



---

*Institut d'Économie et  
de Politique de l'Énergie*

---

## **AU-DELA DE KYOTO : ENJEUX D'ÉQUITÉ ET D'EFFICACITÉ DANS LA NÉGOCIATION SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE**

O. Blanchard, P. Criqui, Laurent Viguié, IEPE Grenoble  
M. Trommetter, INRA-SERD Grenoble,

avec la contribution de N. Kouvaritakis pour l'élaboration du scénario 2030

(extrait d'un article à paraître dans *Économie et Prévision*)

IEPE : BP 47, 38040 Grenoble Cedex 09, Tel : 04 76 51 42 40 ; Fax : 04 76 51 45 27,  
e mail : [iepe@upmf-grenoble.fr](mailto:iepe@upmf-grenoble.fr)



## Introduction

Les risques associés au changement climatique global pèsent sur l'ensemble de la communauté internationale. Mais dans le processus de discussion pour la maîtrise collective des émissions de gaz à effet de serre, et en particulier de CO<sub>2</sub> énergétique, tous les pays n'ont pas les mêmes intérêts, ne jouent pas le même rôle et ne proposent pas les mêmes objectifs.

La première difficulté à surmonter dans la négociation internationale a été et demeure celle de la répartition des efforts ou du « *burden sharing* », qui renvoie évidemment à la question de l'équité dans la détermination des objectifs. Ce fut, au moment de Kyoto, la question de la différenciation - ou non-différenciation - des objectifs quantitatifs des pays industrialisés (dits de l'Annexe B), ce sera demain celle des règles à retenir pour l'identification de ceux des pays en développement. L'acceptabilité des objectifs est en effet une condition préliminaire de l'implication réelle des Etats dans le processus de discussion, comme dans les actions concrètes à entreprendre pour réduire les émissions.

Une base d'accord, concernant les pays industrialisés, s'est dessinée lors de la troisième « Conférence des Parties » à Kyoto, fin 1997. Mais une fois ces objectifs acceptés, se pose toujours aujourd'hui la question de la régulation des dispositifs de flexibilité. Etant donné la nature globale des impacts, il est en effet possible pour un pays d'obtenir les mêmes effets globaux, avec des coûts moindres, en profitant des potentiels de réduction à coût plus faible dans un autre pays. Les pays de l'Annexe B discutent et négocient actuellement les conditions de mise en œuvre de ces dispositifs de flexibilité, sujet qui sera notamment au cœur de la sixième « Conférence des Parties » à La Haye.

Cependant les questions d'équité et d'efficacité deviennent encore plus aiguës lorsque, dans une perspective « post-Kyoto » et en avançant à peine le calendrier des négociations internationales, on s'interroge sur les conditions de l'association des pays en développement à l'effort de réduction des émissions mondiales, sur la base d'objectifs quantitatifs (ou QELROs<sup>1</sup>),

Ce papier partie propose la quantification d'un scénario d'attribution des droits d'émission à 2030 pour tous les pays du monde. Elle montre qu'à partir d'un programme de réduction conduisant à une stabilisation progressive des émissions après 2030, l'instauration d'un marché de permis d'émission permettrait de se rapprocher du programme efficace et donc de diminuer considérablement le coût total de l'action. Enfin le scénario proposé est examiné à la lumière d'un ensemble de critères visant à le qualifier du point de vue de l'équité internationale et donc à apprécier les conditions de son acceptabilité.

### 1. Un scénario pragmatique pour un processus de stabilisation des émissions à 2030

Certains des principes d'équité envisagés pour la différenciation des objectifs de réduction ont pour avantage de ne nécessiter ni l'identification d'une projection de référence, ni une évaluation des coûts de réduction. C'est le cas notamment des objectifs déterminés en termes d'émissions par tête ou en taux de réduction par rapport à une année de base. Cette dernière solution a pu être jugée acceptable par les pays de l'Annexe I dans le processus de Kyoto, avant tout parce qu'elle s'appliquait soit à des pays industrialisés dans lesquels les émissions ne devraient connaître qu'une augmentation modérée, soit aux pays en transition, dans

---

<sup>1</sup> Quantitative Emission Limitation and Reduction Objectives

lesquels les émissions ont même beaucoup décliné au cours des dernières années. L'adoption par les pays industrialisés d'objectifs clairs et contraignants a constitué alors une avancée majeure dans le processus de la négociation internationale.

Ce principe n'a pu être étendu aux pays en développement, tout d'abord car ceux-ci refusent encore de s'engager sur des objectifs d'émissions contraignants. Il est d'autre part évident que la règle d'un plafond d'émissions construit en référence à une année passée ne peut leur être appliquée : dans la plupart de ces pays en effet, les tendances en cours de la démographie et de l'économie devraient entraîner une multiplication des émissions par un facteur deux ou trois entre 1990 et 2010.

La conférence de Kyoto a donc débouché sur une première attribution des droits ou contraintes d'émission de CO<sub>2</sub> au plan mondial. Le principal défi est aujourd'hui de concevoir des scénarios « post-Kyoto » permettant d'analyser les conditions d'insertion des pays en développement dans un dispositif d'objectifs de réduction des émissions – par rapport à la référence – pour l'au-delà de 2010.

