

Introduction

Entre les étés trop secs, les hivers trop doux, les ravages d'El Niño et les tempêtes de Noël, les trois mots « effet de serre » sont en passe de s'imposer subitement au palmarès des expressions les plus employées par les médias nationaux. Si la responsabilité du changement global dans les récents événements climatiques reste encore à démontrer, ces catastrophes n'en demeurent pas moins symptomatiques des risques que l'accumulation de dioxyde de carbone, de méthane et d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère pourrait faire courir à terme au climat de la planète. Il s'agit certes de risques, car tous les maillons de la chaîne qui relie les émissions d'aujourd'hui aux impacts sur le climat et sur les sociétés de demain restent controversés. Mais deux décennies de recherche sur la question climatique offrent aussi des certitudes. En particulier, la double inertie climatique et économique ne nous permet pas d'attendre tranquillement que toutes les incertitudes soient résolues : nous risquerions en effet de prendre une décision trop tardive.

Rappeler que les impacts du changement climatique restent aujourd'hui très mal estimés ne surprendra personne. Il est de notoriété publique en effet que tant la dynamique d'accumulation des gaz à effet de serre que les réactions du climat à la présence de ces composés, les impacts sur les écosystèmes ou les océans, ou encore les dommages finaux sur les économies font l'objet de controverses particulièrement vives au sein de la communauté scientifique. Moins connu peut-être est le fait que les coûts de réduction des émissions, à long terme comme à court terme, sont eux aussi particulièrement discutés, que ce soit au niveau du potentiel de pénétration des nouvelles technologies que des impacts macroéconomiques que toute politique climatique d'envergure ne manquerait pas d'entraîner. Les deux termes de l'arbitrage entre coûts et bénéfices de la lutte contre l'effet de serre se dérobent ainsi aux yeux du décideur qui doit, selon le mot de Lester Lave (1990), « *décider dans un océan d'incertitudes* ».

L'inertie ne nous permettant pas d'attendre pour en savoir un peu plus, nous sommes bien forcés de prendre une décision dès aujourd'hui. De ce point de vue, le tableau que nous venons de brosser n'est guère encourageant. Il suggère en effet que même les outils traditionnels de l'économie publique normative comme l'analyse coûts avantages seront très difficiles à utiliser dans un contexte aussi incertain. Pour filer la métaphore maritime, tout se passe comme si le capitaine ne disposait que d'une carte très imprécise et qu'il ne parvenait plus à remettre la main sur le compas et le sextant. Se pose donc la question de savoir comment choisir un cap, et quels instruments utiliser pour ce faire. La situation se complique encore si l'on constate que le navire a en fait plusieurs capitaines qui ne sont d'accord ni sur la marche, ni sur la direction à suivre. Il s'ajoute donc un sérieux problème de coordination et d'institutions.

1. Contexte : une mer d'incertitudes ?

Avant d'examiner la question de la décision, il est toutefois nécessaire de revenir en détail sur la nature du problème climatique, et en particulier sur la double incertitude climatique et économique qui pèse sur la décision.

1.1. Les impacts controversés du changement climatique

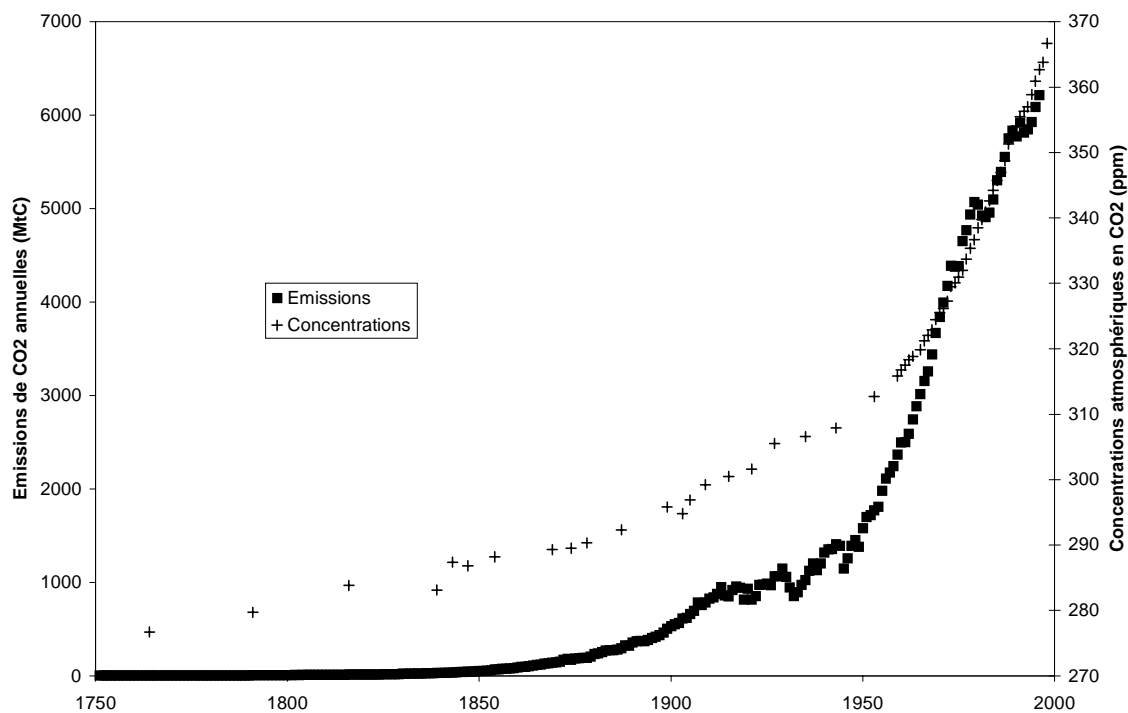
1.1.1. Les bases physiques de l'effet de serre

Rappelons tout d'abord succinctement la nature du mécanisme de l'effet de serre. L'énergie que reçoit notre planète provient du soleil. Une partie de ces rayonnements est renvoyée directement dans l'espace par les différentes couches de l'atmosphère. Le reste, environ les deux tiers de l'énergie

incidente, est absorbé par l'atmosphère, les plantes et le sol. Ce flux d'énergie entrant à la surface terrestre est compensé par des émissions infrarouges du sol vers l'atmosphère. Une partie de ce rayonnement est cependant piégée par des gaz dits gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère et contribue ainsi à augmenter de manière significative la température de l'atmosphère. On estime en effet que si cet « effet de serre » naturel n'existait pas, la température moyenne à la surface du globe serait de 33°C inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui.

Les principaux gaz responsables de l'effet de serre (notés sous l'abréviation GES dans la suite) sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'ozone (O_3) et l'oxyde nitreux (N_2O). D'autres gaz ont un aussi un effet moindre mais réel, comme les halocarbones (Chlorofluorocarbones CFC, Hydrochlorofluorocarbones HCFC, Hydrofluorocarbones HFC). La couverture nuageuse et les particules en suspension jouent aussi un rôle important dans le processus.

A l'équilibre, la Terre émet autant d'énergie qu'elle en reçoit. Par contre, si la concentration atmosphérique de l'un des GES augmente, la quantité de rayonnement infrarouge émis dans l'espace diminue alors que le rayonnement solaire incident reste inchangé. En réaction, la température moyenne à la surface du globe augmente, et le système climatique se modifie de telle sorte que l'équilibre des flux énergétiques soit rétabli. Au contraire, si la concentration d'un GES diminue, la température moyenne à la surface du globe tend à se réduire. C'est cet équilibre thermodynamique qui est à l'origine des préoccupations sur la possibilité d'un changement climatique entraîné par les émissions anthropiques de gaz à effet de serre.



Figures 1 : Emissions de CO_2 annuelles entre 1751 et 1996 (millions de tonnes de carbone, en carrés noirs) et concentrations annuelles atmosphériques de CO_2 (parties par million, petites croix). Source : Marland et al. (1999) pour les émissions de CO_2 , concentrations jusqu'en 1953 obtenues par carottage glaciaire à la station Siple (Neftel et al., 1984), concentrations entre 1953 et 1996 obtenues par prélèvement atmosphérique à la station de Mauna Loa (Keeling et Whorf, 1999).

Nous observons en effet une augmentation très brutale des concentrations en GES dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle. La concentration en CO_2 atmosphérique est en effet passée de 280

ppm¹ (parties par million) vers 1750 à 354 ppm en 1990, la concentration en méthane a été multipliée par 2,5 sur la même période et la concentration en nitrates a augmenté de 15 % (IPCC, 1996). L'origine anthropique de ce phénomène pu être discutée, mais il est maintenant établi que le développement massif de l'usage des combustibles fossiles (charbon et plus récemment pétrole), les changements dans l'usage des sols et en particulier la déforestation ainsi que l'intensification de l'agriculture en sont les principales causes (figure 1). La poursuite attendue de ces émissions massives de GES laisse ainsi entrevoir la possibilité d'une modification d'envergure du climat de notre planète.

