

JEAN-MARC BURNIAUX<sup>1</sup>

# EFFICACITÉ ET ÉQUITÉ DANS LE CONTRÔLE À LONG TERME DE L'EFFET DE SERRE

**RÉSUMÉ.** Les principes d'efficience ont inspiré le protocole signé à Kyoto en décembre 1997 par les pays de l'annexe 1. Cependant, s'il entre un jour en vigueur, ce protocole n'aura qu'une action très limitée sur la stabilisation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre (GES). Le clivage entre les pays riches et les pays pauvres bloquant les négociations de l'après-Kyoto, tout élargissement du protocole aux pays non visés à l'annexe 1 reste peu probable tant que les principes d'équité ne sont pas explicitement pris en compte. Le dilemme est le suivant : la concentration ne pourra être stabilisée qu'avec la participation des pays en développement, et ces derniers ne sont pas prêts à coopérer aussi longtemps qu'ils estimeront que ce sont les pays riches qui sont responsables de la présence des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Dans un tel contexte, il importe en priorité d'identifier les règles d'entrée et de partage de la charge en vue d'élargir le protocole de Kyoto d'une manière compatible avec les objectifs à long terme de stabilisation de la concentration.

Cet article identifie d'abord un certain nombre de trajectoires d'émissions au-delà de la première période d'engagement du protocole de Kyoto (2008-2012) qui soient compatibles avec des objectifs à long terme de stabilisation de la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Ensuite, différentes règles de partage de la charge entre pays de l'annexe 1 et ceux non visés à l'annexe 1 (basées sur les revenus par habitant, les émissions par habitant et les tendances historiques des émissions), sont évaluées à l'aide du modèle d'équilibre général GREEN élaboré par le Secrétariat de l'OCDE.

Les résultats obtenus indiquent que le protocole de Kyoto doit tout au plus être considéré comme le tout premier pas d'un effort à long terme et qu'il ne fournit pas la structure la plus adéquate pour mettre en œuvre les réductions d'émissions qui s'imposent au cours du siècle qui débute. Le protocole prévoit trois « mécanismes de flexibilité » qui permettent de redistribuer les réductions d'émission entre les pays de manière à minimiser les coûts. L'avantage de ces mécanismes est double à long terme :

1. JEAN-MARC BURNIAUX est administrateur principal au département d'économie du Secrétariat de l'OCDE (jean-marc.burniaux@oecd.org), en détachement (congé sabbatique) pour deux ans à Purdue University, Indiana.

Il tient à remercier vivement Jorgen Elmeskov et Paul O'Brien, du département d'économie de l'OCDE, pour leurs précieux commentaires. Les idées exprimées dans le présent article sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles de l'OCDE ou de ses pays Membres.

il permettra d'atteindre des objectifs bien plus ambitieux de stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, tout en compensant l'aggravation de l'inégalité de revenu induite au niveau mondial par les réductions très substantielles des émissions. Mais le protocole comprend également des dispositions de « complémentarité » qui restreignent l'utilisation de ces mécanismes. Si l'on maintient ce principe de « complémentarité » lors de l'élargissement du protocole aux pays non visés à l'annexe 1, le choix de la règle du partage de la charge revêt une importance critique pour la détermination des coûts. Toute règle de partage reposant sur le principe d'un droit d'émission égal et universel ou sur le principe de la « capacité de payer » serait plus coûteuse que des réductions équi-proportionnelles des émissions (équivalant à une répartition des permis selon le principe des « droits acquis » – *grandfathering*).

Le contrôle de l'utilisation des mécanismes de flexibilité comporte un autre

inconvenient à long terme. Les résultats indiquent que plus les échanges de droits d'émission sont réduits, plus des paiements compensatoires sont nécessaires pour encourager les pays non visés à l'annexe 1, à signer le protocole. Cependant, la possibilité politique de réaliser d'importants transferts internationaux sans contreparties claires est nettement limitée. En outre, pour des objectifs de stabilisation ambitieux, il peut être moins onéreux pour les pays de l'OCDE de s'adapter aux changements climatiques plutôt que « d'acheter » le soutien des pays en développement, en leur offrant une compensation pour les coûts résultant de la réduction des émissions. Ainsi, dans une perspective à plus long terme, il est d'une importance cruciale que toutes les restrictions à l'utilisation des « mécanismes de flexibilité » soient levées lors de l'élargissement du protocole aux pays non visés à l'annexe 1.

Classification JEL : C7 ; D58 ; D63 ; Q32.

**L**es principes d'efficience ont inspiré le protocole signé à Kyoto en décembre 1997 par les pays de l'annexe 1. Cependant, s'il entre un jour en vigueur, ce protocole n'aura qu'une action très limitée sur la stabilisation de la concentration atmosphérique des Gaz à Effet de Serre (GES). Le clivage entre les pays riches et les pays pauvres bloquant les négociations de l'après-Kyoto, tout élargissement du protocole aux pays non visés à l'annexe 1 reste peu probable en l'absence d'une prise en compte explicite des principes d'équité. Le dilemme est le suivant : la concentration de GES dans l'atmosphère terrestre ne pourra être stabilisée qu'avec la participation des pays en développement, et ces derniers ne seront pas prêts à coopérer aussi longtemps qu'ils estimeront que ce sont les pays riches qui sont responsables de l'accumulation de GES dans l'atmosphère. Dans un tel contexte, il importe d'identifier en priorité les règles de participation et de partage de la charge en vue d'élargir le protocole de Kyoto d'une manière compatible avec les objectifs à long terme de stabilisation de la concentration.

Il existe une littérature abondante sur les coûts économiques et le partage de la charge sur la période couverte par le protocole de Kyoto. Cet article traite d'un thème différent, car il se concentre sur les stratégies de l'après-Kyoto à plus long terme. Il a pour objectif d'évaluer un certain nombre de règles de partage de la charge (en fonction du revenu par habitant, des émissions par habitant et des tendances historiques des émissions) à l'aide du modèle d'équilibre général GREEN (*General Equilibrium Environmental model*) élaboré par le Secrétariat de l'OCDE

(ENCADRÉ 1). Les règles analysées dans cet article ne font pas référence à un quelconque accord qui pourrait faire l'objet des négociations actuelles sur les changements climatiques. Il conviendrait plutôt de les considérer comme des cas-types servant de références pour évaluer les différentes possibilités d'accords qui pourraient être discutés lors des négociations futures.

## ENCADRÉ 1

## Le modèle GREEN de l'OCDE

Les scénarios auxquels cet article fait référence ont été élaborés à l'aide du modèle GREEN du Secrétariat de l'OCDE. Il s'agit d'un modèle mondial, dynamique d'Équilibre Général Appliqué (EGA) comprenant plusieurs pays/régions et secteurs de production. Il a été mis au point dans le but explicite de quantifier les coûts, sur l'ensemble des secteurs et à l'échelle planétaire, des mesures visant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Ce modèle a un objectif à moyen terme : les simulations couvrent en effet la période allant jusqu'en 2050.

En raison de la nature mondiale du problème des gaz à effet de serre, une attention particulière est portée à la modélisation de certaines régions clé hors de la zone OCDE. Il existe douze sous-modèles régionaux détaillés :

- quatre régions OCDE (les États-Unis, le Japon, l'Union européenne et les autres pays Membres de l'OCDE) ;

- huit régions hors zone OCDE (la CEI, l'Europe de l'Est, la Chine, l'Inde, les pays en développement exportateurs d'énergie, les économies dynamiques d'Asie, le Brésil et un groupe comprenant le reste du monde).

GREEN dispose d'une structure dynamique récursive simple, dans laquelle les décisions d'épargne ont une incidence sur les résultats économiques ultérieurs *via* l'accumulation de capital productif. Dans la version utilisée ici, l'accumulation de capital est modélisée suivant une spécification « putty/semi-putty ». Les secteurs de production enregistrent des rendements d'échelle constants et les marchés sont supposés se trouver dans une situation de concurrence parfaite. La production et la consommation sont spécifiées à l'aide de systèmes de fonctions à élasticité constante de substitution (CES) emboîtées. Les consommateurs maximisent leur utilité et répartissent leur consommation selon une fonction de demande de type ELES (*Extended Linear Expenditure System*).

Le modèle GREEN tient compte de onze secteurs de production, qui ont été choisis pour mettre en valeur les relations entre l'amenuisement des ressources, la production et l'utilisation de l'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub>. Étant donné que la principale source d'émissions anthropiques de CO<sub>2</sub> est l'utilisation de combustibles fossiles, le modèle se concentre en particulier sur le secteur énergétique. Il distingue trois sources d'énergie fossile classiques – le pétrole, le gaz naturel et le charbon – et une source d'énergie classique non-fossile (sans carbone). Cette dernière source comprend l'énergie nucléaire, solaire et hydraulique. D'autres technologies alternatives, avec ou sans carbone, existent pour toutes les sources d'énergie classiques à des coûts et des dates d'introduction déterminés de façon exogène.

Le volet « production » de chaque modèle régional détaille l'offre des combustibles fossiles et l'utilisation d'intrants d'énergie fossile et non fossile dans le processus de production. Il tient également compte des changements dans la composition de la production en traitant l'agriculture comme un secteur distinct, et en différenciant deux grandes catégories, les secteurs à forte intensité énergétique et les autres secteurs manufacturés et services.

La demande des ménages comporte quatre catégories de biens de consommation : alimentation et boissons, combustibles et énergie, transport et communications et autres biens et services. L'épargne est donc traitée implicitement comme un « cinquième bien » et les variations des prix de l'énergie affectent, par conséquent, à la fois la structure de la demande et le rapport consommation/épargne *via* les variations du revenu réel.

La version du modèle utilisée dans cet article a été actualisée et légèrement modifiée par rapport à celle utilisée dans le projet de comparaison des modèles entrepris par l'OCDE (voir Burniaux & *al.*, 1992a et 1992b ; Lee, Oliveira-Martins & van der Mensbrugge, 1994). Elle s'appuie sur les données 1995 élaborées par le GTAP (Hertel, 1997).

Ces règles sont définies de manière à atteindre des objectifs plus ou moins ambitieux de stabilisation de la concentration atmosphérique de carbone au cours des deux cents prochaines années. L'évaluation des différentes règles prend en compte les coûts totaux et régionaux, le volume d'échanges de droits d'émissions de carbone et les montants des versements compensatoires qui seraient nécessaires si les pays riches devaient « acheter » le soutien des pays en développement en leur offrant une indemnisation pour leurs pertes éventuelles.

Les résultats de cette analyse indiquent que le protocole de Kyoto ne peut être considéré que comme le tout premier pas d'un effort à long terme visant à stabiliser la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre et qu'il ne fournit pas la structure la plus adéquate pour mettre en œuvre les réductions d'émissions qui s'imposent au cours du siècle qui débute. Le protocole prévoit trois « mécanismes de flexibilité » qui permettent de redistribuer les réductions d'émissions entre les pays dans le but d'en minimiser les coûts. Ces mécanismes comportent un double avantage à long terme : ils permettront en effet d'atteindre des objectifs bien plus ambitieux de stabilisation de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> tout en compensant l'aggravation de l'inégalité de revenu induite par des réductions considérables des émissions de carbone au niveau mondial. Mais le protocole renferme également des dispositions de « complémentarité » qui restreignent l'utilisation de ces mécanismes. Si l'on maintient le principe de « complémentarité » lors de l'élargissement du protocole aux pays non visés à l'annexe 1, le choix de la règle du partage de la charge revêt une importance critique pour la détermination des coûts. Toute règle de partage de la charge reposant sur le principe d'un droit d'émission égal et universel ou sur un principe de « capacité de payer » serait plus coûteuse que des réductions équiproportionnelles des émissions (équivalant à une répartition des permis selon le principe des « droits acquis » – *grandfathering*).