Nous tenterons tout d'abord de construire un tel scénario, dans le cadre d'une approche pragmatique, tenant compte des contraintes imposées par le système climatique et des dynamiques économiques et énergétiques régionales. Il convient aussi de souligner que la démarche de construction du scénario s'inspirera fortement du processus suivi à Kyoto – différenciation par groupe de pays, variables considérées, mode de formulation des objectifs – pour tenter de l'adapter à la situation des pays en développement.

Dans un deuxième temps, nous fournirons les enseignements préliminaires de l'analyse quantitative de ce scénario en termes de coûts marginaux de réduction nationaux, puis de « valeur internationale du carbone » dans un système de marchés de droits d'émission. Nous montrerons en particulier que l'instauration d'un marché de permis d'émissions permet ex post de rétablir l'efficacité qui n'existe pas a priori dans la répartition initiale des droits. Enfin, nous évaluerons le scénario proposé en termes d'équité et envisagerons ses conditions d'acceptabilité par les différentes Parties à la négociation.

Le scénario présenté est un scénario préliminaire, qui devra être encore affiné par la suite. Il a le mérite d'envisager, de façon pragmatique, l'intégration des pays en développement dans le processus de réduction des émissions au-delà de 2010. En effet, il considère en premier lieu les contraintes visant à limiter le changement climatique, tout en prenant en compte les contraintes économiques, énergétiques et démographiques des pays en développement.

#### **• *Les contraintes climatiques***

Certes, les incertitudes sur le changement climatique lié à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère restent nombreuses. Cependant, les Parties signataires de la Convention-Cadre sur le changement climatique ont adopté dans ce domaine le Principe de Précaution, en se fixant pour objectif ultime 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 » (article 2 de la Convention : UNFCCC, 1992).

De son côté, le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) a construit diverses trajectoires possibles d'évolution des émissions de CO<sub>2</sub>, à partir de 1990,

pour parvenir à une stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère à un niveau préalablement fixé. Quel que soit le niveau de concentration retenu (350, 450, 550, 750 ou 1000 ppmv<sup>2</sup>) et compte tenu du temps de résidence du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, les trajectoires d'émissions suivent une phase de croissance, se stabilisent puis s'infléchissent plus ou moins fortement et plus ou moins rapidement (IPCC, 1996).

Les scénarios de stabilisation de la concentration à 550 ppmv sont fréquemment pris comme référence dans les études relatives aux réductions des émissions<sup>3</sup>, car ce sont des scénarios qui tiennent compte du principe de précaution et proposent des trajectoires d'émissions qui sont a priori réalistes. Le scénario d'attribution des droits d'émissions à 2030 que nous présentons ici est construit à partir de cette hypothèse de stabilisation de la concentration de CO<sub>2</sub> à hauteur de 550 ppmv.

Pour atteindre la stabilisation à 550 ppmv à l'horizon 2150, le GIEC met en évidence une trajectoire qui serait à son maximum de 12 GtC autour de 2030 et qui serait décroissante ensuite. Si l'on soustrait environ 2 GtC émises par l'agriculture, le système énergétique devrait émettre au plus 10 GtC en 2030. Notre scénario repose donc principalement sur cette contrainte de stabilisation des émissions globales du système énergétique à hauteur de 10 GtC peu après 2030. D'où sa définition en termes de stabilisation mondiale des émissions de CO<sub>2</sub> à 10 GtC en 2030.

Ensuite, nous avons reconduit la différenciation primaire introduite dans le Protocole de Kyoto, entre pays industrialisés et pays en développement, ceci afin de tenir compte de dynamiques énergétiques et économiques extrêmement différenciées :

- pour les pays de l'Annexe B, le taux de réduction des émissions entre 2010 et 2030 est le même que celui pour lequel les pays se sont engagés entre 1990 et 2010 dans le Protocole de Kyoto ; par exemple, l'objectif de réduction pour les Etats-Unis en 2030 est de 7 % par rapport à 2010 et leurs émissions en 2030 ne devront donc pas dépasser 0,93\*0,93 fois leur niveau d'émissions de 1990 ; dans cette hypothèse « Kyoto puissance deux » la différenciation secondaire introduite dans le Protocole de Kyoto est donc renouvelée à l'identique ;
- pour les pays non-Annexe B, la contrainte de stabilisation des émissions globales autour de 2030 impose que, à cette date, l'augmentation de leurs émissions soit au plus égale à la diminution des émissions des pays de l'Annexe B. Par ailleurs, comme les émissions mondiales devront à terme diminuer pour parvenir à une stabilisation de la concentration, les émissions des pays non-Annexe B devront à plus long terme se stabiliser puis diminuer.