1.1.2. L'évolution potentielle du climat et des écosystèmes

Les mécanismes d'ajustement naturel du climat aux changements de concentrations atmosphériques en GES sont cependant très complexes, et la compréhension qu'en ont les scientifiques reste partielle. Très grossièrement, nous pouvons dire que pour un scénario d'émissions de GES donné, l'évolution des paramètres climatiques agrégés au niveau mondial est assez bien connue. Le second rapport du Groupe Intergouvernemental d'Etude du Climat² (GIEC) évalue ainsi entre 1,5 et 4,5°C l'augmentation de la température moyenne à la surface du globe qui résulterait d'un doublement de la concentration atmosphérique en CO₂ par rapport à l'ère préindustrielle (IPCC, 1996). A ce même niveau de concentration, la variabilité journalière de la température devrait augmenter en été et diminuer en hiver. De même, les précipitations devraient augmenter au niveau tropical, diminuer dans les zones subtropicales et augmenter légèrement aux latitudes tempérées. La plupart des modèles prévoient une diminution de la circulation thermohaline dans l'Atlantique Nord, ce qui pourrait se traduire par une diminution des températures sur les côtes européennes. Enfin, la hauteur moyenne des océans pourrait varier en 2100 entre 15 et 95 cm pour des concentrations allant de 550 ppm à 850 ppm.

Au-delà de ces indicateurs agrégés, les zones d'ombre se font plus importantes. Les modifications des variabilités des températures, des régimes des précipitations ou de la fréquence des événements climatiques extrêmes restent encore mal connues. En second lieu, les relations entre le changement climatique et une augmentation de la fréquence d'événements de type El Niño demeurent incertaines aux yeux du GIEC. En troisième lieu, dès lors que les données ne sont plus globales mais régionales, les intervalles de confiance deviennent immédiatement très élevés. Le rôle de la couverture nuageuse et des aérosols perturbe en particulier les évaluations. D'un point de vue dynamique, les études n'en sont qu'à leurs balbutiements. La possibilité d'événements catastrophiques non linéaires, comme l'arrêt de la circulation thermohaline dans l'Atlantique Nord est aussi évoquée (Broecker, 1997). Mais la dynamique générale de la réponse du climat en fonction des émissions reste encore *terra incognita*.

Les impacts de ces changements climatiques sur les écosystèmes sont eux aussi entachés de nombreuses incertitudes. Notons d'abord que parler d'impact est abusif dans la mesure où la biosphère constitue un important réservoir de carbone qui échange annuellement avec l'atmosphère de l'ordre de 60 gigatonnes de carbone, soit dix fois les émissions fossiles anthropiques de 1990. Il s'agit donc plutôt de la modification d'un équilibre entre atmosphère et biosphère. Dans le cadre de cette évolution, le GIEC nous indique que les écosystèmes pourraient subir des altérations importantes même pour des hausses de température relativement faibles. Tout dépendra de la vitesse relative des modifications climatiques et de la migration géographique des espèces.

¹ La correspondance entre la concentration atmosphérique et la quantité de carbone stockée dans l'atmosphère est de 1 GtC stockée pour 0,47 ppm (parties par millions de volume).

² Le GIEC est une organisation internationale mise en place conjointement par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement et l'Organisation Météorologique Mondiale pour coordonner l'effort international de recherche sur le changement climatique. Le GIEC est divisé en trois groupes consacrés pour le premier à l'étude du climat, pour le second à l'adaptation des écosystèmes et des économies au changement climatique, et pour le troisième à l'évaluation économique des politiques de prévention de ces changements. Cette organisation, qui rassemble l'ensemble des experts internationaux travaillant sur ces questions, produit régulièrement des rapports qui font la synthèse de la connaissance disponible sur l'effet de serre. Le premier a été publié en 1990, le second en 1996 et le troisième, actuellement en cours de révision, devrait être rendu public dans le courant 2000.

Le groupe II du GIEC envisage une augmentation de la désertification dans les zones subtropicales et une extension de la forêt boréale vers le pôle nord. Les couverts végétaux des zones tempérées pourraient eux aussi migrer vers le nord. Au-delà de ces considérations générales, l'incertitude reste très importante, surtout pour évaluer les impacts régionaux. Les évolutions des écosystèmes dépendent en effet à la fois des incertitudes sur la température, les régimes de précipitation et les régimes hydrologiques. La sensibilité à ces incertitudes apparaît très grande. Par exemple, avec les mêmes hypothèses d'émissions et avec le même modèle d'évolution des couverts végétaux, mais avec deux scénarios climatiques différents, White *et al.* (1999) obtiennent soit une Amazonie essentiellement couverte en savanes, soit une Amazonie plutôt sèche et quasi-désertique à l'horizon 2080.

1.1.3. La question des dommages

Parvenu à ce stade, le lecteur aura anticipé que les impacts potentiels de l'effet de serre sur les activités humaines sont aujourd'hui particulièrement difficiles à évaluer. Ils dépendent en effet non seulement de l'évolution du climat et des écosystèmes, mais aussi de la structure future de l'économie et de la nature des technologies qu'elle maîtrise. L'exemple de l'agriculture est particulièrement éclairant : si des progrès techniques importants ont été accomplis en matière de micro irrigation et de développement de variétés peu exigeantes en eau et peu sensibles à la chaleur, l'impact d'une hausse de la température moyenne sera tout autre que si la course aux rendements a privilégié des variétés performantes mais très fragiles. La course de vitesse entre le changement climatique et l'adaptation joue ici un rôle clé. Et la sensibilité à ce paramètre apparaît particulièrement élevée : Tol (1999a) estime ainsi qu'une augmentation de 2,5°C de la température moyenne à l'horizon 2100 entraînerait pour l'agriculture américaine une perte équivalente à 0,25% du PIB à cette date sans adaptation, contre un gain équivalent à 1% du PIB avec adaptation.

D'un point de vue quantitatif, la littérature sur les impacts du changement climatique (Pearce *et al.*, 1996, Tol et Fankhauser, 1998, Tol, 1999a et b) permet néanmoins d'identifier les principaux domaines pour lesquels l'effet de serre pourrait entraîner des tensions, et ce quelle que soit la trajectoire économique effectivement suivie :

- Au niveau global tout d'abord, l'alimentation apparaît comme le secteur le plus exposé avec des tensions régionales et éventuellement mondiales. L'eau est un second facteur de risque très important, en particulier dans les régions déjà en situation de pénurie, surtout si celles-ci voient leur demande augmenter du fait de la croissance économique et/ou d'une forte croissance démographique. Mis ensemble, ces deux éléments constituent un couple potentiellement explosif car ils touchent les besoins vitaux des êtres humains. Si le progrès technique ou la croissance économique (*via* les importations) ne sont pas suffisants pour réduire les tensions régionales, des risques migratoires ne sont pas à exclure.
- Au niveau régional ensuite, la montée des eaux représente un risque important : risque de submersion de certaines îles, en particulier dans l'Océan Pacifique, ou risque d'augmentation de la fréquence des inondations dans les zones côtières. Nicholls *et al.* (1999) estiment que les dangers les plus importants se situent en Asie du Sud et du Sud-Est ainsi que, mais dans une proportion moindre, sur les côtes africaines. Certaines régions devraient aussi connaître une modification de la demande énergétique liée aux changements de température. Cette seconde série de problèmes apparaît *a priori* moins susceptible d'entraîner des tensions importantes à l'échelle mondiale, mais sous réserve d'inventaire précis.
- Il subsiste de nombreuses conséquences potentielles du changement climatique dont les dommages sur les sociétés restent nettement plus difficiles à évaluer : les risques sanitaires, les événements extrêmes, et les pertes de biodiversité en sont trois exemples parmi les plus importants. En effet, tant l'occurrence physique de ces impacts que leurs conséquences économiques sont particulièrement difficiles à évaluer. Ces dernières dépendent en effet fortement de nos anticipations sur l'évolution générale de l'économie dans le futur.

- A ces impacts « objectifs » dont l'accumulation locale peut conduire à des tensions géopolitiques globales, il convient d'ajouter les risques de brusques modifications de la manière dont le changement climatique est perçu par les opinions publiques. Les controverses environnementales récentes, des pluies acides à la vache folle, soulignent les dangers de phases de crise pendant lesquelles la perception du danger augmente brutalement et engendre des coûts particulièrement élevés (Roqueplo, 1990).

