'action si l'on souhaite respecter ce seuil de danger. En l'absence de mesures, la concentration de  $CO_2$  pourrait atteindre 450 ppm avant le milieu du siècle prochain,  $T \leq 50$ . C'est en tout cas le point de vue transparaissant dans le Protocole de la Convention Climat, qui ne laisse pas de délai pour débiter une redirection de la production et de la consommation d'énergie mondiale.

### 3.3 Le progrès technique

Le jeu combiné de l'inertie ( $D$ ) et de l'actualisation permet, étant donné un objectif environnemental ( $T$ ), une approche empirique approximative concernant la question de la répartition temporelle des efforts de réduction, évoqués notamment dans [11]. Peut-on préciser davantage ?

A court terme, il semble que les technologies aujourd'hui disponibles ouvriraient de nombreuses potentialités de réduction d'émissions. Mieux même, on estime souvent que plus de 10% de réduction serait accessible à coût négatif ou nul, à l'aide d'options 'sans regrets'.

Mais lorsque l'on cherche à projeter l'analyse au-delà de 20 ans, pour une évaluation quantitative plus fine du coût de la limitation des émissions, et de la stabilisation de la concentration de  $CO_2$  à tel ou tel niveau, alors la question du progrès technique à long terme dans différents secteurs se pose [9, 2].

L'objectif final pour résoudre le problème du changement climatique est de développer des nouveaux moyens de production et de consommation d'énergie. L'état actuel des connaissances sur l'évolution des conditions de production économique ne permet pas une approche prédictive. La question centrale de savoir ce qui crée le progrès technique, et au fond la richesse de nos sociétés, n'est toujours pas résolue.

A ce propos, nous allons montrer maintenant comment la vue que l'on peut avoir à propos du lien entre réduction d'émissions et progrès technique a des conséquences directes sur le contenu des actions à engager.

- Si on suppose que l'essentiel du progrès technique est produit par l'accumulation des connaissances et des dépenses publiques de Recherche-Développement, on pourrait en principe développer de nouvelles technologies, sans pour cela diminuer simultanément les émissions.

Dans une ‘première phase’, les Etats pourraient consacrer l’essentiel des ressources contre le changement climatique à la recherche et au développement des solutions énergétiques alternatives. Il s’agirait de développer des prototypes et des pilotes, en vue d’une ‘deuxième phase’ de la résolution du problème, au cours de laquelle se ferait l’essentiel de la réduction des émissions. Une telle approche permettrait de gagner quelques décennies avant d’agir, puisque on pourrait polluer tant qu’on accumule une réserve de progrès technique suffisant.

- Toutefois, plusieurs arguments s’opposent à cette politique ‘Attendre et dépenser, puis courir’. Développer des technologies sans base installée est difficile, car l’histoire montre que le progrès favorise nettement les technologies existantes. De plus, faire pénétrer rapidement une vague de nouvelles technologies moins polluantes dans le secteur de l’énergie semble difficile cause du couplage des technologies.

En effet, les différentes composantes des systèmes techniques dépendent les unes des autres et ne peuvent pas être remplacées indépendamment de façon modulaire. Ces deux rétroactions positives induisent des verrouillages technologiques (lock-in) qui font que le passage du temps ne correspond pas nécessairement à l’augmentation du nombre des options possibles.

C’est pourquoi on peut penser que l’essentiel du progrès technique dans un domaine est induit par les changements dans les conditions du marché correspondant, et non par une accumulation de connaissances scientifiques globales ou par la dépense publique de R&D. Tenter d’accélérer le progrès technique sans vouloir restreindre les émissions polluantes pourrait être une politique peu cohérente et inefficace.

Le Protocole de Kyoto peut sembler se situer dans la seconde perspective. Force est de reconnaître qu’actuellement, une bonne part de la R&D privée vise à l’amélioration des technologies à base de combustibles fossiles. Des politiques contraignantes en matière d’émissions de  $CO_2$  tendraient à créer des incitations appropriées sur les marchés de l’énergie pour réallouer une part de cette R&D sur les technologies peu ou pas émettrices.

Cependant, le bilan des implications de l’accord de Kyoto sur le progrès technique nous semble plutôt mitigé. En effet, le dispositif mis en place n’offre pas encore le cadre stable à long terme nécessaire pour justifier des investissements industriels importants dans les nouvelles technologies. De plus, alors qu’une responsabilité anthropique dans le changement climatique le justifierait, le Protocole ne va pas au delà du ‘sans regret’.

## 4 Conclusion: Le principe de précaution

Nous pouvons maintenant revenir au problème fondamental de l'incertitude. Certes, l'accord de Kyoto est compatible avec un objectif plus proche de 450ppmv que 550ppmv, mais la souveraineté des États demeure quant à l'orientation effective des politiques énergétiques. Compte tenu du blocage du Sénat américain, on est loin d'être assuré, par exemple, que ce Protocole, sera un jour juridiquement valable.

On ne peut pas exclure aujourd'hui que l'objectif final s'élève, par exemple, à une concentration de 650 ppm de  $CO_2$  dans l'atmosphère. Or pour ce niveau ou au-dessus, les analyses que nous venons d'exposer laissent penser que les objectifs fixés à Kyoto sont économiquement inefficaces. Est-ce à dire qu'il est peut être plus urgent d'attendre ?