#### • *La prise en compte des contraintes des pays en développement*

Pour les pays non-Annexe B, la démarche proposée consiste non pas à statuer a priori sur un niveau de stabilisation (absolu ou par tête) mais à fixer :

- un point de départ pour la détermination de leurs droits, c'est la situation de référence en 2010 ;

<sup>2</sup> Ppmv : particules par million de volume

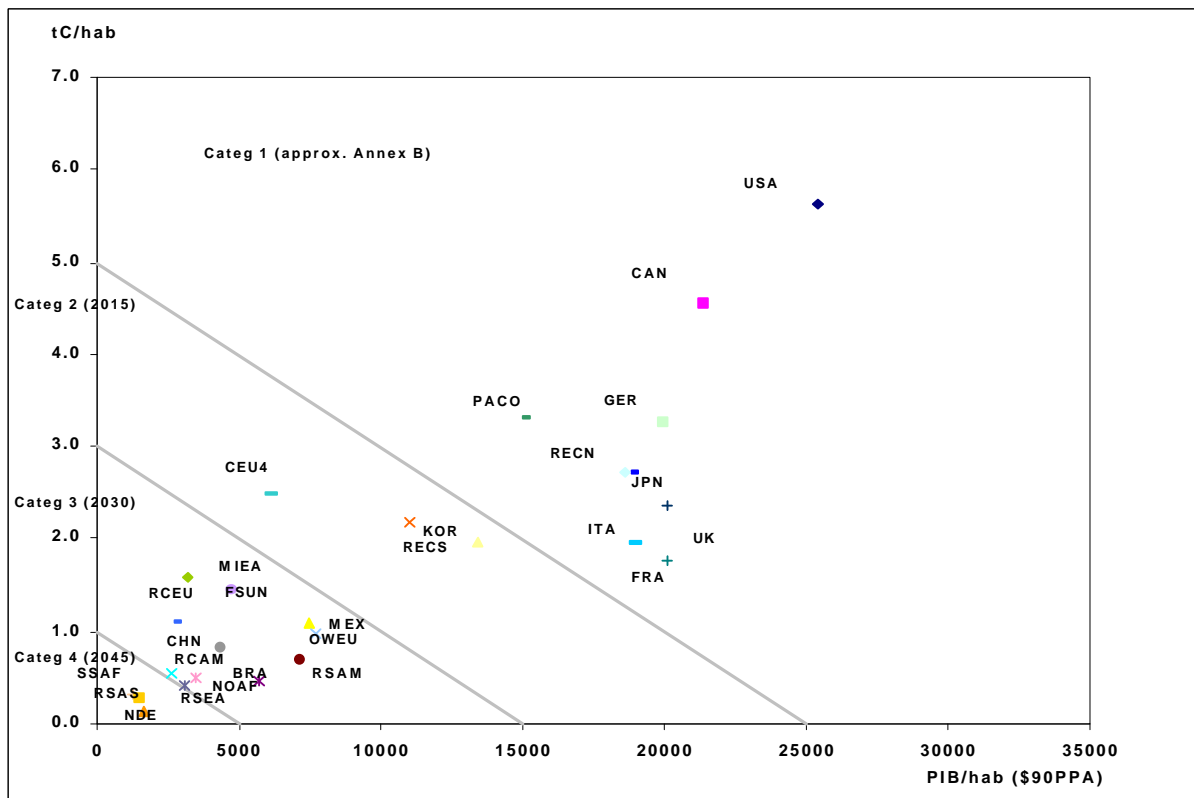
<sup>3</sup> Exemples : chapitre 8 (IPCC, 1996) ; (Gupta et al, 1999)

- des horizons de stabilisation de leurs émissions, différenciés selon les niveaux de PIB par habitant et d'émissions par habitant en 2010 ;
- un taux de croissance initial de leurs émissions en 2010, différencié pour tenir compte des dynamiques démographiques ; c'est la décélération progressive de ce taux jusqu'aux dates de stabilisation par pays qui va conduire à la stabilisation globale, compte tenu des réductions attendues dans les pays Annexe B.

Pour les pays non-Annexe B, catégorie découlant de la différenciation primaire du Protocole de Kyoto, l'exercice consiste donc à construire tout d'abord un schéma de différenciation secondaire prenant en compte le niveau de revenu par habitant en 2000 et le niveau d'émissions par habitant, également en 2000. A ce schéma vient s'ajouter ensuite un niveau tertiaire de différenciation, tenant compte de la croissance démographique attendue entre 2000 et 2010.

La figure 1 met en évidence quatre catégories de pays, parmi lesquelles la première correspond globalement aux pays de l'Annexe B et les suivantes distinguent les pays non-Annexe B, selon qu'ils font partie de la catégorie 2 (revenu et émissions élevés), 3 (revenu et émissions intermédiaires) ou 4 (revenu et émission faibles). Elle permet de justifier la différenciation primaire (pays Annexe B / pays non-Annexe B) et d'opérer la différenciation secondaire des horizons de stabilisation des émissions des pays non-Annexe B.

**Figure 1 : la différenciation des horizons de stabilisation**



Les significations des codes des pays (ou région)s figurent en annexe.

Le PIB/hab est exprimé en dollars constants de 1990, en parités de pouvoir d'achat

Source : base de données modèle POLES

Le principe retenu est que, pour tenir compte à la fois de la capacité des Etats à payer et de leur responsabilité causale, plus les niveaux de revenu et d'émissions sont élevés et plus l'horizon de stabilisation de leurs émissions doit être rapproché. Inversement, un pays pauvre à faibles émissions par tête ne devra stabiliser ses émissions que dans un futur plus éloigné. Nous prenons ainsi pour hypothèse que les pays de la catégorie 2 devront stabiliser leurs émissions à partir de 2015, ceux de la catégorie 3 à partir de 2030 et ceux de la catégorie 4 à partir de 2045, ce qui revient à intervenir sur le taux de croissance annuel autorisé des émissions de CO<sub>2</sub>. La liste des pays et régions figurant dans chaque catégorie se trouve en annexe.