Le contrôle de l'utilisation des mécanismes de flexibilité comporte un autre inconvénient à plus long terme. Les résultats indiquent que moins il y aura d'échanges de droits d'émission, plus importants seront les versements compensatoires nécessaires pour encourager les pays non visés à l'annexe 1 à signer le protocole. En outre, dans la conception des futures règles de partage de la charge, il existe un arbitrage entre les mécanismes obéissant aux lois du marché (comme les achats et ventes de droits d'émission) et les mécanismes distributifs directs (comme les versements compensatoires). Certaines règles, reposant par exemple sur la « capacité de payer » ou un « objectif d'émissions égales par habitant », présentent un fort potentiel distributif par l'intermédiaire du marché des droits

d'émission, en ce sens qu'elles génèrent de gros volumes d'échanges de ces droits. L'autre solution, fondée sur une répartition des permis selon le principe des « droits acquis », est moins coûteuse, mais son potentiel distributif par le marché des droits d'émission est plus faible. Elle devra être complétée par d'importants versements compensatoires. Cependant, la possibilité politique de réaliser d'importants transferts internationaux sans contrepartie claire est nettement limitée, si ce n'est déconseillée d'un point de vue économique. Pour des objectifs de stabilisation ambitieux, il peut être moins onéreux pour les pays de l'OCDE de s'adapter aux changements climatiques que « d'acheter » le soutien des pays en développement en leur offrant une indemnisation pour les coûts économiques induits par la réduction des émissions.

De même qu'avec toutes les analyses sur le long terme, la prudence est de mise pour l'interprétation des résultats, en particulier en ce qui concerne la profonde incertitude entourant le scénario de référence. Il est manifestement impossible de prévoir un seul scénario de référence, notamment sur une période de deux siècles. Dans cette mesure, seules les conclusions indépendantes du scénario de référence seront soulignées, les ordres de grandeur ne devant être considérés qu'à titre d'exemples.

## **L**e dilemme à long terme du protocole de Kyoto

### L'évaluation du protocole de Kyoto

Le protocole s'articule autour d'objectifs différenciés par pays. Signé à Kyoto en octobre-novembre 1997, il marque le premier pas concret de l'effort international visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. La disposition centrale du texte consiste en un ensemble d'objectifs chiffrés pour les émissions d'un certain nombre de gaz à effet de serre sur la période 2008-2012, spécifiés pour chaque pays de l'annexe 1. Ces objectifs sont exprimés en fonction des niveaux d'émissions en 1990. Ensemble, les pays de l'annexe 1 se sont engagés à réduire leurs émissions d'environ 5 % par rapport à 1990.

Le résultat le plus concret du processus de négociation de Kyoto est donc un ensemble de contraintes spécifiques à chaque pays. Vraisemblablement, ce sera également le point de départ de toute modification ou extension ultérieures du protocole. Ce qui est toutefois frappant, c'est le déséquilibre entre ces objectifs différenciés. En effet, certains pays, tels que les États-Unis, se sont engagés à réduire fortement leurs émissions (d'environ 30 % en 2010 par rapport au niveau qu'auraient atteint les émissions en l'absence d'accord). En revanche, la Fédération de Russie et l'Ukraine (appelées CEI dans la suite de cet article) bénéficient d'objectifs nettement supérieurs à leurs niveaux d'émission actuels et prévisionnels<sup>2</sup>. Certaines Parties à l'annexe 1, telles que l'Islande, la Norvège ou l'Australie, ont même été autorisées à accroître leurs émissions par rapport à 1990<sup>3</sup>.

2. La CEI s'est engagée à ne pas dépasser le niveau de ses émissions en 1990.

3 La règle de partage de la charge sous-tendant la « bulle » de l'UE présente des disparités analogues pour la plupart des pays d'Europe du sud, dont les quotas d'émission sont nettement supérieurs aux niveaux de 1990.

La logique qui sous-tend la répartition des objectifs (c'est-à-dire la règle de partage de la charge du protocole de Kyoto) est assez floue. Elle est clairement en contradiction avec toute considération d'un rapport coût/efficacité. En effet, les pays où la réduction devrait engendrer des coûts élevés (Japon, Union européenne) doivent réduire davantage leurs émissions, alors que les pays où les coûts de réduction sont faibles (CEI) ne sont soumis à aucune restriction. On pourrait à juste titre considérer que les engagements de Kyoto ont été négociés de manière à générer le plus vaste potentiel de transaction des émissions entre les Parties. En d'autres termes, la principale raison pour laquelle des Parties telles que les États-Unis et la CEI ont signé le traité tient à ce que les premiers ont la possibilité d'éviter les réductions chez eux en « achetant des droits d'émission » à l'étranger, tandis que la CEI attend des avantages substantiels de la « vente de droits d'émissions » aux autres pays. À cet égard, le protocole de Kyoto conjugue efficacité, économie et équité.

Même si le protocole a été négocié dans la perspective de générer un gros volume d'échanges de droits d'émission entre les Parties, il reflète les divergences d'opinion des Parties sur l'utilisation de ces échanges. Le protocole prévoit trois « mécanismes de flexibilité » : les deux premiers instruments reposent sur des projets<sup>4</sup> – la mise en œuvre conjointe (*Joint Implementation*) et le mécanisme de développement propre (*Clean Development Mechanism*) – alors que le troisième consiste à échanger des droits d'émissions entre les Parties de l'annexe 1. Cependant, le protocole ne précise pas comment mettre en œuvre ces instruments. En outre, il renferme des restrictions sur l'utilisation de ces mécanismes qui, en fonction de la manière dont elles sont interprétées, peuvent considérablement réduire leur potentiel d'économies. L'acquisition de réductions d'émission, au moyen de la mise en œuvre conjointe (article 6) ou des échanges de droits (article 17), doit « venir en complément des mesures prises au niveau national ». Le mécanisme de développement propre (article 12) fonctionnera, quant à lui, dans le cadre d'une gouvernance renforcée, comprenant la supervision par un conseil exécutif et des réductions d'émissions certifiées par des « entités opérationnelles désignées par la Conférence des Parties ».

Dans le cadre de l'objectif ultime de la Convention – c'est-à-dire la stabilisation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre à un niveau empêchant toute interférence anthropique dangereuse avec le système climatique –, le protocole doit plutôt être considéré comme la première étape d'un effort à long terme. En tant que tel, le protocole aura peu d'effets sur la réduction des émissions mondiales de gaz à effet de serre et sur la stabilisation de leur concentration dans l'atmosphère. Au mieux, il repoussera de dix ans le moment où la concentration sera supérieure au plafond de 550 ppmv, soit deux fois le niveau pré-industriel. En outre, tous les efforts supplémentaires que pourraient entreprendre les pays de l'annexe 1 n'auront quasiment aucune incidence sur la concentration tant que les émissions progressent dans les pays non visés à l'annexe 1, comme elles sont susceptibles de le faire en l'absence de contraintes (OCDE, 1999). Cette situation s'explique par le fait que la part des émissions des pays de l'annexe 1

4. Étant donné qu'ils se rapportent à des projets d'investissement plutôt qu'à des échanges de permis d'émissions. Par exemple, si une entreprise appartenant à un pays de l'annexe 1 réalise un investissement dans un pays non visé à l'annexe 1 qui a pour conséquence une réduction d'émissions certifiée, la partie correspondante de l'annexe 1 peut utiliser cette réduction pour satisfaire à ses engagements chiffrés de limitation des émissions.

dans les émissions mondiales devrait décroître rapidement, de manière à ce que toute mesure supplémentaire, au-delà de celles prévues par Kyoto, n'ait que peu d'impact à l'échelon planétaire. Les simulations effectuées par le « Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat » (IPCC) confirment clairement que la stabilisation du climat nécessite absolument la participation active des pays non visés à l'annexe 1 (Wigley & *al.*, 1997).

### Les perspectives d'extension

Le protocole de Kyoto a été adopté sur une base *volontaire*. La logique qui sous-tend ce processus de négociations climatiques peut donc, au moins en partie, être liée à des incitations économiques. Dans un tel contexte, une littérature de plus en plus abondante fondée sur la théorie des jeux analyse la formation de coalitions en faveur d'objectifs environnementaux tels que la lutte contre les changements climatiques. Ces études fournissent une base analytique dans la recherche des moyens permettant d'élargir le protocole aux pays qui n'y participent pas (ANNEXE 1).

En bref, ces études estiment qu'un accord entièrement volontaire comprendrait tout au plus un petit nombre de signataires et serait, par conséquent, insuffisant pour stabiliser le climat. Cette conclusion pessimiste s'explique principalement par la forte incitation donnée aux pays de profiter des bénéfices de l'action de la coalition sans en payer les coûts (*free riding*). La littérature indique également que si les « fuites de carbone »<sup>5</sup> sont importantes, il risque d'être encore plus difficile de parvenir à un accord étendu, car les incitations au *free riding* seront d'autant plus fortes. Réciproquement, l'existence d'avantages joints (souvent appelés « ancillaires ») au niveau local<sup>6</sup> peut inciter les pays à s'engager dans un accord. Les études ont également mis en lumière un certain nombre de possibilités d'élargir cette petite coalition dite « spontanée », notamment au moyen de transferts en faveur des pays hésitants.

## Un cadre d'évaluation des règles de partage de la charge

Tout élargissement du protocole de Kyoto sera confronté au problème de la définition d'une règle de partage de la charge, c'est-à-dire de la règle de répartition des réductions d'émissions ou des permis de polluer entre les Parties participantes, que les pays fassent ou non partie de l'annexe 1. Il existe une infinité de manières de répartir les réductions ou les droits d'émission entre pays afin d'atteindre un objectif fixé au niveau mondial. Le protocole de Kyoto implique en lui-même un partage assez inégal de l'effort global de réduction des émissions (voir plus haut) qui correspond à une règle donnée, mais non spécifiée. La section suivante identifie différents critères permettant d'évaluer les règles de partage de la charge.

5. On entend par « fuites de carbone » (« carbon leakage ») la possibilité que l'effort de réduction des émissions entrepris par un groupe de pays entraîne une augmentation des émissions dans les pays non participants.

6. Comme les réductions de pollution locale et la décongestion du trafic automobile.

## L'efficacité environnementale

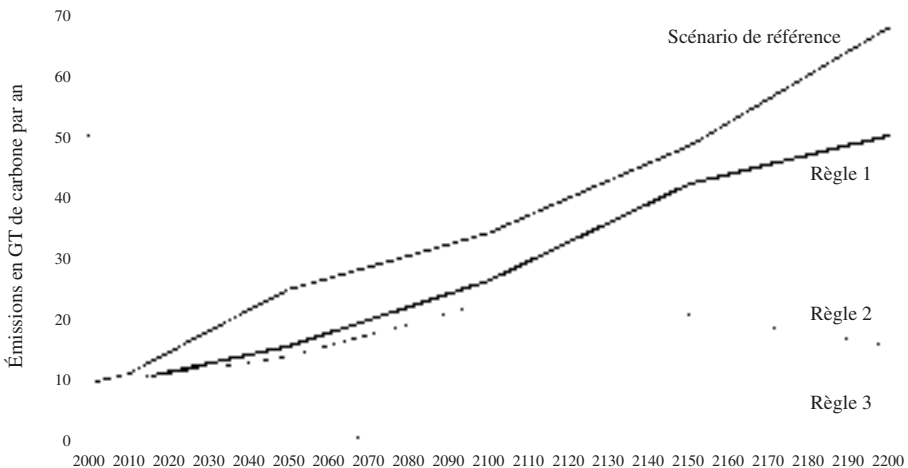
Pour correspondre à l'objectif de la Convention, une règle doit conduire à une certaine stabilisation de la concentration des gaz à effet de serre. Or, toutes les règles ne vont pas dans ce sens. Prenons un exemple simple. Supposons la règle suivante : les Parties à l'annexe 1 maintiennent leurs émissions aux niveaux spécifiés dans le protocole de Kyoto, tandis que les émissions par habitant des pays non visés à l'annexe 1 ne peuvent dépasser les émissions moyennes par habitant des pays de l'annexe 1. Comme le montrent les GRAPHIQUES 1 et 2, cette règle est incompatible avec une stabilisation de la concentration.

Tester l'efficacité environnementale d'une règle nécessite d'établir un lien entre, d'une part, les émissions passées et futures et, d'autre part, la concentration. Cette opération s'effectue habituellement à l'aide de modèles très détaillés qui simulent les interactions complexes entre les océans, la biosphère et l'atmosphère. Cependant, dans cette analyse, nous avons intégré ces informations au modèle GREEN en utilisant des « fonctions de réponse » de forme réduite. De telles fonctions permettent de calculer la proportion de carbone émis au moment  $t$  qui subsiste dans l'atmosphère après un certain laps de temps. En ce sens, ces fonctions permettent de calculer comment une variation donnée des émissions modifie le profil temporel à venir de la concentration par rapport à un profil de référence (ce profil de référence étant lui-même calculé à l'aide d'un modèle complet).