Paradoxalement, la fourchette des chiffrages monétaires des impacts présentée dans le second rapport du GIEC (Pearce *et al.*, 1996) apparaît singulièrement étroite³. Pour les USA, une hausse de la température moyenne globale de 2,5°C à l'horizon 2100 est ainsi supposée coûter entre 1% et 1,5% du PIB dans les quatre études de Nordhaus (1991), Cline (1992), Tol (1995) et Fankhauser (1995). Les estimations de ces deux derniers auteurs pour le monde entier s'avèrent aussi relativement proches, à 1,9% du produit mondial brut pour Tol contre 1,4% pour Fankhauser. Il serait cependant particulièrement hâtif de conclure de ces chiffres qu'au final les incertitudes se compensent. Ces données nous semblent au contraire refléter le petit nombre de tentatives d'évaluation des impacts. En outre, les données régionales sous-jacentes à ces études sont très variables. Certaines régions se voient même gratifiées d'impacts positifs : Tol (1999a) obtient ainsi un gain de près de 3,4% du PIB pour les USA avec une hausse de température limitée à 1°C en 2100. Il reste donc beaucoup de chemin à parcourir :

« A lot needs to be done before one can place any confidence in the estimates, and base rational emission reduction policies on them. Firstly, the underlying studies need to improve in quality, increase in number, and extend to other impact categories. Secondly, the static assessment here has to be made dynamic, including both other climate changes and altered socio-economic circumstances. Thirdly, the underlying studies have to be made consistent with regards to scenarios and assumptions about adaptation. » (Tol, 1999a, p.21).

1.2. Les controverses sur les coûts de réduction des émissions de GES

Venons-en maintenant à l'autre versant du problème climatique : les politiques de lutte contre l'effet de serre. De manière très générale, les émissions de GES se présentent comme des sous-produits d'une large gamme d'activités économiques. Réduire ces émissions (nous emploierons indifféremment l'expression « abattre les émissions » dans la suite) suppose donc soit de trouver le moyen d'obtenir le même bien ou service avec un niveau d'émission moindre, soit de diminuer le volume de l'activité concernée⁴.

Dans les deux cas se pose un problème aigu d'observabilité : pour juger de l'efficacité d'une politique donnée en matière d'effet de serre, il faut en effet disposer d'informations tant sur les volumes d'émissions « évités » que sur les coûts de mise en œuvre de la politique considérée. Or cette information n'est disponible que pour très peu d'activités économiques. En réalité, seules les émissions de CO₂ d'origine fossile apparaissent aujourd'hui suffisamment documentées pour qu'il soit possible d'y produire des courbes de coûts de réduction des émissions relativement fiables à un niveau agrégé, national ou mondial (Hourcade *et al.*, 1996c). Même si de plus en plus d'études intègrent maintenant des stratégies d'abattement mixtes (Gielen et Kram, 1998, Reilly *et al.*, 1999, Grubler *et al.*, 1998), ni les émissions de CO₂ non fossiles, ni les émissions des autres GES ne bénéficient d'un appareil statistique et méthodologique comparable à celui mis en place autour du secteur stratégique de l'énergie.

³ Nous aborderons dans le premier chapitre la difficile question du chiffrage monétaire des impacts non médiatisés par le marché.

⁴ Ou bien d'accroître la capture de carbone par les écosystèmes *via* des plantations ou des modifications d'itinéraires techniques agricoles. Ces mesures sont les seules qui ne correspondent pas à une réduction des émissions à la source.

Pour illustrer cette asymétrie, examinons le cas émissions de CO₂ liées aux changements dans l'usage des sols, et en particulier à la déforestation, qui représentaient en 1990 un cinquième des émissions totales de CO₂ d'origine anthropique, et constituent pour certains pays comme le Brésil la principale source de carbone.

- En premier lieu, la mesure des quantités de carbone qui seraient « capturées » par des politiques visant à ralentir la déforestation, à reconvertir des terres agricoles en forêts, ou à modifier les pratiques agricoles reste très difficile à effectuer (Mortier, 1995, Brown, 1996, Brown *et al.*, 1996). Nous disposons certes de chiffres correspondant à des expériences locales conduites sous serre, mais leur extrapolation à grande échelle reste très controversée, en particulier pour les écosystèmes forestiers tropicaux (Locatelli, 1996).
- En second lieu, les coûts de telles mesures sont difficiles à évaluer. Si les coûts techniques directs restent assez facilement accessibles, le coût d'opportunité lié au gel de la terre pour un usage forestier dépend de la dynamique globale d'occupation des sols, elle-même liée à la démographie, aux politiques d'aménagement du territoire et à des considérations stratégiques dont l'articulation est spécifique à chaque pays, voire à chaque région (Repetto et Gillis, 1988, Repetto, 1993, Richards, 1995, Sedjo *et al.*, 1995 et 1998). Leur évaluation demande donc un travail spécifique qui n'existe à notre connaissance que pour des cas très particuliers.

De ce fait, et malgré l'importance que peuvent avoir localement les gaz autres que le CO₂⁵ ou les émissions de carbone non fossiles⁶, nous décidons de nous limiter dans cette thèse aux seules émissions de CO₂ fossiles pour lesquelles nous disposons de points de repère assez solides. La qualité des données n'est heureusement pas le seul argument qui plaide pour que soit portée une attention particulière à ces émissions. Le CO₂ représente en effet aujourd'hui 55% de la contribution anthropique au changement climatique⁷ (IPCC, 1994). En dynamique, la tendance est à l'augmentation de cette proportion. Les émissions de CO₂ fossiles sont en effet issues de la production d'énergie, que ce soit de manière directe sous la forme de production de chaleur (chauffage au fuel ou au gaz des bâtiments) ou d'énergie motrice (moteurs à explosion ou réacteurs d'avions), ou indirecte avec la production d'électricité (centrales électriques au charbon, au fuel ou au gaz). Or la consommation d'énergie mondiale est susceptible d'augmenter de manière très importante dans les prochaines années⁸. Ceci dit, et au-delà du présent travail, l'extension de l'analyse au CO₂ non fossile et aux autres GES constitue aujourd'hui un enjeu majeur pour la recherche.

1.2.1. Les coûts d'abattement : une notion non triviale

Intéressons-nous donc maintenant aux coûts de réduction des émissions de CO₂ fossiles. La notion de « coûts » peut s'avérer dangereusement familière. Il est en effet facile d'assimiler le coût d'une politique climatique au prix d'un bien ou d'un service de la vie courante. Or dès lors que nous nous

⁵ Gielen et Kram (1998) estiment par exemple que les gaz autres que le CO₂ pourraient contribuer pour 25% aux objectifs de réduction des émissions de l'Union Européenne pour 2010. Reilly *et al.* (1999) évaluent de même à 22% le gain que l'ensemble de l'annexe I pourrait réaliser en incluant les gaz autres que le CO₂ pour satisfaire les objectifs de Kyoto.

⁶ Ces mesures présentent une importance capitale pour les pays d'Afrique, qui ne disposent pas de potentiels de réduction des émissions fossiles importants pour attirer des capitaux internationaux. De manière plus anecdotique, mais néanmoins importante sur le plan médiatique, les mesures de replantations forestières présentent un intérêt de démonstration certain (« Peugeot va planter 10 millions d'arbres au Brésil », *Le Monde* daté du 11/12 octobre 1998, page 1, « Toyota plants 'green' trees to curb gases », *UK News*, 11 août 1998, consulté sur www.planet-britain.org/globaluk/news/glo_0898_12.htm le 17 août 1998).

⁷ Pour quantifier les effets des différentes émissions sur l'effet de serre, les spécialistes du climat ont introduit la notion de forçage radiatif, qui désigne toute modification de la quantité de radiations entrant dans l'atmosphère, que cette modification provienne d'un changement d'intensité du rayonnement solaire ou, dans le cas qui nous occupe, d'un changement de la quantité de rayonnement infrarouge piégé par effet de serre. Cette notion est donc relative à un état d'équilibre, supposé ici être celui de l'ère préindustrielle. L'IPCC (1996) évalue que le CO₂ représente 63% du forçage radiatif direct lié aux émissions anthropiques de GES depuis l'ère préindustrielle.