Il reste alors à déterminer les profils intertemporels des objectifs de limitation des émissions des pays non-Annexe B, conduisant de la situation non contrainte en 2010 à la stabilisation des émissions mondiales à partir de 2030. Le taux de croissance initial en 2010 des émissions est fixé, selon l'hypothèse d'une croissance de 3 % par an des émissions par habitant, uniforme pour tous les pays en développement<sup>4</sup>. Cela conduit à une différenciation tertiaire, par la prise en compte du taux de croissance démographique moyen annuel enregistré dans chaque pays entre 2000 et 2010. Le taux de croissance des émissions est donc initialement égal à 3 % par an plus le taux de croissance démographique, puis il diminue linéairement chaque année pour atteindre la valeur zéro à la date de stabilisation (2015, 2030, 2045).

En résumé, le scénario « Stabilisation mondiale à 10 GtC en 2030 » que nous proposons s'articule autour des points suivants pour l'attribution des droits d'émission : stabilisation globale des émissions en 2030, poursuite des réductions engagées dans les pays de l'Annexe B, ralentissement progressif mais différencié de la croissance des émissions des pays non-Annexe B, la différenciation au sein de ces pays s'effectuant en fonction des niveaux de revenu et d'émissions par habitant mais aussi de la dynamique démographique. La formalisation mathématique de ce scénario figure dans l'encadré 2.

Encadré 2

« Stabilisation mondiale à 10 GtC en 2030 »

1) Emissions mondiales :

$$E_{2030} = E_{B,2030} + E_{NB,2030} \text{ et } E_{2030} \leq 10GtC ,$$

où  $E_{2030}$  représente les émissions mondiales en 2030,  $E_{B,2030}$  les émissions des pays Annexe B en 2030 et  $E_{NB,2030}$  les émissions des pays non Annexe B.

2) Emissions des pays Annexe B :

$$E_{B,2030} = \sum_i e_{i,2030}$$

$$e_{i,2030} = e_{i,1990} * (1-r_i) * (1-r_i)$$

et, de façon plus générale,

$$\forall T \text{ tel que } 2010 \leq T \leq 2030, e_{i,T} = e_{i,1990} * \left(1 - \left(\frac{T-2010}{20}\right)r_i\right) * (1-r_i)$$

<sup>4</sup> On notera qu'un taux de croissance des émissions par habitant de 3 % revient à une croissance de 3 % du PIB par habitant, à intensité constante des émissions par unité de PIB. En effet, comme on peut écrire  $E/POP = (E/PIB)*(PIB/POP)$ , il y a en première approximation additivité des taux de croissance de  $E/PIB$  et de  $PIB/POP$ , pour de petites variations.

où  $e_{i,T}$  représente les émissions du pays  $i$  à l'année  $T$ ,  $r_i$  le taux de réduction des émissions tel qu'accepté par le pays  $i$  dans le Protocole de Kyoto (s'il s'agit d'un taux d'augmentation des émissions,  $r_i$  est alors négatif ; ceci est le cas par exemple pour l'Australie)

3) Emissions des pays non Annexe B :

$$E_{NB,2030} = \sum_j e_{j,2030}$$

$$\forall T \text{ tel que } 2011 \leq T \leq T^*, e_{j,T} = e_{j,2010} * \prod_{t=2011}^T (1 + c_j - (\frac{t-2010}{T^*-2010}) * c_j), \text{ pour } T \leq T^*$$

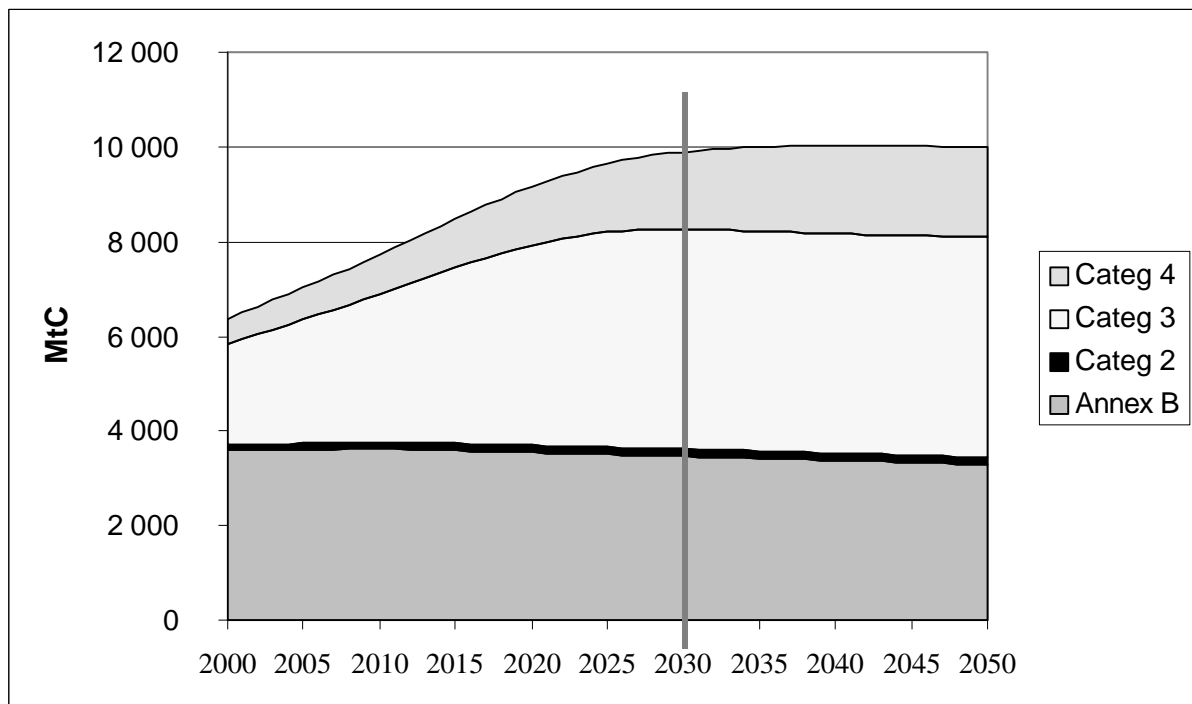
$$\text{et } \forall T \geq T^*, e_{j,T} = e_{j,2010} * \prod_{t=2011}^{T^*} (1 + c_j - (\frac{t-2010}{T^*-2010}) * c_j)$$