Les projections effectuées à l'aide des « fonctions de réponse » émanant du modèle de Wigley (1993) livrent un message sans ambiguïté sur les efforts ultérieurs afin de stabiliser la concentration de carbone dans l'atmosphère. En effet, elles indiquent que cette stabilisation nécessitera, à un moment donné, que les émissions mondiales soient ramenées à des niveaux très bas par rapport aux

GRAPHIQUE 1

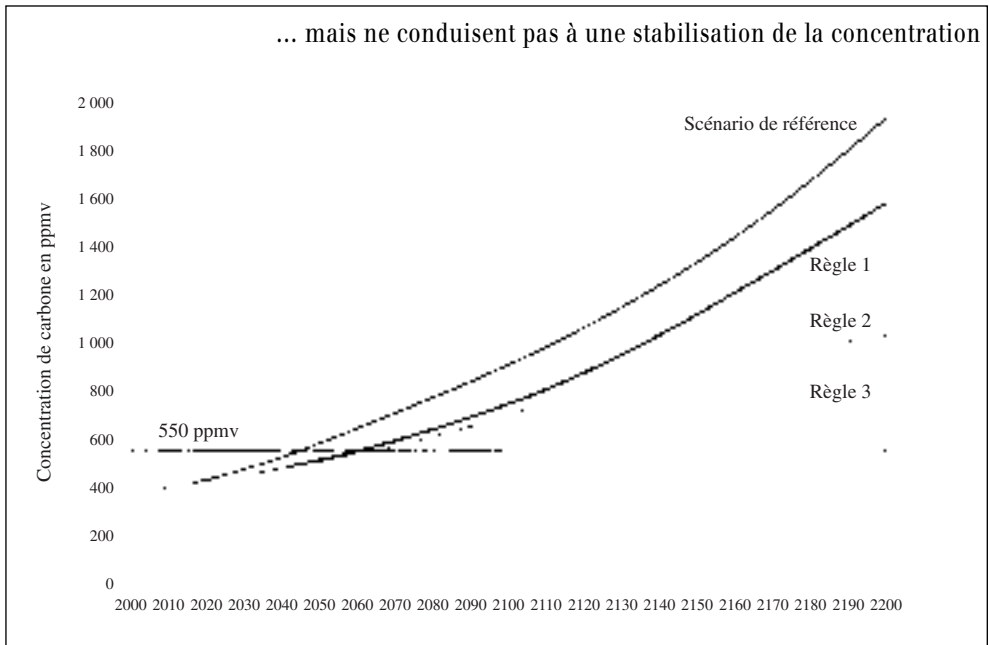
Certaines règles de partage de la charge impliquent une réduction substantielle des émissions...





niveaux actuels<sup>7</sup>. Ceux-ci se situeraient aux alentours de 0,5 à 1,5 Gt de carbone rejeté chaque année (contre 8 Gt actuellement). En outre, ce résultat se vérifie quels que soient le niveau et le moment de la stabilisation<sup>8</sup>.

GRAPHIQUE 2



Règle 1 : Les pays de l'annexe 1 maintiennent leurs émissions aux niveaux fixés par Kyoto (« Kyoto pour toujours ») et les émissions par habitant des pays non visés à l'annexe 1 ne peuvent pas dépasser les émissions moyennes par habitant des pays de l'annexe 1.

Règle 2 : Les pays de l'annexe 1 font baisser leurs émissions après 2010 au rythme linéaire demandé par le Protocole de Kyoto et les émissions par habitant des pays non visés à l'annexe 1 ne peuvent dépasser les émissions moyennes par habitant des pays de l'annexe 1.

Règle 3 : Les pays de l'annexe 1 maintiennent leurs émissions aux niveaux fixés par Kyoto (« Kyoto pour toujours ») et les pays non visés à l'annexe 1 stabilisent leurs émissions aux niveaux de 2010.

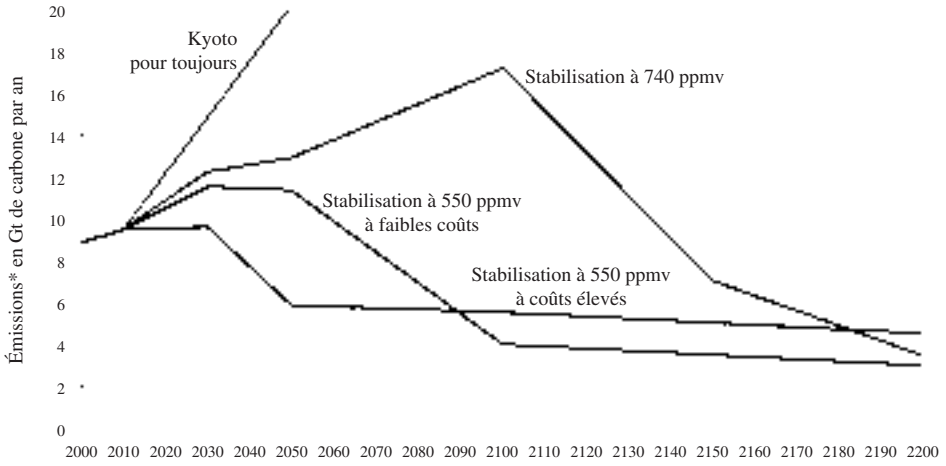
Pour cette analyse, nous avons identifié trois trajectoires d'émissions compatibles avec des objectifs de stabilisation ; ces trajectoires (GRAPHIQUE 3) supposent des réductions significatives des émissions dans les pays non visés à l'annexe 1. Le GRAPHIQUE 4 présente, quant à lui, les profils de concentration qui en résultent,

7. L'analyse de sensibilité effectuée à l'aide de différents modèles du cycle du carbone montre que ce résultat est assez fiable (voir OCDE, 1999, p. 125).

8. Pour une description plus détaillée de cette analyse, voir aussi OCDE (1999), p. 125.

GRAPHIQUE 3

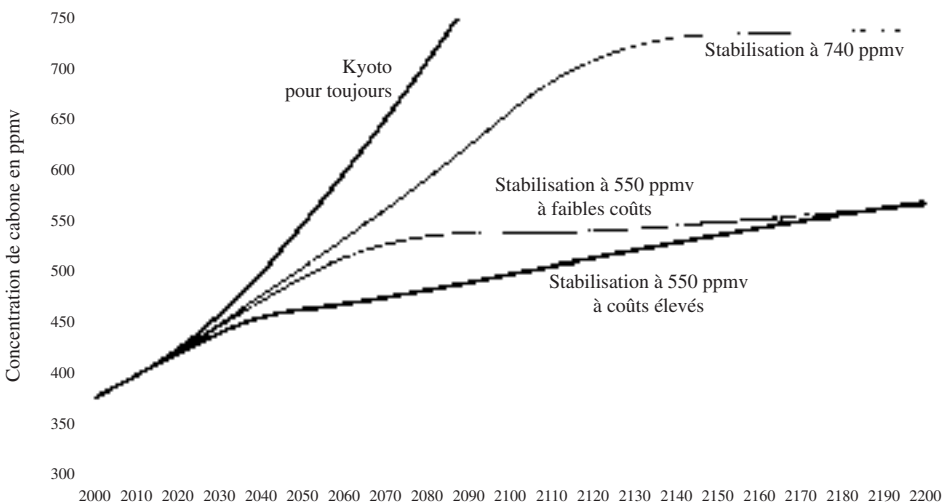
Profils d'émissions compatibles avec des objectifs de stabilisation de la concentration (1997-2200)



\* Y compris les émissions dues aux modifications de l'utilisation des terres.

GRAPHIQUE 4

Profils de stabilisation de la concentration (1997-2200)



estimés à l'aide de la fonction de réponse réduite du modèle de Wigley (1993). Ces trois scénarios ne supposent aucune réduction avant 2010, en dehors de celles spécifiées dans le protocole de Kyoto. L'hypothèse la moins ambitieuse suppose que les émissions mondiales continuent leur progression jusqu'à la fin du siècle prochain, avant de chuter fortement. Cela conduit à une stabilisation de la concentration en carbone à 740 ppmv. L'hypothèse intermédiaire simule une stabilisation complète des émissions mondiales commençant après 2010 ce qui amène la concentration à se stabiliser à 550 ppmv. Ce scénario sera appelé « scénario à coûts faibles et risque élevé », étant donné que la concentration en carbone continue d'augmenter rapidement au cours de ce siècle, s'approchant du plafond de 550 ppmv d'ici la seconde moitié du siècle – limite souvent considérée comme le niveau auquel augmente le risque que le changement climatique nous réserve des surprises. Enfin, le scénario le plus ambitieux suppose que des réductions massives des émissions mondiales commenceront après 2010. Étant donné que, dans ce scénario, la concentration reste nettement en dessous des 550 ppmv pour ce siècle, il sera appelé « scénario à coût élevé et risque faible ». Les GRAPHIQUES 3 et 4 comparent ces hypothèses à une autre, baptisée « Kyoto pour toujours », selon laquelle les émissions des pays de l'annexe 1 restent constantes après 2012 au niveau des objectifs fixés à Kyoto, tandis que les émissions des pays non visés à l'annexe 1 ne sont soumises à aucune contrainte de réduction.

## L'équité

Plus une règle de partage de la charge est acceptable par un large éventail de pays, meilleure elle est. À l'évidence, les permis d'émission accroissent la probabilité de satisfaire à cette exigence, car leur attribution initiale peut être ajustée de manière à compenser les pertes encourues par certains pays. Cependant, les répercussions défavorables (dans les pays exportateurs d'énergie, par exemple) et le fait que des pays sont susceptibles de tirer parti des changements climatiques alors que d'autres en subiraient les conséquences rendent peu probable une forte participation uniquement par le biais de permis. Qui plus est, les permis ne suppriment pas à eux seuls l'incitation à rester en dehors de la coalition, de manière à en tirer les bénéfices sans en supporter les coûts<sup>9</sup>.

Afin d'élargir la participation à une action mondiale, les négociations actuelles sur les changements climatiques envisagent d'indemniser certains pays pour leurs pertes économiques. Deux types de transferts entre pays et entre régions seront donc pris en compte dans l'évaluation des différentes règles de partage de la charge : d'une part, les flux monétaires, contreparties des échanges de permis, et, d'autre part, les versements compensatoires destinés à encourager les pays à prendre part à une action mondiale. Pour chaque règle de partage de la charge, nous calculons les sommes que les pays de l'annexe 1 devraient verser aux pays non visés à l'annexe 1, en plus des recettes que ces pays pourraient éventuellement tirer de la vente de permis, pour compenser les pertes économiques de ces pays (ces pertes étant définies comme l'écart de revenu réel entre un scénario supposant un marché global et non limité de permis, et le scénario de référence).

9. Même dans le cas d'une redistribution égale des gains d'efficacité provenant des échanges de droits d'émission, les pays sont incités à rester en dehors de la coalition, tout en profitant des avantages environnementaux de l'action de celle-ci.

## L'efficacité économique

En principe, les échanges de permis permettent de minimiser le coût global d'une réduction donnée des émissions. Par conséquent, si ces échanges ne font l'objet d'aucune restriction et concernent tous les pays, le coût global ne dépend que de l'ampleur de la réduction totale des émissions. Dans ce cas, le choix de la règle de partage de la charge n'a aucune incidence sur le coût global, bien qu'il influe manifestement sur la répartition de ce coût entre les pays/régions. Néanmoins, comme nous l'avons indiqué plus haut, le protocole de Kyoto contient des restrictions à l'utilisation des « mécanismes de flexibilité ». Son extension aux pays non visés à l'annexe 1 sera donc plus coûteuse pour certaines règles de partage de la charge que pour d'autres.

Même si toutes les restrictions énumérées dans le protocole devaient être supprimées, il existe effectivement des raisons de penser que certaines de ces règles seront plus coûteuses que d'autres. Premièrement, dans la réalité, il y a peu d'exemples de produits échangés qui soient parfaitement homogènes. Par conséquent, on ne voit guère pourquoi les droits d'émission émanant de différents pays devraient être considérés comme des substituts parfaits<sup>10</sup>. Deuxièmement, les échanges de permis et, plus encore, les projets entrepris dans le cadre de la « mise en œuvre conjointe » et du « développement propre », sont susceptibles de s'accompagner de coûts de transaction.