⁸ Nous reviendrons en détail au chapitre 7 sur les principaux scénarios de référence à long terme.

intéressons à des objets aussi complexes que les politiques climatiques, cette notion devient plus difficile à saisir. Il convient tout d'abord de rappeler que ce que nous appelons « coût » mesure toujours une différence, augmentation d'une facture libellée en dollars ou diminution du PIB, par rapport à une situation de référence. Ce point trivial en apparence est souvent masqué dans le débat. Il revêt pourtant une importance capitale dès lors que nous nous intéressons au moyen et au long terme : la hiérarchisation des politiques possibles à moyen terme peut en effet se révéler dépendante du scénario de référence retenu à cet horizon. Nous laissons pour le moment cette question de côté, mais nous y reviendrons abondamment dans la troisième partie de cette thèse.

Nous avons jusqu'à présent parlé de coût en général, sans autre précision. Or il est clair que ce mot recouvre des grandeurs dont les statuts et les modes de calcul sont très différents : le coût pour l'entrepreneur n'est pas le même que celui pour les comptes de la Nation. Dans le second rapport du GIEC, Hourcade *et al.* (1996c) en proposent une typologie en quatre niveaux allant du plus micro au plus macroéconomique :

- Coûts directs des mesures techniques. Il s'agit ici des coûts microéconomiques tels qu'ils peuvent être appréhendés par un entrepreneur : par exemple coût du remplacement d'une centrale au gaz par une centrale au charbon, ou coûts d'investissement et d'exploitation d'une centrale solaire. Les bases de données technico économiques du type IKARUS en Allemagne (Stein et Wagner, 1999) fournissent l'essentiel des informations sur ce premier niveau.
- Coûts économiques sectoriels. Ils traduisent l'impact des mesures techniques sur la fonction de production d'un secteur tout entier. Le renchérissement des prix de l'énergie lié à une politique visant l'ensemble des producteurs d'électricité d'un pays donné constitue un exemple typique d'une évaluation à ce second niveau (Holtmark, 1998). Ces évaluations s'appuient sur des modèles sectoriels détaillés sur le plan technologique comme MARKAL (Loulou *et al.*, 1997) ou PRIMES (Capros, 1998).
- Coûts macroéconomiques. L'évaluation des coûts des mesures climatiques sur l'ensemble de l'économie, et en particulier sur le PIB⁹ s'appuie principalement sur des modèles économétriques ou sur des modèles d'équilibre général calculable comme par exemple G-Cubed (Mc Kibbin *et al.*, 1998), SGM (Edmonds *et al.*, 1991, 1997, Fischer-Vanden *et al.*, 1993) ou GREEN (Burniaux *et al.*, 1992) qui permettent de prendre en compte et de synthétiser l'ensemble des interactions entre les différents secteurs de l'économie.
- Coûts en bien-être. Les coûts macroéconomiques ne représentent cependant qu'une partie des conséquences des politiques climatiques sur les agents d'une économie. Les effets non médiatisés par le marché, comme par exemple des bénéfices environnementaux secondaires, ou les effets redistributifs entre catégories de revenus sont très mal pris en compte dans le calcul du PIB. L'analyse en termes de bien-être permet de les intégrer, mais requiert par contre la définition d'une fonction de bien-être collective qui est en général difficile à construire.

1.2.2. ... Et trois sources d'incertitudes

Cette typologie nous permet de mieux appréhender les incertitudes qui pèsent sur les coûts d'abattement. Celles-ci sont essentiellement de trois ordres : incertitudes sur les données, controverses méthodologiques et anticipations des évolutions futures. Les incertitudes sur les données tout d'abord proviennent à la fois des limites des appareils statistiques et de la complexité des phénomènes étudiés. Ces deux mécanismes sont exacerbés par le fait que nous avons peu de recul sur les coûts de politiques visant à réduire de manière très importante les émissions de CO₂, en particulier dès lors qu'elles ne

⁹ Il ne s'agit pas nécessairement du seul indicateur pertinent pour évaluer les politiques climatiques. Les conséquences sur l'emploi, sur la balance commerciale, sur l'industrie nationale ou sur l'innovation technique constituent autant d'autres paramètres dont le décideur public pourra tenir compte (Markandya *et al.*, 1998). Nous reviendrons au chapitre 6 sur l'examen plus détaillé du contenu du legs.

concernent pas uniquement le secteur énergétique¹⁰. Plus nous montons en agrégation, plus ces incertitudes sont importantes, dans la mesure où les mécanismes en jeu sont de plus en plus nombreux, complexes et mal connus. Pour donner un exemple, la mise en place d'une politique climatique à l'échelle des pays développés pourrait avoir des effets induits sur les prix de l'énergie, donc sur la compétitivité relative des industries fortes consommatrices d'énergie du Sud et du Nord. L'évaluation de cet effet de substitution, et de ses conséquences en termes d'emploi et de délocalisation requiert une information dont nous ne disposons qu'en partie (Manne, 1999, Becker, 1999).

Dans ce contexte, la méthodologie permettant d'apprécier les coûts non directement observables devient un élément critique du jeu. La controverse entre l'analyse technico-économique partant des données techniques microéconomiques pour évaluer les coûts par agrégation (approche « *bottom-up* ») et les modèles fondés sur les grandeurs macroéconomiques et leur inscription dans un cadre d'équilibre général (approche « *top-down* ») est ici incontournable, dans la mesure où ces deux approches aboutissent à des résultats différents¹¹. Nous consacrons ci-dessous une section spécifique à l'origine de ces différences. Mais nous rencontrons aussi des problèmes méthodologiques importants dans le passage des coûts macroéconomiques aux coûts en bien-être. Sans nous étendre ici sur une discussion qui occupera une place importante au chapitre 4, notons simplement que la difficulté provient du fait que l'évaluation des coûts en bien-être dépend d'hypothèses pour partie normatives sur la forme des fonctions d'utilité des agents et sur les poids relatifs de chacun d'entre eux dans la fonction de bien-être collective.

Terminons par les incertitudes sur les anticipations des coûts futurs. L'évaluation de politiques climatiques à moyen terme nécessite de formuler des hypothèses quant à la disponibilité et aux coûts futurs des différentes technologies moins émettrices en carbone. La date à laquelle une technologie ultime non émettrice (« *backstop technology* » en anglais) sera compétitive en constitue un exemple typique. Si cette date est supposée suffisamment rapprochée, alors toute politique climatique de réduction des émissions coûteuse aujourd'hui est inutile, puisqu'elle sera avantageusement remplacée par un effort important demain (Wigley *et al.*, 1996). Nous retrouvons ici sous une autre forme l'importance du scénario de référence pour l'estimation des coûts d'abattement¹². En outre, les déterminants du progrès technique futur posent problème. Si la représentation d'un progrès technique autonome « tombant du ciel » a l'avantage de la simplicité, le postulat implicite selon lequel l'efficacité de la recherche et développement et la pénétration des technologies propres seraient indépendantes des efforts de réduction des émissions effectivement entrepris est en contradiction avec la réalité économique. Les notions d'apprentissage, les rendements croissants d'information ou les externalités positives de réseau (Foray, 1989) constituent autant d'arguments pour introduire dans les modèles une représentation du progrès technique induit. Nous reviendrons sur cette discussion au chapitre 6.

Du point de vue numérique, l'ensemble de ces incertitudes aboutissent à des marges d'incertitudes considérables selon les modèles. Dans le résumé de leur revue des études sur les coûts d'abattement pour le second rapport du GIEC, Hourcade *et al.* (1996a) se refusent ainsi à donner des résultats quantitatifs, en indiquant que : « *Estimates of the cost of greenhouse gas emission reduction are sensitive to assumptions about appropriate model structure, demographic and economic growth, the cost and availability of both demand-side and supply-side energy options, the desired level and timing* ».

¹⁰ Ce dernier argument doit toutefois être relativisé : malgré 20 ans d'expérience en la matière, il n'est pas évident que nous ayons aujourd'hui en France une idée très précise des coûts macroéconomiques des politiques de lutte contre le chômage.

¹¹ Parmi les grands modèles économiques consacrés au changement climatique, nous pouvons citer dans la première catégorie « *bottom-up* » des modèles comme MARKAL (Loulou *et al.*, 1997), POLES (Criqui, 1996, Criqui *et al.*, 1999) ou PRIMES (Capros, 1998) ; et dans la catégorie « *top down* » des approches comme G-Cubed (Mc Kibbin *et al.*, 1998), ABARE (Kennedy *et al.*, 1997) ou GREEN (Burniaux *et al.*, 1992).