où  $e_{j,T}$  représente les émissions du pays  $j$  l'année  $T$ ,  $T^*$  l'année de stabilisation,  $c_j$  le taux de croissance des émissions du pays  $j$  en 2010.

$c_j$  est tel que  $1 + c_j = (1 + 3\%)(1 + d_j)$ , où  $d_j$  représente le taux de croissance démographique moyen annuel du pays  $j$  sur la période 2000-2010.

La figure 2 présente le résultat du scénario en termes d'émissions. Elle fait bien apparaître la stabilisation des émissions globales à 10 GtC un peu après 2030, la décroissance des émissions des pays Annexe B sur toute la période, la stabilisation des émissions dès 2015 pour la Corée du Sud (seul pays de la catégorie 2), en 2030 pour les pays de la catégorie 3 et en 2045 pour les pays de la catégorie 4.

**Figure 2 : profil d'émissions de CO<sub>2</sub> résultant du scénario d'attribution des droits**



## 2. Évaluation économique du scénario : les gains de la flexibilité

De nombreux travaux ont déjà montré l'intérêt économique de la mise en place d'un marché de permis d'émissions (Criqui, 1999 ; Energy Journal Special issue 1999). Cette section vise à montrer les enjeux quantitatifs de l'instauration de mécanismes de flexibilité dans le cadre du scénario présenté précédemment.

Pour ce faire, nous construirons d'abord le cadre analytique pour les marchés de droits d'émission : celui-ci est fondé en particulier sur l'analyse de courbes de coûts marginaux de réduction par région, produites par un modèle d'équilibre partiel du secteur énergétique mondial, le modèle POLES. Puis nous fournirons de premiers éléments d'analyse quantitative.

### • *Méthodologie d'analyse des coûts de réduction*

Deux grands types de méthodologies sont utilisés pour évaluer les coûts de réduction des émissions (Grubb et al, 1993 ; chapitre 8 IPCC, 1996) :

- l'approche dite *top-down* s'appuie sur des modèles macro-économiques, le plus souvent d'équilibre général calculable, avec dans certains cas une représentation détaillée du secteur énergétique ; elle permet notamment de calculer les coûts de réduction en termes de perte de PIB pour différents niveaux de réduction ;
- les études *bottom-up*, relèvent d'une approche d'ingénieur, ou sont menées avec des modèles d'optimisation du système énergétique ; elles permettent de construire des courbes de potentiel de réduction pour différents niveaux de coût marginal.

L'approche utilisée ici correspond à une démarche intermédiaire puisqu'elle s'appuie sur un modèle mondial d'équilibre sectoriel pour le système énergétique, le modèle POLES (encadré 3).

#### Encadré 3 Le modèle POLES

Le modèle POLES est un modèle de simulation du système énergétique mondial à l'horizon 2030 : les évolutions démographiques et économiques, pour chacun des grands pays ou régions du monde, sont considérées comme exogènes ; en revanche, les évolutions de l'ensemble des variables caractérisant la consommation, la transformation, la production et les prix de l'énergie sont endogènes au modèle (Criqui et al., 1996).

Ses principales utilisations relèvent de trois grands types d'exercices :

- 1. Prospective détaillée du système énergétique mondial**, par grand pays ou région, avec simulation de la demande par secteur, des technologies énergies nouvelles et renouvelables, des systèmes électriques, de l'offre et des prix des hydrocarbures.
- 2. Analyse du progrès technique du secteur de l'énergie** soit avec simulation de scénarios exogènes de « percée technologique », soit par une endogénéisation des effets cumulatifs d'expérience et d'apprentissage sur les nouvelles technologies.
- 3. Simulation des impacts potentiels de la prise en compte des contraintes d'environnement global**, exprimées dans les accords internationaux sur la limitation des gaz à effet de serre, avec calcul des Coûts Marginaux de Réduction par pays et par secteur et utilisation du logiciel spécialisé ASPEN (Analyse des Systèmes de Permis d'Emission Négociables) pour la simulation de « marchés de droits d'émission », éventuellement régulés (Criqui et al., 1999 ; Blanchard et al., 2000 ; Criqui et al., à paraître).