### La faisabilité

Compte tenu des objectifs par pays définis dans le protocole, les échanges de permis sont susceptibles de déboucher sur des transferts monétaires d'une ampleur sans précédent. Les simulations au moyen du modèle GREEN montrent ainsi que les échanges de droits d'émission entre pays de l'annexe 1 génèreraient 38 milliards de dollars par an (au taux de 1995) à l'horizon 2010, exclusivement au profit de la CEI. À titre de comparaison, cette somme représente environ le double du total de la dette de la Russie auprès du FMI en 1998. Il est probable que des transferts aussi substantiels auront des conséquences macroéconomiques. Fixer le cadre institutionnel de versements aussi importants constitue un enjeu de taille, auquel il faudrait s'intéresser de toute urgence pour que les « mécanismes de flexibilité » puissent être mis en œuvre dans les délais, pour la première période budgétaire.

L'évaluation des différentes règles de partage de la charge devrait prendre en compte le volume des versements soit à titre compensatoire et/ou comme contreparties des achats de permis. L'idée de base est qu'une règle donnant lieu à des flux monétaires importants entre les pays est susceptible de se révéler plus coûteuse en raison de coûts de transaction et/ou d'administration.

### Les trois règles de partage possibles

Le principe régissant la participation au protocole de Kyoto manque de clarté. Une analyse des données pourrait suggérer que le niveau des émissions par habitant constitue le critère sous-jacent de cette participation. En effet, tous les

10. Ainsi, l'introduction du principe de la responsabilité de l'acheteur dans le cadre des échanges de droits d'émission entraînerait une différenciation du prix des permis en fonction de la crédibilité du vendeur.

pays visés à l'annexe 1 occupent le haut du classement mondial en termes d'émissions par habitant. On pourrait également avancer que c'est le niveau du revenu par habitant qui détermine la participation au protocole<sup>11</sup>. Ces deux indicateurs sont de toute façon corrélés et peuvent être considérés comme de bons candidats pour constituer une règle de partage de la charge. De plus, il est fort probable que le protocole ne satisfait à aucune de ces deux règles et que la meilleure description qui puisse en être donnée est celle d'un processus de négociation associant partage de la charge et aspects tactiques<sup>12</sup>.

Nous présentons ici trois règles différentes de partage envisageables. Ces règles ne sont pas destinées à servir de fondement pratique pour une quelconque extension du protocole. Elles se définissent plutôt comme des hypothèses extrêmes pouvant servir de référence dans le cadre d'une négociation de la participation des pays non visés hors à l'annexe 1 à une action mondiale en vue de réduire les émissions de GES.

### LA RÈGLE DU PRINCIPE « DROITS ACQUIS »

La règle la plus simple, pour commencer, consiste à supposer que tous les pays doivent réduire leurs émissions dans les mêmes proportions. Cette règle est exprimée au moyen de l'équation suivante (ENCADRÉ 2).

ENCADRÉ 2

#### Règle n° 1 : Répartition des permis selon le principe des droits acquis

##### Émissions mondiales au moment $t$ :

$$\bar{E}_t = (1 - \gamma) E_{t0} - \gamma E_t$$

Où  $\gamma$  est le taux de réduction par rapport aux émissions mondiales au moment  $t = 0$  ;

$E_t$  et  $E_{t0}$  sont les émissions mondiales non limitées (telles que prévues dans le scénario de référence) aux moments  $t$  et  $t0$  ;

$\bar{E}_t$  désigne les émissions mondiales limitées au moment  $t$ .

##### Émissions des pays $r$ au moment $t$ :

$$\bar{E}_{r,t} = \text{part}_{r,t0} \bar{E}_t \text{ pour } r = 1, N \text{ pays/régions.}$$

Où  $\text{part}_{r,t0}$  est la part du pays  $r$  dans les émissions mondiales au moment  $t = 0$  ;

$\bar{E}_{r,t}$  désigne les émissions limitées du pays/de la région  $r$  au moment  $t$ .

On parle ici de la règle des « droits acquis » (*grandfathering*), car, comme l'indique clairement l'équation ci-dessus, on considère que la part de chaque pays dans les émissions mondiales reste constante dans le temps. Ainsi, la réduction totale prévue par le protocole de Kyoto aurait pu être appliquée de manière égale à tous les pays du monde. Certains auteurs – voir, par exemple, Schmalensee

11. Voir OCDE (1999), p. 75. La règle de partage de la charge, interne à la « bulle » de l'UE peut également refléter, dans une certaine mesure, le principe de la « capacité de payer ».

12. Par exemple, la participation de la CEI au protocole peut être considérée comme la contrepartie de leur dotation relativement généreuse en droits d'émission, dans le cadre d'un marché potentiel d'échanges de permis.

(1996) – estiment qu’une approche « d’abord large, puis plus approfondie » aurait été préférable à l’approche « d’abord approfondie, puis large » suivie dans le protocole. Un traité donnant lieu à des engagements moins stricts, mais répartis sur l’ensemble de la communauté internationale et non sur un petit groupe de pays industrialisés aurait pu constituer un meilleur point de départ pour des réductions ultérieures plus importantes. En tout cas, la règle des droits acquis n’est assurément pas celle qui régit le protocole de Kyoto.

### L’OBJECTIF D’ÉMISSIONS ÉGALES PAR HABITANT

La quatrième Conférence des Parties, qui s’est tenue à Buenos Aires en novembre 1998, a évoqué le principe de « la convergence vers l’équité », selon lequel tous les individus devraient recevoir les mêmes droits d’émission. Par conséquent, si l’on élargit le protocole de Kyoto, la répartition initiale des permis entre les pays devrait converger vers le même volume d’émissions par habitant<sup>13</sup>. Dans le modèle GREEN, on simule ce processus en partant de l’hypothèse (ENCADRÉ 3) que les pays de l’annexe 1 fixent leur propre objectif, et que les autres pays ne peuvent dépasser le volume moyen d’émissions par habitant des pays de l’annexe 1.

#### ENCADRÉ 3

##### Règle n° 2 : Objectif d’émissions égales par habitant

###### Émissions des pays visés à l’annexe 1 au moment $t$ :

Si  $r \in \text{annexe 1}$ , alors  $\bar{E}_{r,t} = (1 - \gamma) E_{r,t} + \gamma E_{r,t0}$   
 où  $\gamma$  est un taux de réduction donné,  $E_{r,t}$  et  $E_{r,t0}$  sont les émissions non limitées en  $t$  et  $t0$  et  $\bar{E}_{r,t}$  les émissions limitées en  $t$ .

###### Émissions des pays non visés à l’annexe 1, au moment $t$ :

Si  $r \in \text{hors annexe 1}$ , alors  $\bar{E}_{r,t}$  tel que  $\frac{\bar{E}_{r,t}}{POP_{r,t}} \leq \frac{\bar{E}_{\text{annexe 1},t}}{POP_{\text{annexe 1},t}}$   
 et  $\bar{E}_{r,t} < E_{r,t}$

$\bar{E}_{r,t}$  et  $\bar{E}_{\text{annexe 1},t}$  étant les émissions dans le pays  $r$  non visé à l’annexe 1 et dans les pays de l’annexe 1,  $POP_{r,t}$  et  $POP_{\text{annexe 1},t}$  la population du pays  $r$  non visé à l’annexe 1 et des pays de l’annexe 1.

Dans la règle [2], le coefficient  $\gamma$  est calibré de manière à obtenir un profil des concentrations compatible avec les objectifs de stabilisation définis plus haut. Cette règle présente donc une caractéristique essentielle : en fixant leur propre objectif d’émissions, les pays visés à l’annexe 1 déterminent le degré de participation des pays hors annexe 1, ainsi que le volume total de réduction des émissions.

13. Bien entendu, les émissions effectives sont susceptibles de s’écarter de l’objectif d’émissions égales par habitant, car les pays achètent ou vendent des permis en fonction de leur situation environnementale, géographique et économique.

## LA CAPACITÉ DE PAYER

La troisième règle repose sur le principe selon lequel la participation des pays doit dépendre de leur « capacité de payer », c'est-à-dire de leur revenu par habitant. Le modèle GREEN applique cette règle en partant de l'hypothèse (ENCADRÉ 4) que les pays non visés à l'annexe 1 rejoindront la coalition lorsque leur revenu par habitant atteindra une fraction donnée du revenu moyen par habitant des pays de l'annexe 1. De plus, les réductions des émissions (ou les allocations de permis) dans les pays non visés à l'annexe 1 sont différenciées proportionnellement au niveau relatif du revenu par habitant<sup>14</sup>.

ENCADRÉ 4

Règle n° 3 : Capacité de payer

**Émissions des pays visés à l'annexe 1 au moment  $t$  :**

Si  $r \in \text{annexe 1}$ , alors  $\bar{E}_{r,t} = (1 - \gamma) E_{r,t} \leq E_{r,t0}$   
 où  $\gamma$  est un taux de réduction donné,  $E_{r,t}$  et  $E_{r,t0}$  sont les émissions non limitées en  $t$  et  $t0$  et  $\bar{E}_{r,t}$  les émissions limitées en  $t$ .

**Émissions des pays non visés à l'annexe 1, au moment  $t$  :**

Si  $r \in \text{hors annexe 1}$  et  $\left( \frac{\text{Revenu}_{r,t}}{\text{POP}_{r,t}} \right) \geq \alpha \left( \frac{\text{Revenu}_{\text{annexe 1}}}{\text{POP}_{\text{annexe 1}}} \right)$

alors  $\bar{E}_{r,t} \geq E_{r,t0} \left( 1 + \gamma_{r,t}^{\text{Réf.}} \cdot \varepsilon \left( \frac{\text{Revenu}_{r,t} / \text{POP}_{r,t}}{\text{Revenu}_{\text{NAnnexe 1,t}} / \text{POP}_{\text{NAnnexe 1,t}}} \right) \right)$

où  $\text{Revenu}_{r,t}$ ,  $\text{Revenu}_{\text{annexe 1,t}}$  et  $\text{Revenu}_{\text{Nannexe 1,t}}$  sont, respectivement, le revenu du pays  $r$  hors annexe 1, le revenu de l'ensemble des pays de l'annexe 1 et le revenu de l'ensemble des pays hors à l'annexe 1,  $\text{POP}_{r,t}$ ,  $\text{POP}_{\text{annexe 1,t}}$  et  $\text{POP}_{\text{Nannexe 1,t}}$  étant, respectivement, la population du pays  $r$  hors annexe 1, la population de l'ensemble des pays de l'annexe 1 et la population de l'ensemble des pays hors à l'annexe 1,  $\gamma_{r,t}^{\text{Réf.}}$  désignant le taux de croissance des émissions dans le scénario de référence, et  $\alpha$  et  $\varepsilon$  étant des paramètres calibrés.

Dans la règle [3], les paramètres de décision sont, premièrement, le niveau du revenu par habitant,  $\alpha$ , qui détermine la participation à la coalition, et, deuxièmement, l'élasticité  $\varepsilon$ , qui différencie les réductions des émissions (exprimées en termes de déviations, en pourcentage, par rapport à leur progression dans le scénario de référence), en fonction du niveau de revenu par habitant propre à chaque pays. Ces deux paramètres sont calibrés de manière à obtenir des profils des concentrations compatibles avec les objectifs de stabilisation définis plus haut.

14. Pour d'autres utilisations d'une règle de partage de la charge reposant sur la capacité de payer, voir Jacoby, Schmalensee & Sue Wing, 1999.

# Résultats des simulations

Analysons maintenant les résultats des simulations. On étudie trois profils temporels de stabilisation des concentrations, assortis de différents niveaux d'ambition et de risque : stabilisation à 740 ppmv, stabilisation à 550 ppmv à « faibles coûts et risque élevé » et stabilisation à 550 ppmv à « à coûts élevés et risque faible ». Pour chacun de ces profils, les engagements de réduction ou les droits d'émission sont répartis selon les trois règles de partage de la charge, décrites plus haut : droits acquis, émissions égales par habitant et capacité de payer. Enfin, on simule chacun des 9 scénarios correspondants en partant de l'hypothèse que : *i*) chaque pays/région remplit ses engagements individuellement, c'est-à-dire sans échange de droits d'émission ; *ii*) les droits d'émission sont échangés entre tous les pays/toutes les régions du monde, y compris ceux/celles qui ne sont soumis(es) à aucune contrainte<sup>15</sup>, et *iii*) outre l'échange de droits d'émission à l'échelle mondiale, les pays/régions hors annexe 1 qui font état de pertes au niveau de leur revenu réel, par rapport à la situation de référence (après la prise en compte des recettes éventuelles tirées de la vente de permis) reçoivent une compensation pour ce manque à gagner, sous la forme de versements compensatoires effectués par les pays de l'annexe 1<sup>16</sup>.