¹² En pratique, nous constatons cependant que la cohérence entre la trajectoire économique de référence (c'est-à-dire sans politique climatique particulière) et les hypothèses sur les coûts d'abattement est rarement vérifiée. Le lecteur constatera d'ailleurs que par manque de données, la présente thèse présente le même défaut : il s'agit là d'un enjeu de recherche très important pour la suite.

of abatement, and the choice of policy instruments. Different assumptions have led to a wide range of emission reduction cost estimates. » (p.301). Pour donner un ordre d'idée de ces incertitudes, notons par exemple que les évaluations du coût marginal de mise en œuvre du protocole de Kyoto en 2010 au sein des pays de l'annexe B avec un marché de permis d'émissions négociables (cf. infra) rassemblées par l'OCDE en 1998 varient entre 20\$ et 123\$ (\$1995) par tonne de carbone (Van der Mensbrugghe, 1998). Or nous nous trouvons ici dans une situation favorable, puisque l'horizon considéré est relativement proche, que seuls les pays développés sont pris en compte, et que la présence du marché de permis d'émissions négociables tend à limiter l'impact de l'incertitude sur les coûts d'abattement nationaux.

1.2.3. Potentiels sans regrets et double dividende

Nous avons défini les politiques climatiques comme une contrainte sur les émissions de CO₂. Avec les coûts macroéconomiques, nous avons néanmoins implicitement admis l'idée que la mise en œuvre de ces mesures pouvait entraîner des effets positifs dont les bénéfiques pourraient être décomptés des coûts bruts de la politique climatique. Nous terminons cette section sur les coûts en faisant un zoom sur trois de ces effets positifs : les potentiels techniques sans regrets, le double dividende économique et les autres bénéfiques écologiques. Nous justifions ce surcroît d'attention par le fait que ces trois mécanismes illustrent en réalité l'importance du débat sur la nature de la trajectoire économique de référence pour l'évaluation des coûts d'abattement.

Un potentiel sans regret, ou potentiel à coût négatif, se définit comme une technologie qu'il est possible d'adopter et dont les coûts sont plus faibles que ceux des technologies aujourd'hui mises en œuvre. L'existence de tels potentiels est controversée. Le nœud de ce débat est de savoir si l'économie réelle réalise pleinement ou non l'ensemble de son potentiel de production théorique. Si nous nous situons sur la frontière de production théorique ou potentielle, alors nous ne pouvons réduire les émissions de gaz à effet de serre sans diminuer du même coût notre niveau de consommation. Si nous sommes par contre situés en deçà de cette frontière, il est alors possible d'envisager des politiques bénéfiques à la fois pour l'environnement et pour la croissance. Si de tels potentiels existent, il faut cependant expliquer pourquoi ils n'ont pas déjà été utilisés. Admettre leur existence suppose en fait que les marchés et les institutions n'amènent pas spontanément à la frontière de production potentielle du fait soit d'imperfections de marché (asymétries d'information, concurrence imparfaite, etc.) et/ou par le fonctionnement des institutions (défauts de régulation, poids du système fiscal, mauvaise définition des droits de propriété, etc.) (Hourcade *et al.*, 1996c). En ce sens, le débat porte tout autant sur la nature de la trajectoire de référence que sur les coûts directs des politiques étudiées.

Outre ses conséquences directes sur l'effet de serre, une politique climatique peut générer un second dividende économique qui dépend de la nature des instruments économiques mobilisés. Dans le cas de la mise en place d'une fiscalité spécifique, par exemple une taxe sur l'énergie, le produit de la taxe peut être recyclé en réduisant la fiscalité dans un autre secteur. Si la fiscalité dans cet autre domaine est supposée plus distorsive¹³ que dans le domaine énergétique, alors le recyclage « intelligent » permet de réduire la distorsion « globale » et réduit d'autant le coût net de la politique climatique. Dans le cas contraire, il peut tout aussi bien aggraver les distorsions et ainsi engendrer une perte (Bovenberg et Van der Mooij, 1994, Goulder, 1995). L'évaluation du double-dividende suppose donc une analyse du système fiscal préexistant et des distorsions plus ou moins importantes qu'il induit sur le fonctionnement de l'activité économique. Cette analyse requiert aussi de comprendre l'impact dynamique de la fiscalité sur l'activité économique (Hourcade *et al.*, 1998).

La littérature comptabilise enfin un troisième dividende, parfois appelé double-dividende écologique, qui correspond au fait que les politiques de réduction des émissions de CO₂ peuvent engendrer des bénéfices environnementaux dans d'autres domaines. La littérature sur ces « *ancillary benefits* » reste

¹³ Une taxe est distorsive dès lors que sa présence modifie l'équilibre offre-demande qui s'établirait spontanément en son absence. En statique, l'importance de la distorsion dépend du niveau de la taxe ainsi que des pentes respectives des courbes d'offre et de demande.

encore limitée. Deux éléments ont néanmoins été mis en avant. Le premier concerne la réduction de la pollution dans les villes : des politiques d'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules permettraient en effet de limiter les émissions de CO₂, mais surtout de freiner la progression de la pollution. Pour Mexico ou les grandes cités d'Asie du Sud-Est, il s'agit d'un enjeu de santé publique décisif aujourd'hui. Le second élément qui a fait l'objet d'analyses poussées est le lien entre émissions de CO₂ et émissions de SO₂. Grübler *et al.* (1998) démontrent ainsi qu'une réduction de 40% des émissions de CO₂ en Asie pourrait entraîner une réduction de 65% des émissions de SO₂. Nous retrouvons encore une fois la question de la trajectoire économique de référence : prendre en compte le double dividende écologique dans le calcul des coûts des politiques climatiques revient en effet à supposer que des politiques visant à limiter les émissions de SO₂ ne seront pas mises en œuvre directement dans le futur.

1.3. La négociation climat

Ces éléments de contexte ne sauraient être complets sans que nous évoquions succinctement l'historique de la négociation climat. Nous verrons en effet que cette historique conditionne largement les conditions de la décision aujourd'hui. Si elle est connue sur le plan théorique depuis la fin du XIX^e siècle (Arrhenius, 1896), la question du changement climatique n'a commencé à émerger en tant que problème qu'au milieu des années 70. Les météorologues sont les premiers à se saisir de ce dossier. Ils diffusent *via* l'Organisation Mondiale de la Météorologie et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement les premières analyses publiques très alarmistes. Dans un contexte politique marqué à la fin des années 80 par une montée des préoccupations environnementales et le souvenir récent de deux épisodes de sécheresse consécutifs très importants, l'administration américaine voit dans le changement climatique une formidable occasion de faire passer dans l'opinion la nécessité d'une fiscalité susceptible de mieux contrôler la demande énergétique et de réduire ainsi la dépendance stratégique du pays vis-à-vis des pays du Golfe¹⁴ (Hourcade, 1999).

Dans ce contexte favorable, le Groupement Intergouvernemental d'Etude du Climat (GIEC)¹⁵ est créé en 1988. D'autre part, une négociation internationale sur le climat s'engage sous l'égide des Nations Unies et aboutit, malgré la complexité et la nouveauté du sujet, à la signature de la Convention Cadre sur le Changement Climatique lors du Sommet de Rio en 1992. Nous retiendrons ici deux éléments de cette Convention qui se révéleront très importants pour la suite :

- En premier lieu, la Convention introduit un objectif climatique : « *L'objectif ultime de la présente Convention [...] 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. Il conviendra d'atteindre ce niveau dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée, et que le développement économique puisse se poursuivre de manière durable.* » (UN, 1992, article 2). Le point important est que cet objectif est formulé en termes de niveau limite d'émissions, l'efficacité économique étant convoquée dans un deuxième temps pour la réalisation de cet objectif.
- En second lieu, le principe d'une différenciation entre les pays est inscrite dans la Convention. Comme le stipule l'article 4.2 (a) « *Les pays développés Parties et les autres Parties figurant à l'annexe I [...] adoptent des mesures voulues pour atténuer les changements climatiques en limitant leurs émissions anthropiques de gaz à effet de serre [...]* ». L'objectif indicatif proposé d'une stabilisation en 2000 des émissions à leurs niveaux de 1990 ne sera pas atteint, mais le rôle moteur des pays développés en matière de réductions des émissions de gaz à effet de serre est

¹⁴ C'est en particulier l'essence du discours prononcé par le secrétaire d'état américain à l'énergie, M. Schlesinger à la Conférence Mondiale de l'Énergie en 1989.

¹⁵ Voir note 2.

acquis sur le principe de la « *Responsabilité commune mais différenciée* » introduit dans le Préambule de la Convention^{16,17}.

La Convention offre ainsi une réponse en apparence neutre à la question de la mise en place d'une taxe carbone : l'Union Européenne y était favorable, alors que l'administration Bush et les milieux industriels y étaient opposés. Mais le projet européen de création d'une taxe carbone interne à l'Union ayant échoué trois semaines avant Rio avec le retrait de la France, la Convention ne se prononce pas sur la nature des instruments à utiliser pour mettre en œuvre les objectifs de réduction des émissions. Elle formule cependant ses objectifs non contraignants en termes de quantité, ce qui mène plus naturellement à un système de permis d'émissions négociables qu'à un système de taxes coordonnées (Godard et Hourcade, 1991).