C'est un modèle de simulation récursive : la dynamique est donnée, à partir du point initial puis d'année en année, par les ajustements progressifs des variables d'offre et de demande d'une part et de prix d'autre part.

L'horizon prospectif a été volontairement limité à une trentaine d'années, dans le souci de conserver dans le modèle des technologies « explicites » et non « génériques » : hypothèse est faite que les technologies qui pourront avoir un impact quantitatif significatif en 2030 doivent être au moins identifiées aujourd'hui.

Le modèle est construit selon une structure hiérarchisée de modules, interconnectés au niveau national, régional et mondial :

- le plan national intègre les modules de production d'énergies fossiles, de conversion en électricité, d'énergies nouvelles et de consommation par secteurs (10 secteurs pour les pays à modèle détaillé) ;
- les plans régionaux ou mondiaux intègrent les flux d'échanges énergétiques et les modules de prix internationaux, pour les trois grandes énergies faisant l'objet d'un large commerce international, pétrole, gaz naturel et charbon.

Dans sa désagrégation géographique actuelle, le modèle distingue 30 pays ou régions. Par ailleurs, au sein de chaque région, les plus grands pays - ceux du G7 et les cinq grandes économies en développement rapide Chine, Inde, Corée du Sud, Brésil et Mexique - sont identifiés et traités par des modèles détaillés. Cette caractéristique est particulièrement importante pour l'étude des coûts des stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre, ainsi que des enjeux associés dans la négociation internationale sur le changement climatique.

Une autre caractéristique du modèle POLES est d'offrir une désagrégation détaillée des secteurs et technologies énergétiques, ce qui permet de rattacher toutes les évaluations des coûts marginaux de réduction à des variables technologiques explicites.

L'évaluation des coûts de réduction est, dans ce modèle, menée à partir de l'introduction d'une « taxe carbone fictive » – ou encore d'une « valeur du carbone » – dans l'ensemble des modules de consommation-transformation de l'énergie. Cette taxe carbone fictive entraîne des ajustements de la demande d'énergie finale, par des changements technologiques ou de comportements implicites, ainsi que des substitutions dans les systèmes de conversion d'énergie, pour lesquels les technologies sont au contraire explicitées. A partir d'une projection de référence dans laquelle la taxe fictive est considérée comme étant égale à zéro, il est ensuite possible de calculer, par simulations successives, les niveaux d'émission associés à une taxe fictive variant pas par pas, de 0 à 600 \$/tC par exemple. On en déduit ainsi le coût marginal de réduction associé à un niveau donné d'émissions (Criqui et al., 1997).

L'approche retenue n'est pas exempte de limites. En premier lieu, elle rencontre les difficultés communes à toutes les modélisations prospectives, dans la définition des spécifications et des hypothèses permettant de construire la projection de référence. En second lieu, les coûts ainsi calculés sont des coûts sectoriels – ou encore des coûts bruts – et ils ne prennent pas en compte l'ensemble des impacts des politiques de réduction.

Principalement, celles-ci se traduiront d'abord par un renchérissement des prix ou des coûts de l'énergie. L'impact macro-économique de ce renchérissement ne serait pas cependant comparable à celui d'un choc pétrolier, puisque les revenus correspondants s'ils existent – c'est-à-dire s'il y a taxe ou vente aux enchères de permis d'émission – resteraient au sein de chaque économie nationale, où ils pourraient être « recyclés ».

Les « modèles d'équilibre général calculable » permettent de traiter les questions associées, en particulier celle du recyclage et des conditions d'existence d'un « double dividende », écologique et économique. Mais les résultats de ces modèles peuvent manquer de transparence et présenter une moindre robustesse, puisque le calcul du coût net des politiques de réduction combine l'incertitude sur l'évaluation des coûts sectoriels et celle sur les effets macro-économiques directs et de recyclage.

La faiblesse de l'approche sectorielle peut alors aussi constituer sa force. L'identification des coûts sectoriels dans un modèle énergétique permet en effet de traiter la première question de

manière approfondie et à l'aide d'un outil adapté, en laissant ouverte la possibilité d'une étude ultérieure de l'utilisation des recettes fiscales ou des revenus de la vente de permis.

• *Les marchés de permis d'émission négociables : quelles conséquences pour l'efficacité ?*

Le tableau 3 présente les principales implications économiques du scénario « stabilisation à 2030 », si aucun dispositif de flexibilité n'était introduit.