## L'efficacité des mécanismes de flexibilité déterminera les coûts économiques de la stabilisation

Le GRAPHIQUE 5 illustre la perte de revenu réel moyen sur la période 2010-2050, dans des scénarios d'échanges globaux et non limités de permis à l'échelle mondiale. À titre de comparaison, il présente également la perte correspondante dans le scénario « Kyoto pour toujours »<sup>17</sup>. Les trois options de stabilisation apparaissent nettement plus coûteuses que la prorogation des objectifs de Kyoto au-delà de 2010, ce qui n'est pas surprenant étant donné que ce scénario est loin de tendre vers une stabilisation des concentrations. Les coûts moyens augmentent plus que proportionnellement avec l'ampleur des réductions des émissions, comme on s'y attendrait. La stabilisation des concentrations en deçà de 550 ppmv – option « à risque faible » aurait un coût relativement élevé : en moyenne, entre 0,65 et 0,8 % du revenu réel, chaque année, à l'échelle mondiale<sup>18</sup>.

15. Cela correspond à un élargissement du mécanisme de développement propre, partant de l'hypothèse que la mise en œuvre de projets aboutit au même résultat qu'un système global et sans restrictions d'échange de droits d'émissions.

16. Ces versements sont calculés *a posteriori*. Leurs effets macroéconomiques ne sont donc pas pris en compte. La question traitée ici est la suivante : qu'en serait-il des transferts supplémentaires si les pays non visés à l'annexe 1 réclamaient des versements compensatoires équivalant à leurs pertes économiques dans le cadre d'un système mondial d'échanges ? Cette méthodologie surestime le volume des transferts car elle en néglige les effets multiplicateurs. D'un autre côté, les transferts sont sous-estimés, dans la mesure où ils sont calculés par rapport au scénario de référence. Ils ne tiennent donc pas compte des incitations correspondant aux retombées positives du fait de rester en dehors de la coalition.

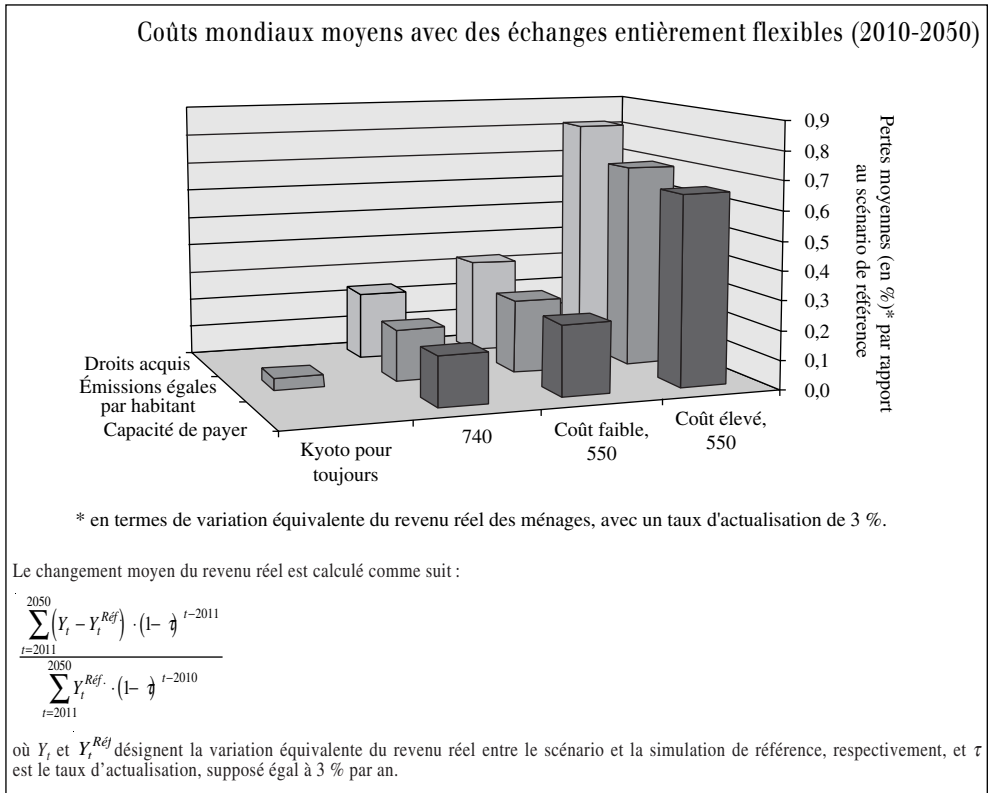
17. Ce scénario part de l'hypothèse que l'objectif fixé à Kyoto pour le total des émissions est réparti sur l'ensemble du monde, et que les pays non visés à l'annexe 1 peuvent vendre des permis aux pays visés à l'annexe 1 à hauteur de leurs niveaux d'émissions dans le scénario de référence.

18. Il faut garder à l'esprit qu'il s'agit ici de variations moyennes du revenu réel calculées sur une période très longue (40 ans). Les pertes non actualisées lors de la dernière année considérée sont donc beaucoup plus substantielles : elles sont en effet supérieures à 2 % par an dans le cas de l'option la plus ambitieuse.



Le GRAPHIQUE 5 indique par ailleurs que, dans le cas d'échanges globaux et non limités de permis, la nature de la règle de partage de la charge n'entre pas en ligne de compte. Les coûts moyens pour l'ensemble du monde sont *grosso modo* les mêmes pour les trois règles considérées, même si, à l'évidence, la répartition de ces coûts entre les pays est très différente.

GRAPHIQUE 5



C'est la comparaison des coûts moyens mondiaux entre un scénario d'absence d'échanges et un scénario d'échanges globaux et non limités qui illustre le mieux l'importance des échanges de droits d'émission (GRAPHIQUE 6). Les réductions des coûts en moyenne pour l'ensemble des pays (dans le cas de la règle d'émissions égales par habitant) atteignent 80 % pour les options les plus modérées<sup>19</sup>, et 60 % pour la réduction la plus ambitieuse. Exception faite du programme de réduction

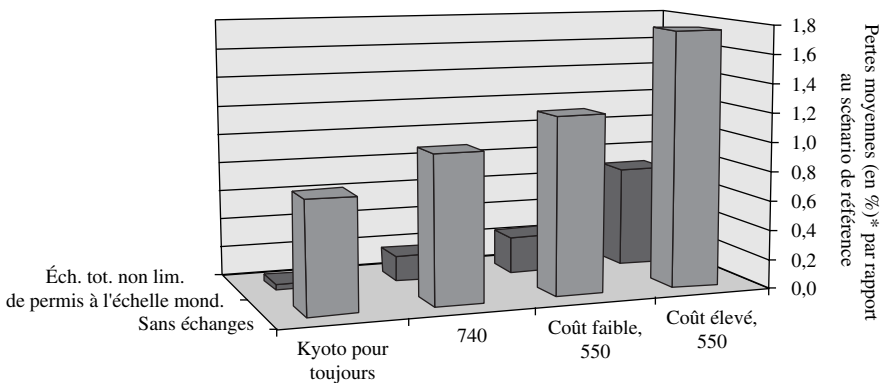
19. L'existence de ce qu'on appelle de « l'air chaud » explique en partie le niveau élevé des économies réalisables dans le cadre du scénario de stabilisation à 740 ppmv et du scénario à risque élevé, avec stabilisation à 550 ppmv. La situation servant de point de départ à l'extension du protocole est également différente. Dans le scénario sans échanges, l'accroissement de la participation des pays non visés à l'annexe 1 commence en 2010 compte tenu de l'hypothèse que les réductions sont réalisées sans échanges de droits d'émission. En revanche, dans le scénario d'échanges globaux et non limités, le protocole est appliqué jusqu'en 2010 en partant de l'hypothèse d'échanges globaux et non limités de droits d'émissions à l'échelle mondiale. Les gains issus des échanges de permis comprennent donc les gains obtenus en échangeant la réduction totale décidée à Kyoto, à l'échelle mondiale (soit dans l'hypothèse d'un mécanisme de développement propre « non limité »).

le plus draconien, les échanges de permis d'émission impliquent une plus grande différenciation des coûts que le niveau des efforts de réduction des émissions.

On peut également considérer le rôle des échanges de permis sous l'angle de l'efficacité pour l'environnement. Ainsi, il ressort du GRAPHIQUE 6 qu'un programme de stabilisation relativement ambitieux, visant à maintenir la concentration de carbone en dessous de 550 ppmv (option « à risque faible »), pourrait coûter autant, ou même moins, grâce aux échanges de permis, que le scénario « Kyoto pour toujours » sans échanges (voir GRAPHIQUE 6), qui, comme indiqué plus haut, n'a quasiment pas d'incidence sur les concentrations de carbone. Les « mécanismes de flexibilité » permettraient donc d'atteindre des objectifs de stabilisation beaucoup plus ambitieux.

GRAPHIQUE 6

Comparaison des coûts mondiaux avec et sans échanges de permis d'émission (2010-2050)



\* en termes de variation équivalente du revenu réel des ménages, avec un taux d'actualisation de 3 %.

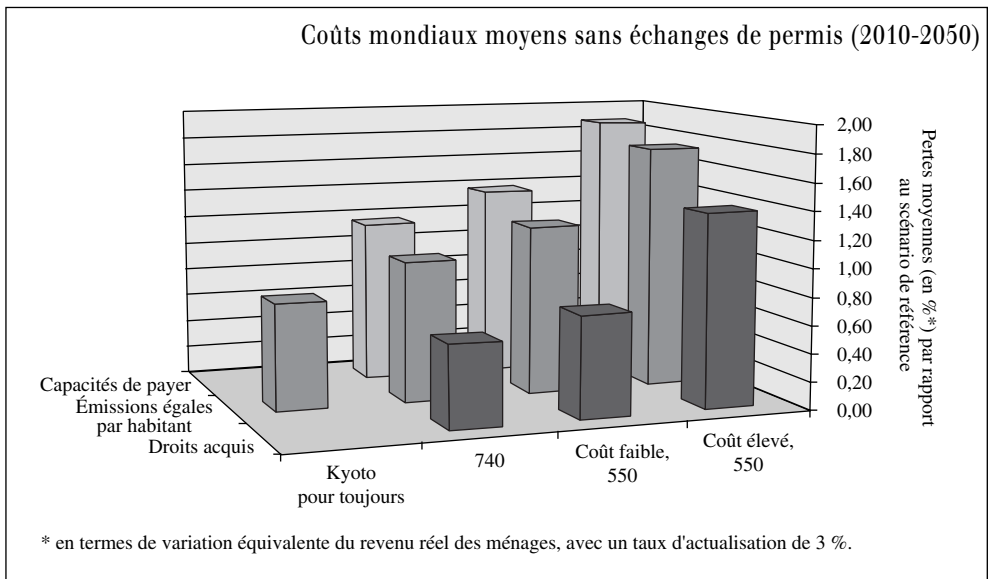
### Le choix de la règle du partage de la charge compte si le recours aux « mécanismes de flexibilité » est contrôlé

Il existe cependant de bonnes raisons de penser que les « mécanismes de flexibilité » ne permettront pas une péréquation complète des coûts marginaux entre les pays, même s'ils sont mis en œuvre avec succès. Ceci justifie que l'on considère l'hypothèse opposée de non-recours aux « mécanismes de flexibilité ». Le GRAPHIQUE 7 présente les coûts moyens mondiaux des différentes règles de partage de la charge en prenant pour hypothèse l'absence d'échanges de permis. Il apparaît que, dans cette hypothèse, le choix de la règle de partage de la charge devient déterminant. Dans les trois options de réduction des émissions, la règle fondée sur la capacité de payer semble la plus coûteuse. Inversement, la réparti-

tion reposant sur le principe des droits acquis apparaît comme l'option la moins coûteuse. La règle prévoyant un objectif d'émissions égales par habitant génère également des coûts élevés, proche de ceux associés à la règle fondée sur la « capacité de payer ».

Par conséquent, lorsqu'on s'écarte de l'hypothèse de l'absence de restrictions ou de rigidités dans les échanges de permis, le choix de la règle de partage de la charge constitue un élément important dans l'estimation du coût de la réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale. Là encore, on peut interpréter ce point en termes d'efficacité environnementale : par exemple, pour un niveau de rigidité donné, une stabilisation à haut risque à 550 ppmv fondée sur les droits acquis déboucherait sur un avantage pour l'environnement nettement plus important que l'option « Kyoto pour toujours », pour un coût économique analogue, voire inférieur (GRAPHIQUE 7).