Entre 1992 et 1995, le contexte s'assombrit. Aux Etats-Unis, le projet de taxe sur l'énergie de l'administration Clinton échoue en 1994, dans un contexte politique nettement moins favorable à l'environnement en général, et au changement climatique en particulier (Grubb *et al.*, 1999). En parallèle, le discours du GIEC, alors en phase de préparation de son second rapport, se fait moins alarmiste (Théry, 1997). Dans cette atmosphère moins enthousiaste qu'en 1992, la première Conférence des Parties¹⁸ de Berlin (1995) reconnaît l'objectif de stabilisation en 2000 « inadéquat » mais décide de commencer à négocier des objectifs quantitatifs de réduction des émissions au-delà de 2005, avec la troisième COP à Kyoto pour date butoir. Cette décision est connue sous le nom de Mandat de Berlin. Ce Mandat concrétise ainsi officiellement la prééminence de l'approche par les quantités. Or, comme nous l'avons déjà entrevu plus haut, une telle approche mène naturellement à un marché de permis d'émissions négociables comme il en existe déjà un aux Etats-Unis pour le SO₂ et relègue les « politiques et mesures » pourtant prônées en même temps par les pays européens au second plan. Ce glissement sera complètement explicite à COP-2 (Genève, 1996), lorsque les USA se déclareront en faveur de quotas de réduction des émissions contraignants mais accompagnés d'un système de permis d'émissions négociables.

La Conférence de Kyoto (1997) constitue l'aboutissement de ce long processus de négociation internationale. Le principal résultat de cette négociation est un accord sur des objectifs quantitatifs contraignants de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour la période 2008-2012 pour l'ensemble des pays développés regroupés au sein de l'annexe B¹⁹. Ces engagements sont reproduits dans le tableau 1 ci-dessous. Ces objectifs de réduction des émissions doivent être réalisés sur un panier de six gaz à effet de serre²⁰. Notons que le principe de différenciation s'est imposé sur le tard, et a conduit à des négociations très rapides : la distribution finalement adoptée ne résulte ainsi d'aucune « règle » claire (Grubb *et al.*, 1999).

¹⁶ L'annexe I comprend Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Biélorussie, Bulgarie, Canada, Communauté Européenne, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Etats-Unis d'Amérique, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Japon, Lettonie, Liechtenstein, Lituanie, Luxembourg, Monaco, Norvège, Nouvelle Zélande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume Uni et Irlande du Nord, Russie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie, Ukraine.

L'annexe I comprend ainsi la plupart des pays de l'OCDE à l'exception de la Corée et du Mexique, plus la Communauté Européenne, les pays en transition non membres de l'OCDE (Bulgarie, Estonie, Lettonie, Lituanie, Roumanie, Russie, Slovaquie, Slovénie, Ukraine) ainsi que le Lichtenstein et Monaco.

¹⁷ Notons que la Convention charge le Fonds pour l'Environnement Mondial de fournir de manière transitoire un outil financier à même d'appuyer des projets de réduction des émissions dans le Sud (articles 11 et 21.3).

¹⁸ La Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique (CCUNCC dans la suite) introduit le principe d'une réunion annuelle de la Conférence des Parties (COP). La première de ces réunions est programmée au plus un an après l'entrée en vigueur de la Convention, entrée en vigueur qui intervient finalement en 1994.

¹⁹ L'annexe B comprend tous les pays de l'annexe I (cf. note 16) sauf la Turquie et la Biélorussie.

²⁰ Outre le dioxyde de carbone (CO₂) déjà cité, le Protocole inclut le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), les hydrofluorocarbones (HFC), les hydrocarbures perfluorés (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆).

Allemagne	92	Finlande	92	Norvège	101
Australie	108	France	92	Nouvelle-Zélande	100
Autriche	92	Grèce	92	Pays-Bas	92
Belgique	92	Hongrie*	94	Pologne*	94
Bulgarie*	92	Irlande	92	Portugal	92
Canada	94	Islande	110	République Tchèque	92
Communauté européenne	92	Italie	92	Roumanie*	92
Croatie*	95	Japon	94	Royaume-Uni	92
Danemark	92	Lettonie*	92	Slovaquie*	92
Espagne	92	Liechtenstein	92	Slovénie*	92
Estonie*	92	Lituanie*	92	Suède	92
USA	93	Luxembourg	92	Suisse	92
Russie	100	Monaco	92	Ukraine*	100

Tableau 1 : Engagements chiffrés de limitation ou de réduction des émissions pour les pays de l'annexe B dans le protocole de Kyoto en fonction du niveau d'émissions de référence (année 1990 sauf éventuellement pour les pays en transition marqués d'une étoile dans le tableau ci-dessus).

Ce succès ne doit pas masquer le fait que la négociation a donné lieu à des controverses très importantes, portant en particulier sur les conditions de la flexibilité et la possibilité pour les pays développés de réaliser une partie de leurs engagements en finançant des projets de réduction des émissions dans les pays hors de l'annexe B.

- Les négociations qui ont précédé Kyoto tout comme la conférence ont vu s'affronter l'approche par les politiques et mesures domestiques défendues par les Européens, et la notion de flexibilité *via* un marché de droits d'émissions du CO₂ prônée par les Américains. Ce point critique a finalement été résolu dans une formulation ambiguë : « *The Conference of Parties shall define the relevant principles, modalities, rules and guidelines [...] for emissions trading. The parties included in Annex B may participate in emissions trading for the purposes of fulfilling their commitments under Article 3. Any such trading shall be supplemental to domestic action for the purpose of meeting quantified emission limitation and reduction commitments under that Article.* » (Article 17).
- Le mécanisme d'implémentation conjointe développé à cette occasion pour permettre aux pays du Nord d'investir dans des projets réducteurs d'émissions au Sud a rencontré une hostilité très forte de la part du G-77²¹, pour qui il revenait uniquement à faire bénéficier le Nord d'opportunités de réduction des émissions à moindre coût sans aucune retombée pour le développement. A l'inverse, les USA devaient absolument pouvoir afficher en interne un mécanisme permettant d'accrocher les pays du Sud aux efforts de réduction des émissions, condition *sine qua non* fixée par le Congrès pour toute ratification. Le tour de passe-passe a été réalisé en introduisant un nouveau mécanisme, le Mécanisme de Développement Propre, qui prévoit la possibilité d'investissements au Sud, mais sans en préciser les modalités²².

²¹ Le groupe des 77 (G-77) a été créé le 15 juin 1964 par les soixante-dix-sept pays en voie de développement signataires de la « Déclaration Commune des 77 pays » à la fin de la première conférence des Nations-Unies sur le commerce et le développement (UNCTAD) à Genève. Ce groupe, dont le nom original est resté, compte aujourd'hui 133 membres. 18 Etats membres de l'ONU n'appartiennent ainsi ni à l'annexe B, ni au groupe de 77 : 9 républiques de l'ex-URSS (Arménie, Azerbaïdjan, Bélarus, Géorgie, Kazakhstan, Kirghizstan, Moldavie, Tadjikistan, Ouzbékistan), l'Albanie, quatre micro Etats ainsi qu'Israël, le Mexique, la Corée du Sud et la Turquie.

²² Un troisième point d'achoppement a été la question des puits de carbone. Les pays forestiers, comme la Nouvelle Zélande ou les pays d'Europe du Nord, et dans une moindre mesure les USA et le Canada ont souhaité utiliser une approche de comptage des émissions nette des puits. Face à l'opposition résolue de l'Union Européenne et du G-77, pour qui ce système constituait un échappatoire commode et un risque pour l'avenir, le Protocole final ne reprend que l'expression de « *additional removal by sinks* » (article 6) dont le sens précis reste à préciser.

Malgré ces limitations, le Protocole de Kyoto constitue une avancée particulièrement significative dans la mesure où, pour la première fois, des pays s'engagent sur des objectifs contraignants de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Contrairement à l'image négative qui en a parfois été donnée dans les médias, ces cibles sont particulièrement ambitieuses à l'horizon 2010. Par rapport aux trajectoires d'émissions de référence les plus couramment admises, elles signifient un taux de réduction des émissions de 29% pour les USA, de 27% pour l'Union Européenne et globalement de 19% pour l'ensemble de l'annexe B (AIE&OCDE, 1999), ce qui est tout à fait considérable. De nombreuses questions-clés sont cependant renvoyées à des COP ultérieures : la question du *trading* ou celle du mécanisme de développement propre sont pour le moment loin d'être réglées. La sixième Conférence des Parties de La Haye (2000) constitue une date butoir sur ces deux points. *Last, but not least*, la ratification du Protocole par plus de 55 pays représentant plus de 55% des émissions de l'annexe B en 1990 est loin d'être acquise. Le Congrès américain s'oppose en particulier violemment à toute réduction des émissions aux USA tant que les pays en voie de développement ne se seront pas engagés dans la même voie (Résolution Byrd du Sénat Américain, 12 juin 1997).