**Tableau 3 : le scénario « Stabilisation 2030 » sans flexibilité, une tentative de chiffrage à partir du modèle POLES**

STABIL 2030	Emissions 2030 Reference (MtC)	Emissions 2030 Scenario Stabilisation (MtC)	Réduction d'émissions (MtC)	Coût Marginal de Réduction (\$/tC)	Coût Total de Réduction (M\$)	% du PIB
USA	2 010	1 153	857	246,0	76 398	0,596
Canada	179	102	76	325,7	6 937	0,586
Mexique	267	235	32	159,2	2 475	0,101
Rest Am. Cent.	130	84	46	(>600,0)	8 163	1,628
Brésil	339	210	129	338,9	15 709	0,491
Rest Am.Sud	217	213	4	10,5	20	0,001
France	154	96	58	465,2	9 576	0,453
Allemagne	303	193	109	135,3	6 086	0,227
Italie	127	94	33	590,0	6 981	0,384
Roy. Uni	187	130	57	222,8	4 639	0,243
Rest UE nord	234	134	100	(>600,0)	18 566	1,111
Rest UE sud	172	97	75	430,0	8 124	0,530
Rest Eur. Ouest	44	20	24	(>600,0)	3 484	1,278
Turquie	146	120	26	49,5	552	0,029
Egypte	76	52	24	314,2	2 943	0,257
MarocTunisie	37	26	11	490,0	2 147	0,325
Alg. Libye	59	48	11	213,2	957	0,182
Golfe	366	386	-20	0,0	0	0,000
Moy. Or. Méd.	95	74	21	201,2	1 942	0,234
Af. Subsaharienne	784	651	134	51,2	3 788	0,138
Eur. Cent. 4	338	156	182	311,9	20 597	1,712
Rest Eur. Cent.	129	94	35	464,8	12 570	1,766
Eur. cent. NB	55	41	14	95,8	535	0,251
ExUrss B	834	799	35	10,3	179	0,005
ExUrss NB	209	163	45	152,4	2 647	0,286
Inde	1 044	728	316	148,8	22 161	0,362
Rest Asie Sud	209	151	58	298,4	6 941	0,307
Corée Sud	206	149	57	268,7	5 821	0,486
Rest Asie SE	897	562	335	295,7	33 058	0,411
Chine	2 788	2 226	562	53,1	13 887	0,074
Japon	365	262	103	340,0	13 208	0,322
Rest Pacif.ique	170	89	81	255,9	6 204	0,598
Monde	13 170	9 540	3 630		317 297	0,347

Les coûts sont exprimés en \$ constants de 1990 (1 \$1999 = 0,82 \$1990)

Source : Modèle POLES et logiciel ASPEN, mars 2000

La réduction des émissions mondiales s'élèverait donc à 3600 MtC par rapport à la situation de référence, les pays de l'actuelle Annexe B participeraient pour 1800 MtC soit 50 % du total

des réductions d'émissions, pour un coût total qui représenterait 60 % du coût total de la réduction. On peut noter, à partir du tableau 3, trois points importants :

- dans les pays de l'Annexe B, le coût brut sectoriel annuel du respect des engagements à 2030 représenterait de 0,05 à 1,7 % du PIB ; pour les pays non-Annexe B, de 0 à 1,6%.
- le coût marginal des réductions projetées varie considérablement d'une région à l'autre, jusqu'à dépasser dans certains cas extrêmes 600 \$/tC, les valeurs hautes étant atteintes en particulier au Europe et au Japon, mais aussi dans certaines régions en développement ;
- le « taux d'effort » (coût de réduction / PIB) serait plus élevé aux Etats-Unis qu'en Europe, ce qui illustre une fois de plus la nécessité de prendre en compte le coût marginal et les quantités en cause dans l'appréciation des coûts des politiques de réduction ; dans la projection proposée, les Etats-Unis représenteraient 24 % des réductions en volume et supporteraient 24 % des coûts totaux.

L'étude de ce taux d'effort pour différents pays fait apparaître des situations apparemment paradoxales : il est parfois élevé soit dans des pays qui sont les plus « vertueux » en termes d'émissions, soit inversement dans les pays moins vertueux que les autres. Ce paradoxe s'explique en fait par les phénomènes suivants :

- dans les pays vertueux, les réductions seront limitées en quantité mais elles se feront à un coût marginal élevé ; c'est ce que l'on pourrait qualifier de « syndrome norvégien » ;
- dans les pays moins vertueux au contraire, les réductions pourront être obtenues à un coût faible mais elles seront plus importantes en volume ; il s'agirait ici du « syndrome australien ».

Il convient donc bien de tenir compte de l'effet quantité et de l'effet coût marginal sur le montant total des programmes de réduction. On peut d'ailleurs noter que les résultats des négociations de Kyoto reflétaient cette réalité, puisque de fait des pays aussi différents que la Norvège et l'Australie sont parvenus à obtenir des objectifs moins contraignants que ceux des autres pays de l'OCDE.