GRAPHIQUE 7

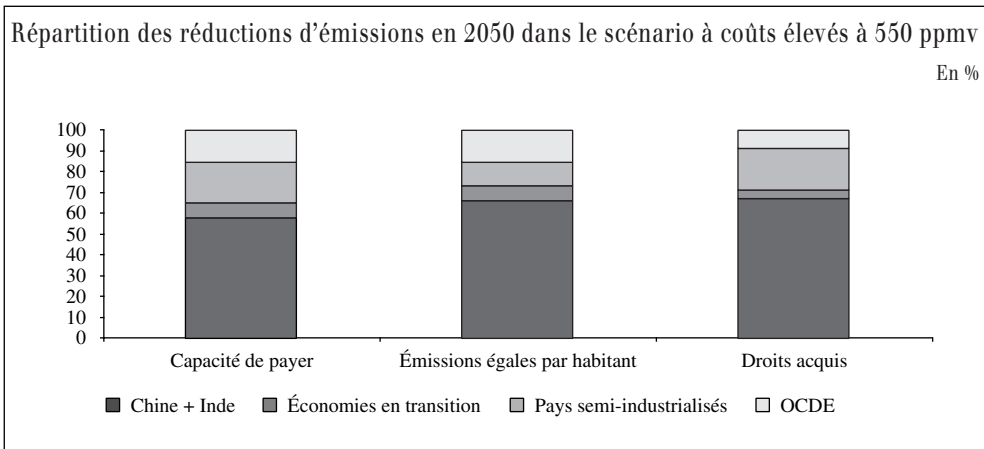


Les différences de coût d'une règle à l'autre peuvent s'expliquer par la répartition des réductions entre les pays où les réductions sont coûteuses et les autres où elles le sont moins. Le GRAPHIQUE 8 montre la ventilation des réductions d'émissions entre trois ensembles régionaux. La règle fondée sur la capacité de payer impose la charge la plus lourde aux pays de l'OCDE et aux pays semi-industrialisés, tandis que ce sont les pays où les coûts marginaux des réductions sont faibles (Chine + Inde<sup>20</sup>) qui contribuent le moins. Il n'est donc guère surpre-

20. Il est moins coûteux de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans les pays grands consommateurs de charbon, comme l'Inde ou la Chine. Le charbon ayant un coefficient d'émission plus élevé, le coût marginal de réduction de ses émissions est moindre. Il en résulte, en règle générale, que les pays qui ont une intensité en carbone plus élevée par unité d'énergie consommée sont aussi ceux où les coûts marginaux de réduction des émissions sont plus faibles. Les pays les plus riches émettant souvent moins de carbone par unité d'énergie consommée ont des coûts marginaux de réduction plus élevés.

nant que ce soit l'option la plus coûteuse en l'absence d'échange de permis d'émission. Inversement, sachant qu'elle suppose des réductions plus importantes dans les pays à faibles coûts et une moindre contribution de la part des pays de l'OCDE, la règle fondée sur les droits acquis apparaît comme l'option la moins coûteuse. La règle prévoyant un objectif d'émissions égales par habitant présente un coût intermédiaire. Elle revient beaucoup plus cher que la règle du principe des droits acquis, car elle impose un plus lourd fardeau aux pays de l'OCDE, mais, par ailleurs, elle est moins coûteuse que celle fondée sur la capacité de payer, étant donné qu'elle suppose de plus fortes réductions en Chine et en Inde.

GRAPHIQUE 8

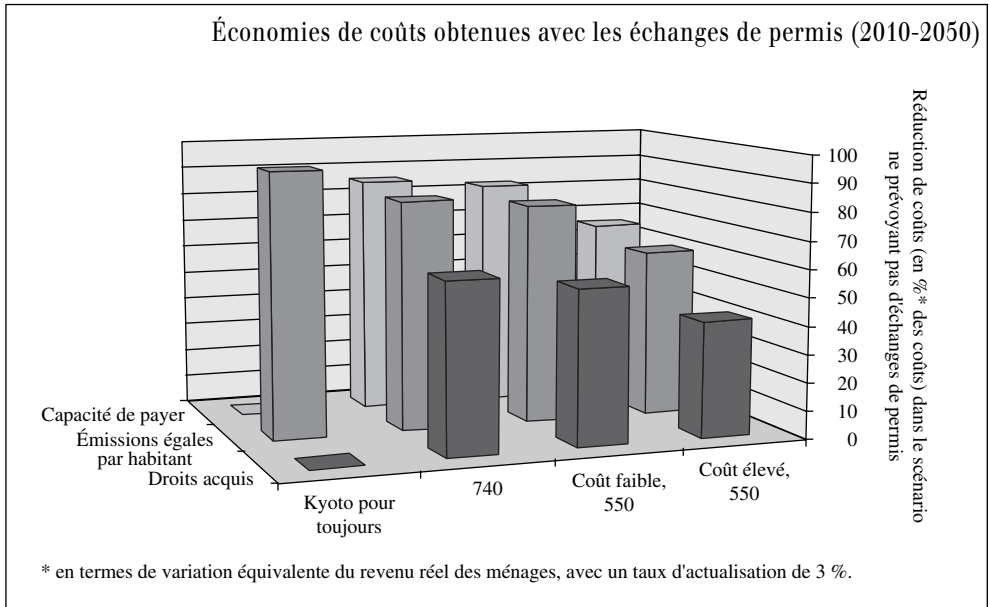


Les résultats ci-dessus impliquent que les économies potentielles découlant des échanges de permis d'émission diffèrent suivant la règle du partage de la charge retenue. Une règle attribuant davantage de permis aux pays à faibles coûts et moins de permis aux pays à coûts élevés, à l'instar du protocole de Kyoto, se traduit par des échanges de permis d'émission plus importants, et présente donc un potentiel de réduction des coûts plus élevé. Inversement, répartir les émissions (ou les droits d'émission) en proportion du coût marginal de réduction devrait minimiser les réductions de coût potentielles résultant des échanges de droits d'émission.

Le GRAPHIQUE 9 présente les pourcentages moyens de réduction des coûts qu'il est possible d'obtenir avec des permis d'émission négociables dans le cadre des différents scénarios. C'est le scénario « Kyoto pour toujours » qui affiche le pourcentage d'économies le plus élevé (environ 90 %), ce qui illustre bien la volonté de maximiser les avantages des mécanismes de flexibilité lors des négociations des objectifs par pays. Le GRAPHIQUE 9 fait également apparaître que le gain obtenu à partir des échanges de droits d'émission baisse à mesure que les réductions correspondantes augmentent. C'est compréhensible si l'on considère que l'existence de technologies alternatives (*backstops*) impose une limite au-delà de laquelle les coûts marginaux ne peuvent croître. Par conséquent, avec des réductions élevées, les coûts des réductions d'émission divergent moins et les gains issus des échanges de permis sont proportionnellement moins importants.

Enfin, le GRAPHIQUE 9 montre sans ambiguïté que la règle de la « capacité de payer » génère les économies de coût les plus importantes *via* les échanges de permis, tandis que l'option fondée sur les droits acquis présente le potentiel de réduction des coûts le plus faible. Ainsi, bien que cette dernière se caractérise par un meilleur rapport coût/efficacité (dans le sens où elle produit les réductions les plus fortes là où elles sont les moins chères), elle aboutit à moins d'échanges de permis.

GRAPHIQUE 9



## Les politiques de réduction des émissions accentueront l'inégalité de revenu entre les pays...

Les conséquences distributives de tout accord mondial pèseront sur la faisabilité politique dudit accord. L'attribution de droits d'émission et les versements compensatoires permettent de contrôler, en principe, ces conséquences. Cependant, même si ces dispositions peuvent rendre un accord acceptable aux yeux de toutes les parties, elles ne garantissent pas pour autant que l'inégalité entre les pays ne s'aggrave pas<sup>21</sup>. La variation d'un indicateur agrégé de l'inégalité dans le monde, fondé sur le revenu moyen par habitant dans chaque pays/région du monde<sup>22</sup>, mesure les conséquences distributives des différents scénarios.

21. Notamment parce que la répartition du produit de la vente des permis risque d'aggraver les inégalités.

22. Le calcul de l'indicateur de l'inégalité considère chaque pays/région du modèle comme une unité représentative unique caractérisée par le niveau de revenu moyen par habitant du pays/de la région. Ainsi, seule l'inégalité entre pays/régions est prise en compte ici. Cet indicateur ne mesure pas les variations de l'inégalité au sein de chaque pays/région dues aux variations du revenu relatif de diverses catégories de population.

Dans les scénarios de stabilisation envisagés ici, deux facteurs influent sur l'inégalité dans le monde. Il s'agit premièrement du choix de la règle de partage de la charge : en principe, les règles basées sur la « capacité de payer » et des « objectifs d'émissions égales par habitant » devraient réduire l'inégalité dans le monde, car elles imposent aux pays riches et semi-industrialisés de contribuer davantage que les pays pauvres aux efforts de réduction des émissions. Deuxièmement, les pertes encourues par les pays exportateurs d'énergie en raison du recul de la demande accentuent l'inégalité<sup>23</sup>, surtout lorsque les émissions ne font pas l'objet de permis négociables. Le TABLEAU 1 présente les variations de l'inégalité pour les différents scénarios, mesurées par un coefficient de Gini<sup>24</sup> mondial. Si l'on part de l'hypothèse que l'on ne recourt pas aux « mécanismes de flexibilité », les mesures de réduction des émissions aggravent l'inégalité de revenu dans le monde, quelle que soit la règle de partage de la charge retenue. Plus les réductions sont importantes, plus l'inégalité se creuse. Compte tenu des pertes indirectes supportées par les pays exportateurs d'énergie, toute réduction substantielle opérée par les pays industrialisés ou semi-industrialisés touchera les pays pauvres proportionnellement plus que les pays riches. En réalité, l'inégalité augmente davantage avec la règle de la « capacité de payer » (+ 0,6 % dans le scénario à 550 ppmv à coût élevé) et la règle des « objectifs d'émissions égales par habitant » (+ 0,5 %) qu'avec la règle des droits acquis (+ 0,3 %). En effet, cette dernière suppose une plus forte réduction de la consommation de charbon produit localement en Chine et en Inde, et nuit donc moins aux économies exportatrices d'énergie.

TABLEAU 1

Variations de l'inégalité au niveau mondial				
Variations moyennes*, en % du coefficient de Gini par rapport au scénario de référence, 2010-2050				
	Scénario « Kyoto pour toujours »	740 ppmv	550 ppmv Faibles coûts	550 ppmv Coûts élevés
<i>Capacité de payer</i>				
Pas d'échanges	- 0,05	0,15	0,27	0,59
Échanges	- 0,01	0,01	0,03	0,16
Échanges + transferts	- 0,02	- 0,02	- 0,02	0,00
<i>Émissions égales par habitant</i>				
Pas d'échanges		0,06	0,18	0,51
Échanges		0,01	0,02	0,17
Échanges + transferts		- 0,01	- 0,01	0,08
<i>Droits acquis</i>				
Pas d'échanges		0,02	0,04	0,29
Échanges		0,03	0,04	0,20
Échanges + transferts		- 0,02	- 0,02	0,05

\* Avec un taux d'actualisation de 3 %.

23. Considérés en tant que groupe, les exportateurs d'énergie se situent à l'extrémité inférieure de l'échelle de la répartition du revenu.

24. Les résultats globaux restent plus ou moins inchangés si l'on utilise d'autres indicateurs d'inégalité.

### **... à moins que les « mécanismes de flexibilité » soient pleinement utilisés et accompagnés de versements compensatoires**

Les échanges de droits d'émission à l'échelle mondiale compensent la majeure partie de l'aggravation de l'inégalité due aux mesures visant à stabiliser les concentrations de CO<sub>2</sub>. Ainsi, avec la règle de la « capacité à payer » et une stabilisation à 550 ppmv à coût élevé, les « mécanismes de flexibilité » contrebalanceraient plus de 70 % de l'augmentation de l'inégalité (TABLEAU 1 : + 0,16 % en présence de permis négociables, au lieu de + 0,59 % sans ces permis). Cependant, l'impact distributif des échanges de permis est nettement plus réduit avec la règle « des droits acquis » (+ 0,2 % au lieu de + 0,3 %, soit une réduction de la hausse de l'inégalité de 30 % seulement). Dans tous les scénarios, les versements qui s'ajoutent aux échanges d'émission ramènent l'inégalité mondiale presque au niveau de référence. Ainsi, lorsqu'on les associe, les « mécanismes de flexibilité » et les versements compensatoires pourraient contrebalancer l'aggravation de l'inégalité mondiale due à la réduction des émissions.