2. Problématique : de l'économie « pure » à la négociation autour d'un bien public futur

Du point de vue de l'économiste, la qualité du climat de la planète peut être « trivialement » considérée comme un bien public. Il est en effet impossible d'empêcher un individu de jouir ou au contraire de subir le climat de la planète (propriété de non-exclusivité). De plus, le nombre de personnes qui en profitent n'est pas limité (propriété de non rivalité). Ce bien public peut en outre être qualifié de global car il concerne l'ensemble des habitants de la planète (Nordhaus, 1999a). Il n'y a pas ici à proprement parler de « consommation » de ce bien, qui est par nature la même pour tous que ce soit aujourd'hui ou demain. Simplement, tout changement dans les caractéristiques du climat a un impact sur le bien-être des individus : nous avons vu que ces impacts du changement climatique dépendent de la région, des activités économiques et des préférences des agents. De ce point de vue, le bien public le plus proche pourrait être la Défense Nationale, dont tous les Français « disposent » à stricte égalité, mais dont toute modification affecte de manière variable le bien-être des individus en fonction de leur conviction et de leur perception des risques.

La qualité du climat présente cependant une différence fondamentale par rapport à la Défense Nationale : la « consommation » du bien public y est largement postérieure à sa « production ». Nous finançons en effet chaque année par nos impôts le maintien en état et le fonctionnement de nos forces armées. Les équipements et les personnels ne sont certes pas renouvelés tous les premiers janvier, mais il existe tout de même une relative simultanéité entre le financement du bien public et sa consommation. Dans le cas de l'effet de serre, l'inertie propre au système climatique ajoutée au fait que le climat soit influencé par le stock de GES accumulés et non par les flux annuels, induisent un décalage temporel très important entre les émissions et le changement climatique. Le bien public climat peut donc être qualifié de futur, en ce sens qu'il est produit par notre génération, mais sera utilisé par les suivantes.

Nous nous trouvons ainsi devant un double problème de distribution intertemporelle. Il s'agit en premier lieu d'arbitrer entre le niveau de production du bien public aujourd'hui et l'impact sur le bien-être des générations de demain. Mais le fait que le changement climatique dépende du stock de CO₂ en ajoute un second. En effet, la qualité du climat à un horizon donné, par exemple 2100, ne dépend pas seulement de nos propres émissions, mais aussi de celles de nos descendants jusqu'à cette date. Construire une politique climatique susceptible de limiter la concentration atmosphérique en CO₂ à cette date suppose donc aussi de distribuer dans le temps la « production » du bien public climat. A ces deux questions temporelles s'ajoute la question de distribution spatiale standard en économie publique : comment répartir les contributions à l'effort de réduction des émissions entre des individus dont les conditions de vie comme les préférences sont très différentes ?

Cette énumération ne doit pas masquer le fait que ces trois questions de distribution ne sont ni symétriques, ni indépendantes. La dissymétrie tout d'abord provient essentiellement du fait que dans la pratique seuls les membres de notre génération peuvent effectivement se retrouver pour négocier. Les individus à venir sont des tiers absents qui ne peuvent « exister » que par la voix de porte-parole. A ce titre, la distribution future des coûts dépend avant tout de la représentation que nous nous formons de l'environnement économique et des préférences de nos descendants. L'interdépendance provient précisément du fait que dans l'actuel système de conventions qui régit les relations internationales, tout se passe comme si chaque Etat était légitime à parler au nom de ses propres descendants. La négociation sur la distribution aujourd'hui est donc *a priori* aussi une négociation sur la distribution des coûts demain en même temps qu'une négociation sur le niveau optimal de bien public qu'il est nécessaire de produire.

A ce stade de la discussion, nous nous trouvons encore face à un problème de financement d'un bien public somme toute relativement classique. La possibilité de le produire à deux périodes différentes apparaît certes comme une différence par rapport au cadre standard d'un bien public « immédiat » étudié par Bowen (1943), Lindhal (1919) et Samuelson (1954), et nous verrons d'ailleurs au chapitre 4 que cette propriété change à la fois la nature et les conditions dans lesquelles l'équilibre coopératif peut s'établir. Nous restons malgré tout dans le même univers logique : celui de la décision en univers certain.

Ce qui précède est déjà fort compliqué, mais fait encore l'impasse sur le fait qu'à cause des inerties climatiques et économiques, nous devons décider aujourd'hui sans que les incertitudes soient résolues. Le bien public climat est donc fortement incertain. L'incertitude porte à la fois, nous l'avons vu, sur les coûts de réduction des émissions, donc sur la « production » du bien, et sur les dommages du changement climatique, donc la manière dont il est « consommé ». Bien entendu, la recherche scientifique et l'expérience sont susceptibles de réduire ces incertitudes dans le futur. Nous nous trouvons donc devant un problème de décision en situation d'incertitudes et d'information croissante. Dans ce contexte, nos choix sont susceptibles d'être révisés par nos descendants, et les possibilités d'adaptation à une « surprise » climatique deviennent déterminantes dans l'évaluation des politiques publiques. Nous changeons ainsi radicalement d'approche : il ne s'agit plus d'arbitrer entre des efforts aujourd'hui, des efforts demain, et un état du climat après-demain, mais entre des efforts aujourd'hui, des climats possibles après-demain, et donc des coûts possibles demain.

Franchissons une étape supplémentaire en remarquant qu'il est absolument nécessaire que les générations futures entreprennent des efforts de réduction des émissions en plus de notre génération pour atteindre tout objectif climatique un tant soit peu sérieux (Tol, 1998). Or nous ignorons tout des préférences de nos descendants comme des anticipations qu'ils pourront formuler en matière climatique. Rien ne nous indique qu'ils mettront bien en œuvre les politiques que nous souhaiterions aujourd'hui les voir adopter. L'inertie du capital ou l'orientation du progrès technique nous fournissent certes des outils pour réduire leurs marges de manœuvre, mais leur manipulation est coûteuse et pour le moins discutable. Nous nous trouvons donc dans l'univers du pari sur le comportement des générations futures. Dans un tel contexte, on pressent, et nous le vérifierons, que les notions de distribution temporelle des coûts et d'objectif d'une politique climatique perdent leur sens « commun ». En effet, si nous ignorons ce que feront nos descendants, que signifie se donner un objectif environnemental ? Sur quels arguments peut-on alors fonder et évaluer une politique de réduction des émissions que nous entreprendrions tout de même aujourd'hui ?

Malgré son apparente trivialité, l'interprétation du changement climatique comme un problème de production d'un bien public conduit à un problème de fond sur l'articulation entre action de court terme et enjeux de long terme dans l'incertain. L'objet du présent travail est précisément d'examiner dans quelle mesure l'économie publique nous permet de penser les politiques visant à contrôler la production d'un bien public futur dans un contexte de fortes incertitudes, tant dans leurs objectifs que dans la distribution temporelle et spatiale des efforts. De fait, notre objectif n'est pas tant de révéler la « bonne » politique climatique, que de réfléchir à la manière de bien poser le problème. Autrement dit, l'objet de cette thèse est de construire la problématique.

En outre, la question posée déborde largement du seul champ de la théorie économique. En effet, puisque la notion d'intérêt collectif se fait moins immédiate dès lors que le bien considéré est futur et incertain, la légitimité de l'économie dans le débat public devient problématique. Dans un contexte intellectuel où le spectre de « l'horreur économique » n'est jamais très éloigné, le risque est grand de voir finalement tout discours de nature économique sur le long terme purement et simplement disqualifié. Pour être pertinents du point de vue de la décision, nous devons donc en parallèle comprendre comment le calcul économique peut être utilisé en pratique pour « *introduire un peu de rationalité dans la discussion* » selon le mot d'Alan Manne.

De fait, la thèse que nous défendrons ici sera double. Nous montrerons d'une part que l'introduction de l'incertitude oblige à fonder les politiques climatiques sur un arbitrage entre les coûts aujourd'hui et la nature de l'héritage que nous transmettons à nos descendants, cet héritage comprenant à la fois un contenu en richesse et en environnement, mais aussi et surtout une flexibilité et des potentiels d'adaptation. Nous montrerons d'autre part que l'enjeu central pour la décision est la vision du monde futur sur laquelle vont finalement s'accorder les agents. Si le calcul économique n'est pas en mesure de trancher entre ces différents futurs en compétition, il conserve par contre un rôle important à la fois pour démontrer et pour hiérarchiser l'incertitude qui pèse sur la décision de court terme.