Non, car il ne s'agit pas de décider une fois pour toutes de la politique climatique à suivre dans les 100 ans à venir, mais de choisir une stratégie prudente qui sera ajustée au fil du temps avec l'arrivée de nouvelles informations. En introduisant l'incertitude, le débat sur le timing gagne de nouvelles dimensions:

- La plus immédiate est l'aversion au risque, ou tout simplement la prudence. On admet généralement qu'un bon père de famille ne devrait pas jouer de grosses sommes, même si l'espérance de gain nette est positive. De même, on peut penser assez légitimement que les sociétés devraient accorder une attention particulière aux risques globaux majeurs, mêmes si ceux-ci sont de probabilité inconnue ou faible.
- La seconde dimension est le lien entre l'action et l'arrivée d'information. Par exemple, les réductions d'émissions de gaz à effet de serre diminuent le changement climatique. Cela tend à atténuer l'émergence du signal d'alarme observé par rapport au bruit de fond que représente la variabilité naturelle. Bien que mis en avant dans certains travaux, ce effet nous semble négligeable. Mettre en oeuvre le protocole de Kyoto, par exemple, ne ferait gagner que 1.5 ppm de dioxyde de carbone dans l'atmosphère sur une concentration de l'ordre de 400 ppm. En revanche, l'argument identique concernant les coûts de réduction semble beaucoup plus fort. La mise en place des marchés pour les technologies moins polluantes est susceptible de conduire à une meilleure connaissance de ces technologies, ce qui permettrait éventuellement de bénéficier d'une baisse significative de leurs coûts.
- Enfin, le dernier et peut être le plus important effet justifiant le principe de précaution tient peut être à l'irréversibilité. D'un côté, l'action peut entraîner des coûts économiques importants et irrécupérables qui risquent de s'avérer inutiles a posteriori. Mais de l'autre, retarder davantage l'action et laisser poursuivre la tendance croissante des émissions pol-

luantes conduit à une accumulation de gaz à effet de serre, qui risque d'impliquer des conséquences irréversibles et inattendues.

Il ne nous est pas donné d'exposer ici davantage la théorie micro-économique relative à la prise de décision sous incertitude. Le lecteur intéressé par les liens entre notion de quasi-valeur d'option et de valeur espérée de l'information pourra se reporter à des articles plus spécialisés comme [4, 10, 8].

Le changement climatique est symptomatique d'une classe de dossiers d'environnement où se pose le problème de la connaissance des bénéfices de l'action. On ignore comment s'évaluent les dommages économiques consécutifs au changement climatique en cours, donc il est impossible de quantifier précisément aujourd'hui les avantages des politiques de précaution. Pourtant les objectifs négociés à Kyoto correspondent à la mise en oeuvre sans délai de politiques et de programmes de restriction des émissions de gaz à effet de serre.

La conjonction des effets de l'inertie et de l'incertitude, précédemment sous estimés dans une part importante de la littérature [5], permet de donner une explication rationnelle au principe de précaution: il s'agit de gagner du temps pour que les certitudes scientifiques arrivent avant les bifurcations du système climatique.

## Références

- [1] Bert Bolin. The Kyoto negotiations on climate change: A science perspective. *Science*, 279(5349):330–331, January 16 1998.
- [2] Michael J. Grubb. Technologies, energy systems and the timing of  $CO_2$  emissions abatement. *Energy Policy*, 25(2):159–172, 1997.
- [3] Minh Ha-Duong. *Comment tenir compte de l'irréversibilité dans l'évaluation intégrée du changement climatique?* PhD thesis, École des hautes Études en Sciences Sociales, Paris, april 1998.
- [4] Minh Ha-Duong. Quasi-option value and climate policy choices. *Energy Economics*, pages 1–23, 1998. Forthcoming, Energy Economics.
- [5] Minh Ha-Duong, Michael J. Grubb, and Jean-Charles Hourcade. Influence of socioeconomic inertia and uncertainty on optimal  $CO_2$ -emission abatement. *Nature*, 390:270–274, 1997.
- [6] T.M.L. Wigley I.G. Enting and M. Heimann. *Future Emissions and Concentrations of Carbon Dioxide: Key Ocean/Atmosphere/Land Analyses*. Number 31 in Division of Atmospheric Research Technical Paper. CSIRO, Australia, 1994.
- [7] IPCC. *Second Assessment Synthesis of Scientific-Technical Information Relevant to Interpreting Article 2 of the UN Framework Convention on Climate Change*. UNEP/WMO, 1995.

- [8] Urvashi Narain and Anthony C. Fisher. Irreversibility and catastrophic global warming. In *World Congress of Environmental and Resource Economists*, Venice, Italy, June 25-27 1998. Deposited electronically at the GNEE archive.
- [9] Stephen H. Schneider and Lawrence H. Goulder. Achieving low-cost emissions targets. *Nature*, 389:13–14, 1997.
- [10] Alistair Ulph and David Ulph. Global warming, irreversibility and learning. *The Economic Journal*, 107(442):636–650, 1997.
- [11] T. M. L. Wigley, Richard Richels, and Jae A. Edmonds. Economic and environmental choices in the stabilization of atmospheric  $CO_2$  concentrations. *Nature*, 379(6562):240–243, 1996.