### **Il y a un arbitrage entre les transferts monétaires fondés sur le marché des permis et les transferts forfaitaires pour parvenir à l'équité**

Les négociations actuelles envisagent l'éventualité qu'il faille indemniser certains pays, et notamment ceux qui exportent de l'énergie, pour leurs pertes économiques si l'on veut qu'ils participent à une coalition mondiale. Le GRAPHIQUE 10 illustre cet aspect en indiquant le montant total des flux financiers annuels que supposent les différentes règles de partage de la charge dans les différents scénarios. Elle prend en compte deux types de flux : *i*) les flux monétaires associés à la vente des permis ; et, *ii*) les « versements compensatoires » s'ajoutant aux ventes de permis pour indemniser les pays qui seraient perdants par rapport à la situation de référence<sup>25</sup>.

Les trois options de stabilisation suscitent des flux financiers plutôt importants, qui vont d'environ 40 milliards de dollars de 1995 par an avec l'option de stabilisation à « 740 ppmv » à plus de 150 milliards de dollars de 1995 avec le scénario à 550 ppmv à faible risque. En outre, l'ampleur de ces flux dépend davantage de celle des réductions des émissions que de la nature de la règle de partage de la charge. C'est de toute évidence le prix du permis qui constitue le principal facteur déterminant, plutôt que son potentiel d'échange. Ainsi, les plans de réduction plus ambitieux généreront des flux financiers plus importants, conformément à la hausse plus que proportionnelle du prix du permis et bien que le potentiel commercial soit moindre (GRAPHIQUE 9). Il apparaît également que la règle de la « capacité de payer » produit des flux financiers plus importants entre pays/région, surtout pour les niveaux de réduction élevés.

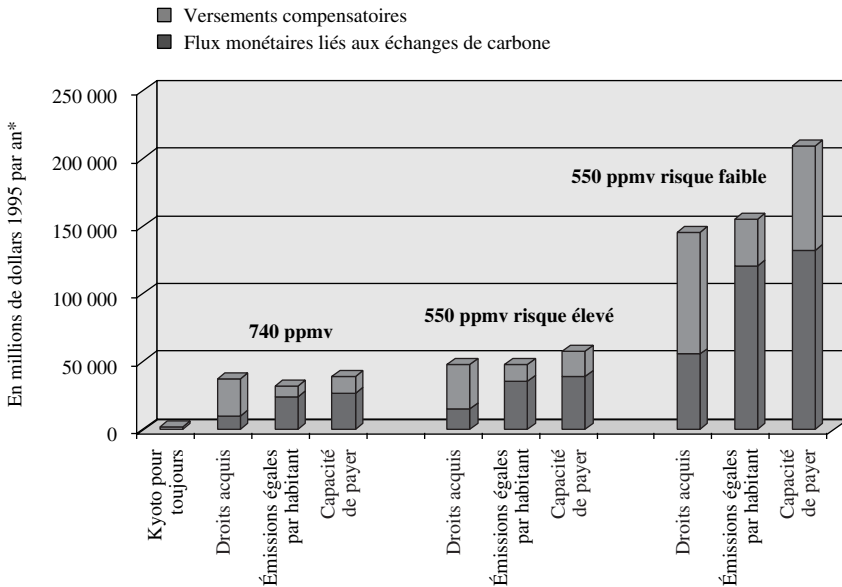
Ces résultats mettent en évidence l'arbitrage entre les flux monétaires liés aux ventes de permis et les versements compensatoires. Les règles qui génèrent le plus d'échanges de permis d'émission, comme la règle de la « capacité de payer »

25. Voir note 11.

et celle des « émissions égales par habitant », nécessitent moins de versements compensatoires. Inversement, les règles présentant un meilleur rapport coût/efficacité, par exemple celle des « droits acquis », qui génèrent moins d'échanges de permis, nécessitent davantage de versements compensatoires (GRAPHIQUE 10). Une stratégie visant à maintenir la concentration en deçà de 550 ppmv (comme dans le scénario à 550 ppmv à faible risque) imposerait des versements annuels compris entre 34 et 90 milliards de dollars de 1995 en moyenne pour indemniser les pays non visés à l'annexe 1. Des versements d'une telle ampleur représentent l'équivalent des emprunts extérieurs nets annuels des pays en développement pendant les années quatre-vingt-dix.

GRAPHIQUE 10

Total des flux financiers selon les différentes règles de partage de la charge  
(moyenne sur 2010-2050)



\* flux moyens actualisés avec un taux d'actualisation de 3 %.

**La stabilisation des concentrations à moins de 550 ppmv risque déjà d'être hors de portée si la participation des pays en développement nécessite une indemnisation financière**

Le TABLEAU 2 présente les coûts économiques pour les pays de l'annexe 1 dans l'hypothèse où ils effectuent des versements compensatoires en vue d'indemniser les pays non visés à l'annexe pour toute perte de revenu réel



provoquée par la participation aux réductions d'émissions. Dans le scénario qui maintient les concentrations en deçà du plafond à faible risque de 550 ppmv, les pays de l'annexe 1 pourraient subir un préjudice moyen représentant jusqu'à près de 2 % de leur revenu réel. Ce résultat est nettement supérieur à la plupart des estimations des pertes annuelles de revenu encourues par les pays de l'annexe 1 en raison des dégâts provoqués par un niveau de réchauffement climatique correspondant au doublement des concentrations des gaz à effet de serre par rapport aux niveaux pré-industriels.

TABLEAU 2

Coûts des différentes règles de partage de la charge pour les pays de l'annexe 1			
	Écart moyen*, en %, par rapport à la situation de référence, 2010-2050		
	740 ppmv	550 ppmv Faibles coûts	550 ppmv Coûts élevés
<i>Droits acquis</i>			
Pas d'échanges	- 0,56	- 0,70	- 1,04
Échanges globaux	- 0,21	- 0,31	- 0,76
Échanges globaux + transferts	- 0,46	- 0,60	- 1,42
<i>Émissions égales par habitant</i>			
Pas d'échanges	- 1,15	- 1,22	- 1,46
Échanges globaux	- 0,35	- 0,51	- 1,34
Échanges globaux + transferts	- 0,46	- 0,65	- 1,63
<i>Capacité de payer</i>			
Pas d'échanges	- 1,17	- 1,25	- 1,49
Échanges globaux	- 0,35	- 0,51	- 1,36
Échanges globaux + transferts	- 0,48	- 0,69	- 1,91

\* En termes de variation équivalente du revenu réel des ménages, avec un taux d'actualisation de 3 %.

Pour les réductions modérées, la règle des « droits acquis » ne revient pas significativement moins cher pour les pays de l'annexe 1 que les deux autres, alors qu'on pourrait s'attendre à ce qu'elle leur soit favorable. En effet, son avantage est contrebalancé par les versements compensatoires éventuellement prévus dans l'accord. Pour les réductions plus massives, la règle des « droits acquis » devient toutefois incontestablement l'option la moins chère.

Le TABLEAU 3 présente les chiffres correspondants pour les pays non visés à l'annexe 1. Ces chiffres indiquent un résultat pour le moins paradoxal : ces pays ont plus à perdre avec les règles des « d'objectifs d'émissions égales par habitant » et de la « capacité de payer » qu'avec celle des « droits acquis », qui est en principe plus exigeante pour les pays non visés à l'annexe 1. Cela reflète l'hétérogénéité de ces pays : la règle des « droits acquis » transfère notamment le fardeau de la réduction des émissions aux pays en développement à faibles coûts (Chine et Inde), tandis que les deux autres règles exigent plus d'efforts de la part des pays semi-industrialisés consommateurs de pétrole (qui ont des coûts de réductions marginaux plus élevés).

TABLEAU 3

## Coûts des différentes règles de partage de la charge pour les pays non visés à l'annexe 1

Écart moyen\*, en %, par rapport à la situation de référence sur 2010-2050

	740 ppmv	550 ppmv Faibles coûts	550 ppmv Coûts élevés
<i>Droits acquis</i>			
Pas d'échanges	0,65	0,78	2,13
Échanges globaux	0,28	0,35	0,92
Échanges globaux + transferts	0,26	0,27	0,48
<i>Émissions égales par habitant</i>			
Pas d'échanges	0,72	1,20	2,39
Échanges globaux	0,18	0,29	0,67
Échanges globaux + transferts	0,42	0,59	1,28
<i>Capacité de payer</i>			
Pas d'échanges	1,16	1,65	2,78
Échanges globaux	0,21	0,33	0,84
Échanges globaux + transferts	0,50	0,70	2,01

\* En termes de variation équivalente du revenu réel des ménages, avec un taux d'actualisation de 3 %.

## Conclusion

La structure actuelle du protocole de Kyoto comporte une règle implicite de participation fondée sur le niveau des émissions par habitant ou une forme de critère reposant sur la « capacité de payer ». Ce protocole comprend également un certain nombre de restrictions explicites et implicites concernant l'utilisation des « mécanismes de flexibilité » visant à redistribuer les engagements initiaux par pays de manière efficace par rapport aux coûts. L'analyse montre qu'élargir le protocole de Kyoto aux pays non visés à l'annexe 1 *tout en préservant sa structure* actuelle risque de s'avérer une stratégie relativement coûteuse. En effet, les simulations indiquent que, sans permis négociables ou avec des échanges de permis limités, les deux règles de partage de la charge auxquelles semblent obéir les négociations actuelles sur le changement climatique sont nettement plus coûteuses que la règle des « droits acquis ».

Le corollaire, c'est que l'élargissement du protocole aux pays non visés à l'annexe 1 nécessite impérativement de supprimer toutes les restrictions sur l'utilisation des « mécanismes de flexibilité ». Cependant, même si toutes les restrictions devaient être levées, des coûts de transaction considérables demeureront, surtout en ce qui concerne l'utilisation du mécanisme de développement propre. Dans ce sens, une règle insistant davantage sur la répartition des droits d'émission en fonction de la règle des « droits acquis » pourrait se révéler moins coûteuse que celle qui sous-tend l'actuelle version du protocole.

Cependant, l'analyse montre également qu'aucune règle de partage de la charge n'est parfaite. En effet, la règle des « droits acquis » semble moins coûteuse, mais difficilement acceptable par les pays en développement, à moins de s'accompagner de versements compensatoires substantiels. Aucun pays ne trouve-

rait politiquement acceptable de transférer unilatéralement des parts considérables de sa richesse nationale à l'étranger. Par ailleurs, du point de vue économique, on pourrait avancer que les transferts fondés sur la loi du marché sont préférables aux versements compensatoires.

#### ANNEXE I

##### MISE EN PLACE D'UN ACCORD MONDIAL : LA THÉORIE

La théorie des jeux identifie les conditions nécessaires pour assurer la stabilité d'une coalition de pays prenant des mesures de protection de l'environnement de la planète : premièrement, chacun des participants doit être gagnant par rapport à la situation initiale, dans laquelle personne ne coopère. Deuxièmement, personne ne doit être incité à quitter ou à rejoindre cette coalition. Lorsque ces deux conditions sont réunies, on dit que la coalition est « spontanée ».