Le dessin de politiques environnementales à long terme et dans un contexte d'incertitudes ne constitue nullement un terrain vierge. Nous nous situons au contraire au cœur de deux débats très vastes. Le premier concerne la définition de ce que pourrait être les chemins d'un développement soutenable à long terme. Le second porte sur les choix de politiques publiques sous incertitudes environnementales. Il mobilise de nombreux concepts tels que la valeur d'option ou de l'information, les « *safe minimum standards* » ou le principe de précaution, popularisé à la conférence de Rio et pourvu d'une indéniable puissance de mobilisation, mais pour le moment résistant à toute définition trop précise de son contenu. Nous n'aborderons pas dans cette introduction le détail de chacun de ces débats. Il importe simplement de mesurer ici l'ampleur et la vigueur des controverses qu'ils soulèvent. L'évaluation monétaire des actifs environnementaux ou l'utilisation d'un taux d'actualisation strictement positif font par exemple l'objet de critiques virulentes. Plus généralement, la pertinence même des outils de l'analyse économique, et en particulier de l'analyse coûts avantages, pour examiner les problèmes de long terme est fortement remise en cause au nom de principes de nature éthique.

Nous reviendrons en détail dans le texte sur les différents aspects de cette littérature. A ce stade de notre discussion, nous en tirons simplement l'idée suivante : ces débats sont cependant suffisamment difficiles et complexes pour nous inciter à adopter ici une approche très prudente. Nous nous proposons ainsi de raisonner en trois temps. Dans une première partie, nous développerons un modèle numérique comportant un seul agent par génération avec lequel nous étudierons la distribution temporelle des coûts des politiques climatiques. Cette maquette très simple n'a d'autre prétention que de clarifier les enjeux en articulant les différents éléments du problème climatique en un seul objet, et en produisant des ordres de grandeurs numériques. Puisque nous nous limitons à la question intergénérationnelle, le fil conducteur de cette première partie sera naturellement le taux d'actualisation dont nous examinerons l'impact sur les politiques climatiques. Le chapitre 1 sera consacré à l'univers certain. Le second chapitre nous permettra quant à lui d'introduire les concepts théoriques nécessaires pour construire un modèle d'évaluation des politiques climatiques en situation d'incertitude que nous développerons au chapitre 3. L'ensemble de ces résultats numériques nous conduira à remettre en cause l'idée selon laquelle le taux d'actualisation résumerait à lui seul l'ensemble du débat sur l'arbitrage entre court terme et long terme.

Dans la seconde partie, nous reviendrons à la théorie pour discuter ce résultat. Le chapitre 4 sera consacré à l'analyse théorique du problème de la distribution optimale des coûts de production d'un bien public futur en présence d'incertitudes. Il clarifiera en particulier les conditions dans lesquelles la distribution spatiale des coûts d'abattement peut être supposée indépendante de la distribution et temporelle. En revenant sur les fondements théoriques du taux d'actualisation, nous vérifierons au chapitre 5 que sa valeur ne saurait être modifiée sans grande précaution. En introduisant la notion de nature de l'héritage, le chapitre 6 montrera enfin que le taux d'actualisation n'est qu'un élément de la

décision en matière climatique au même titre que la nature de ce que nous transmettons à nos descendants, et en particulier la flexibilité. Nous verrons aussi que la valeur du taux d'actualisation, et plus globalement la nature du résultat du calcul économique, est fortement dépendante de la nature des anticipations sur la trajectoire d'évolution future de l'économie. Nous retrouverons ainsi un résultat déjà énoncé en 1949 par Gabriel Dessus dans son célèbre apologue : résultat très simple, mais dont on mesure parfois mal toutes les conséquences.

En effet, puisque les paramètres du calcul économique sont eux-mêmes subordonnés à la nature des anticipations sur la trajectoire économique future, la notion d'intérêt collectif ne constitue plus un recours suffisant. Dans ce contexte de décision collective sous controverses (Godard et Hourcade, 1991, Hourcade, 1991, Godard, 1993), la question n'est plus d'agrèger les intérêts particuliers, mais de choisir parmi diverses théories en compétition sur le futur, entre lesquelles le calcul économique est incapable de trancher. Nous pouvons alors formuler l'hypothèse selon laquelle, devant la complexité du problème, les acteurs vont en pratique chercher à s'entendre sur des règles simples. Dans le cas du problème climatique, ce sont les règles d'élargissement de l'annexe B du protocole de Kyoto aux pays en voie de développement pour l'après 2012. Toute la question est alors de savoir dans quelle mesure le calcul économique peut aider à la négociation sur de telles règles. Le chapitre 7 nous permettra de planter le décor en décrivant les contraintes politiques et la multiplicité des scénarios de référence qui pèsent sur cette discussion. Nous développerons au chapitre 8 un petit modèle d'évaluation du fonctionnement d'un marché de permis d'émissions négociables qui nous montrera que différentes règles d'élargissement proposées dans la littérature ne sont pas robustes à la trajectoire de référence. Nous en profiterons pour discuter l'approche par les quantités du protocole de Kyoto, et nous interrogerons enfin au chapitre 9 sur le statut de nos résultats dans un contexte aussi fortement incertain.

Avant d'entamer notre route, notre projet nécessite une clarification méthodologique. Aux yeux de nombreux auteurs, non économistes comme économistes, l'analyse économique n'est pas fondée à se préoccuper de questions de distribution (qu'il s'agisse de distribution temporelle ou spatiale importe peu). En séparant équité et efficacité, le second théorème de l'économie du bien-être délimiterait alors les frontières du territoire de l'économiste : à lui la recherche de l'organisation la plus efficace des moyens de production, à d'autres, politiques ou philosophes, de dire qu'elle serait la distribution souhaitable.

Les conditions de validité du second théorème sont cependant très restrictives, et dans de nombreux cas (voire dans la majorité ?), celles-ci ne s'avèrent plus vérifiées (Guesnerie, 1995, Chichilnisky *et al.*, 1999). L'économiste ne peut plus esquiver la question de la distribution. En outre, pas plus qu'en économie, il n'existe de théorie éthique qui primerait sur les autres et s'imposerait d'évidence pour dicter la nature de nos choix (Godard, 1999). Or les choix distributifs, au moins en matière de changement climatique, ont des conséquences économiques particulièrement importantes. L'économiste apparaît alors avoir un rôle à jouer pour expliciter les conséquences de ces choix et aider ainsi, à côté du raisonnement éthique, à la décision.

Nous adoptons ici l'approche proposée par Amartya Sen, qui, après avoir souligné la double origine de l'économie fille des sciences morales d'une part et des économistes ingénieurs de l'autre, déplore ainsi de manière symétrique la séparation entre économie et éthique : « *La seconde précision concerne la double nature de la perte résultant de l'affaiblissement du point de vue éthique dans l'économie. Jusqu'à maintenant, j'ai examiné ce que la science économique perdait en négligeant la conception éthique de la motivation et de l'accomplissement social [...]. Mais je voudrais montrer aussi que les méthodes utilisées ordinairement en économie, liées entre autres à la conception « mécaniste », comportent des éléments qui peuvent être utiles à l'éthique moderne : la séparation de l'économie et de l'éthique s'est donc également faite au détriment de l'éthique.* » (1987, pp.12-13).

Terminons par un commentaire sur la démarche que nous venons de présenter. L'objet de cette thèse est finalement d'examiner comment prendre en compte les enjeux de long terme dans la décision en situation de fortes incertitudes. Devant la complexité du problème posé, et peut-être du fait de notre

formation d'ingénieur, nous adoptons volontairement une progression du plus simple au plus complexe. Nous débutons ainsi par un modèle à un agent et un bien en univers certain. L'introduction de l'incertitude nous oblige à réviser cette première approche balistique et à poser la question de l'héritage que nous léguons à nos descendants. Mais dès lors que cette question est posée, il est nécessaire de mieux définir ce que l'on lègue, et donc de passer à plusieurs biens. Il nous faut par ailleurs nous interroger sur la nature des compromis à court terme qui permettent de décider de la nature de cet héritage, et donc passer à plusieurs agents. Nous aboutissons ainsi à un monde dont nous reconnaissons l'hétérogénéité des techniques comme des nations et des agents, ce qui nous permet finalement d'aborder la question de la négociation internationale.