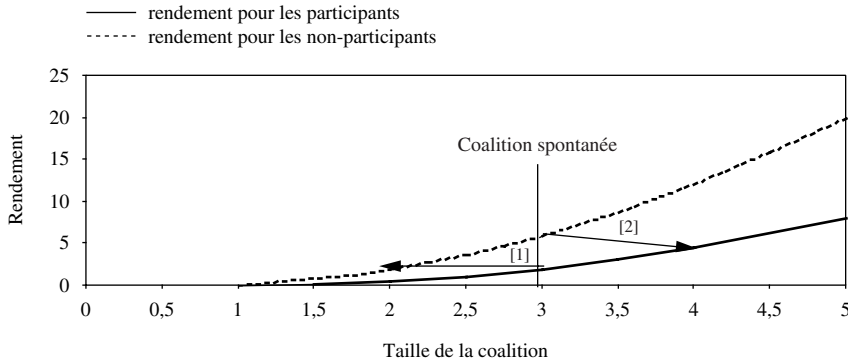
Il est possible d'illustrer le problème inhérent à la constitution d'une coalition spontanée en comparant les avantages nets pour les pays participants et non participants, en prenant l'hypothèse que tous les pays sont symétriques (c'est-à-dire que leurs coûts marginaux de réduction de la pollution, les dégâts causés par cette pollution et leurs préférences environnementales sont identiques). Les pays qui ne font pas partie de la coalition profitent des avantages environnementaux et économiques procurés par l'action des pays membres, sans supporter les coûts de réduction des émissions (*free riding*). C'est ce qu'illustre le GRAPHIQUE A, qui montre que les avantages pour les non participants (c'est-à-dire l'augmentation nette de leur bien-être) sont toujours supérieurs à ceux des pays membres de la coalition, quelle que soit la taille de cette dernière. Ces avantages augmentent de manière monotone avec la taille de la coalition, car les bénéfices environnementaux progressent avec le nombre de participants. Ce graphique indique également qu'il peut y avoir un équilibre auquel aucun pays n'est incité à devenir membre de la coalition (car il rapporte davantage de rester en dehors que de devenir membre d'une coalition élargie) et auquel aucun pays n'est incité à quitter la coalition (car il est plus intéressant de rester au sein du groupe que de se situer à l'extérieur d'une coalition réduite<sup>26</sup>). C'est cet équilibre qui détermine la taille de la coalition spontanée. On a démontré que la taille d'équilibre est généralement réduite (Hoel, 1991 ; Barrett, 1992, 1994, 1997 ; Carraro & Siniscalco, 1992). Botteon et Carraro (1998) montrent que ce constat se vérifie même lorsque l'on tient compte de certaines asymétries entre les pays.

Dans le contexte du changement climatique, l'ampleur des « fuites de carbone » influe considérablement sur la détermination de la taille de la coalition spontanée. Des « fuites de carbone » importantes réduisent les avantages environnementaux mondiaux, si bien que les pays de la coalition paieront le coût de la réduction des émissions sans en retirer le bénéfice correspondant, ce qui diminue l'incitation à former une coalition (en cas de fuites importantes, les avantages de la coalition risquent de ne plus augmenter de manière monotone, comme l'indique le GRAPHIQUE B). Dans le même temps, les pays non participants bénéficient des avantages économiques plus élevés associés aux « fuites de carbone » (prix de l'énergie plus bas, amélioration de la compétitivité des secteurs à forte intensité énergétique). Dans ces conditions, la taille de la coalition spontanée est réduite.

26. Et en supposant que cette décision de sortir de la coalition n'influence pas le comportement des autres participants.

## GRAPHIQUE A

### Courbes de rendement pour différentes tailles de coalition Sans fuite de carbone

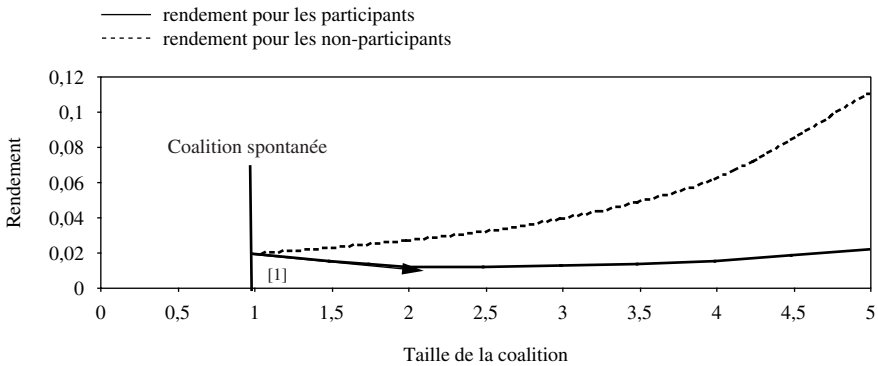


[1] stabilité interne : aucun participant n'est incité à quitter la coalition.

[2] stabilité externe : aucun pays non-participant n'est incité à entrer dans la coalition.

## GRAPHIQUE B

### Courbes de rendement pour différentes tailles de coalition Avec fuite de carbone



[1] personne n'est incité à former une coalition. La coalition d'équilibre est un singleton.

Source : D'après Carraro & Moriconi (1998).

Il risque même de ne pas y avoir d'intérêt à créer une telle coalition (voir, par exemple, Carraro & Moriconi, 1998). Là encore, cette conclusion peut rester valide lorsque les pays ne sont pas identiques<sup>27</sup> (Botteon & Carraro, 1998).

27. Botteon et Carraro (1998) montrent également qu'avec des pays asymétriques, les fuites réduisent la taille de la coalition lorsque la coalition de départ est réduite, mais l'augmentent lorsque la coalition de départ est étendue.

Les actions de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre peuvent procurer d'importants bénéfices annexes au niveau local, bénéfices qui, s'ils étaient pris en compte dans le choix économique de rejoindre la coalition, réduiraient l'incitation à rester en dehors de la coalition et donc auraient tendance à augmenter la taille de la coalition spontanée. Dans la pratique, on ne sait pas si ce sont les effets des fuites ou les effets des bénéfices annexes à l'échelle locale qui domineront.

La taille d'une coalition environnementale peut être élargie de plusieurs manières. Premièrement, un mécanisme de transferts peut être conçu afin qu'aucun pays ne refuse d'adhérer. Cependant, pour parvenir à un tel résultat, il faut qu'un noyau de pays soit contraint à coopérer (Carraro & Siniscalco, 1993 ; Hoel, 1994 ; Carraro, 1998a). Dans ce cas, l'accord qui en résulte n'est plus spontané. Un autre moyen passe par la création d'interdépendances entre les problèmes (*issue linkages*) : on a, par exemple, suggéré de lier les négociations environnementales aux négociations sur la libéralisation des échanges (Barrett, 1995) ou la coopération dans la R&D (Carraro & Siniscalco, 1995 ; Katsoulacos, 1997). Mais Carraro (1998a) montre qu'en produisant une incitation à exclure certains pays de l'accord, ces interdépendances ne parviendront pas nécessairement à l'objectif environnemental, tout en aboutissant à une solution peu satisfaisante en ce qui concerne le problème dépendant.

Enfin, la taille et la stabilité de la coalition peuvent être influencées par les règles de négociation et le comportement des participants. Par exemple, la taille d'équilibre serait plus importante si les pays prédisent correctement les conséquences de leur décision de quitter la coalition (Carraro & Moriconi, 1998). Si l'on autorise plus d'un accord, l'équilibre se caractérise par plusieurs coalitions, ce qui implique que les pays réduisant leurs émissions seront plus nombreux, sans pour autant que la réduction des émissions soit plus importante (Carraro, 1998a et 1998b). La taille de la coalition variera aussi avec les règles d'adhésion. Par exemple, la coalition d'équilibre sera plus étendue si l'adhésion est soumise à un vote à l'unanimité (c'est-à-dire qu'aucun pays ne peut y entrer ou en sortir sans le consentement unanime de tous les membres ; Carraro & Moriconi, 1998). Là encore, la formation d'une grande coalition, regroupant tous les pays, demandera une forme ou une autre d'obligation.

Dans la mesure où le protocole de Kyoto correspond à la petite coalition spontanée prévue par les modèles théoriques, l'élargissement du protocole pourrait nécessiter des dispositions supplémentaires, couvrant par exemple les transferts compensatoires et une forme d'obligation. Le processus actuel implique une renégociation complète de l'accord à la fin de chaque période budgétaire, pour tenir compte des nouveaux membres et des nouveaux objectifs de réduction des émissions, ce qui, du point de vue de la théorie des jeux, peut supposer une obligation insuffisante à élargir la coalition existante.

J.-M. B.

#### RÉFÉRENCES

- Barret S. (1992), *Conventions on Climate Change : Economic Aspects of Negotiations*, OCDE, Paris.
- \_\_\_\_\_ (1994), « Self-Enforcing International Environmental Agreements », *Oxford Economic Papers*, n° 46, pp. 878-894.
- \_\_\_\_\_ (1995), *Trade Restrictions in International Environmental Agreements*, London Business School.
- \_\_\_\_\_ (1997), « Heterogeneous International Environmental Agreements », dans *Environmental Coalitions with Heterogeneous Countries : Burden-Sharing and Carbon Leakages*, sous la direction de C. Carraro, M. Botteon & C. Carraro, *Nota di Lavoro* 24.98, mars 1998.

- Burniaux J.-M., G. Nicoletti & J. Oliveira-Martins (1992a), « GREEN: A Global Model for Quantifying the Costs of Policies to Curb CO<sub>2</sub> Emissions », dans OCDE (1992).
- \_\_\_\_\_ (1992b), *GREEN: A Multi-Sector Multi-Region Dynamic General Equilibrium Model for Quantifying the Costs of Curbing CO<sub>2</sub> Emissions: A Technical Manual*, Economics Department Working Papers, n° 116, OCDE, Paris.
- Cao M. & F.I. Woodward (1998), « Dynamic Responses of Terrestrial Ecosystem Carbon Cycling to Global Climate Change », *Nature*, 21 mai, vol. 393, pp. 249-252.
- Carraro C. (1998a), « The Structure of International Environmental Agreements », *Nota Di Lavoro* 12.98, janvier.
- \_\_\_\_\_ (1998b), « Beyond Kyoto : A Game Theoretic Perspective », dans *Economic Modelling of Climate Change*, OECD Workshop Report, 17-18 septembre, OCDE.
- Carraro C. & D. Siniscalco (1992), « Transfers and Commitments in International Environmental Negotiations », à paraître dans *International Environmental Problems: an Economic Perspective*, sous la direction de KG. Mäler, Kluwer Academic Publishers : Dordrecht.
- \_\_\_\_\_ (1993), « Strategies for the International Protection of the Environment », *Journal of Public Economics*, n° 52, pp. 309-328.
- \_\_\_\_\_ (1995), « Policy Coordination for Sustainability: Commitments, Transfers and Linked Negotiations », dans *The Economics of Sustainable Development*, sous la direction de I. Goldin & A. Winters, Cambridge University Press, Cambridge.
- Carraro C. & F. Moriconi (1998), *Endogenous Formation of Environmental Coalitions*, draft, janvier.
- Enting I.G., T.M.L. Wigley & M. Heimann (1994), *Future Emissions and Concentrations of Carbon Dioxide: Key Ocean/Atmosphere/Land Analysis*, CSIRO Division of Atmospheric Research Technical Paper, CSIRO, Australie.
- Ha-Duong M., M.-J. Grubb & J.-C. Hourcade (1997), « Influence of Socioeconomic Inertia and Uncertainty on Optimal CO<sub>2</sub> Emission Abatement », *Nature*, vol. 390, pp. 270-273.
- Hertel T.W. (1997), *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*, Cambridge University Press.
- Hoel M. (1991), « Global Environmental Problems: the Effects of Unilateral Actions Taken by One Country », *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 20, n° 1, pp. 55-70.
- Jacoby H.D., R. Schmalensee & I. Sue Wing (1999), *Towards a Useful Architecture for Climate Change Negotiations*, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report n° 49, mai.
- Jain A.K., H.S. Khesghi, M.I. Hoffert & D.J. Wuebbles (1995), « Distribution of Radiocarbon as a Test of Global Carbon Cycle Models », *Global Biogeochem. Cycles*, n° 9, pp. 153-166.
- Katsoulacos Y. (1997), « R&D Spillovers, R&D Cooperation, Innovation and International Environmental Agreements », dans *International Environmental Agreements: Strategic Policy Issues*, sous la direction de C. Carraro, E. Elgar, Cheltenham.
- Lee H., J. Oliveira-Martins & D. van der Mensbrugghe (1994), *The OECD GREEN Model: an Updated Overview*, OECD Development Centre Technical Paper, n° 97, août, OCDE, Paris.
- OCDE (1999), *Taking Action against Climate Change: The Kyoto Protocol*, internal document ECO/CPE/WP1(99)6.
- Schmalensee R. (1996), *Greenhouse Policy: Architectures and Institutions*, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report n° 13, novembre, MIT.
- Siegenthaler U. & F. Joos (1992), « Use of a Simple Model for Studying Oceanic Tracer Distributions and the Global Carbon Cycle », *Tellus*, n° 44, pp. 186-207.
- Wigley T.M.L. (1993), « Balancing the Global Carbon Budget. Implications for Projections of Future Carbon Dioxide Concentration Changes », *Tellus*, vol. 45, pp. 45-48.
- \_\_\_\_\_ (1997), « Implications of Recent CO<sub>2</sub> Emission-Limitation Proposals for Stabilization of Atmospheric Concentrations », *Nature*, 20 novembre, vol. 390.