• ***Un marché de droits généralisé aux pays en développement***

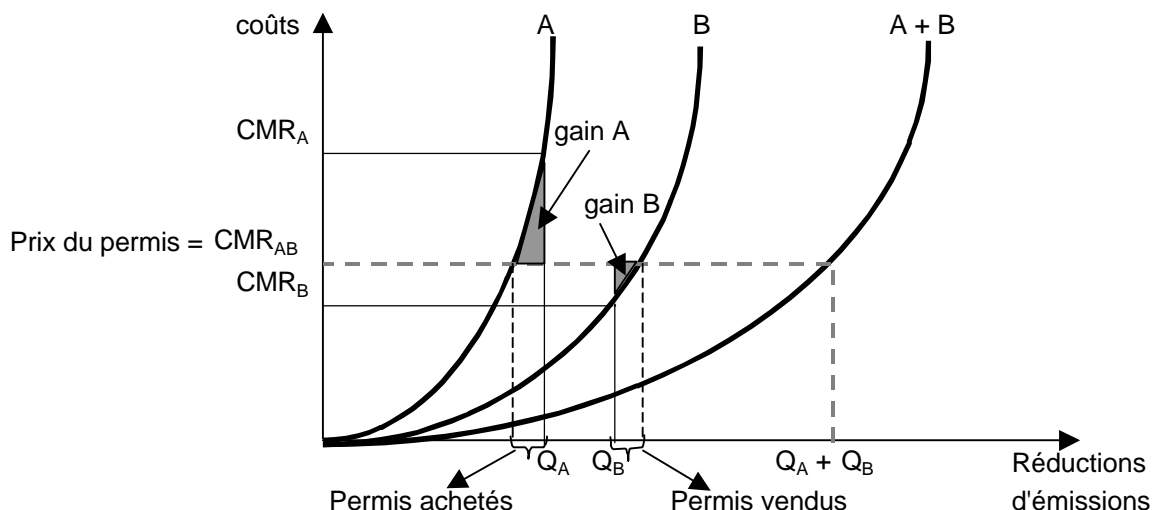
A partir de cette situation de référence sans aucune hypothèse de flexibilité, il est maintenant possible d'analyser les gains potentiels de l'introduction d'un système d'échange de permis d'émission négociables, dont les gains d'efficacité économique découlent de la diversité-même des Coûts Marginaux de Réduction constatés dans les différentes régions (voir encadré 4).

## Encadré 4

**La simulation des échanges de permis d'émission, dans des marchés ou « bulles »**

Les courbes de coûts marginaux de réduction peuvent être étudiées pour des régions isolément, mais aussi pour un ensemble consolidé : le principe de base est alors que, pour une valeur du carbone donnée, les réductions d'émission d'une région A et d'une région B sont additives pour calculer les réductions d'émission - et consécutivement les courbes de coûts marginaux de réduction - de la région consolidée A+B.

Cette propriété ouvre la voie à l'analyse de bulles ou de marchés, au sein desquels il y aurait une égalisation des coûts marginaux de réduction, et donc minimisation du coût total, par échange de permis d'émission notamment. Le graphique ci-dessous décrit la configuration de base pour l'échange de droits d'émission entre deux pays. La situation représentée est celle de deux pays soumis à des contraintes d'émission, par exemple deux pays industrialisés de l'Annexe B : en abscisse figurent les réductions d'émission à effectuer et en ordonnée les coûts marginaux ; le coût marginal de réduction pour la zone consolidée – ou encore la valeur des permis – s'établit à un niveau intermédiaire entre les coûts marginaux des deux pays pris individuellement ; le montant total des échanges de permis correspond à la surface grisée sur la figure et les gains de chaque partenaire à la différence entre d'une part le coût total sans permis et d'autre part le coût des réductions internes plus les achats ou moins les ventes de permis.

**Principe de l'échange de permis d'émission entre deux pays contraints**

Toutes les études menées à l'aide du modèle POLES concernent une analyse des courbes de coûts marginaux de réduction à l'horizon 2030, en statique. Ces courbes supposent que la valeur du carbone correspondante (ou encore la taxe carbone fictive) est introduite dès l'année 2000. Une nouvelle version du modèle est actuellement en développement. Elle permettra d'analyser, en dynamique, l'évolution des valeurs du carbone, année après année.

Par rapport à la configuration précédente « Stabilisation à 10 GtC au niveau mondial en 2030, sans échange », l'introduction d'un marché de droits produit une situation sensiblement différente (tableau 4).

**Tableau 4 : Marché de droits d'émission mondial : un prix d'équilibre à 127,5 \$/tC**

	Référ 2030	Stabil 2030	Avec marché	Réduct en interne	Volume des échanges	Valeur des échanges	Coût interne	Coût total	Coût sans échange	Gains échange	Coût après échange
	(MtC)	(MtC)	(MtC)	%	(MtC)	(M\$)	(M\$)	(M\$)	(M\$)	(M\$)	% PIB
USA	2 010	1 153	1 388	72,6	-235,2	29 990	34 393	64 383	76 398	12 014	0,502
Canada	179	102	123	73,0	-20,7	2 637	2 538	5 175	6 937	1 762	0,437
Mexique	267	235	241	81,6	-6,0	761	1 620	2 381	2 475	95	0,097
RestAmCen	130	84	115	33,1	-30,5	3 884	864	4 748	8 163	3 415	0,674
Brésil	339	210	263	58,7	-53,4	6 811	4 069	10 880	15 709	4 829	0,340
RestAmSud	217	213	187		26,2	-3 346	1 390	-1 956	20	1 976	-0,054
France	154	96	125	49,4	-29,3	3 741	1 476	5 218	9 576	4 358	0,247
Allemagne	303	193	196	97,1	-3,2	404	5 670	6 074	6 086	12	0,227
Italie	127	94	114	41,3	-19,4	2 470	768	3 238	6 981	3 743	0,178
Roy Uni	187	130	143	76,6	-13,4	1 706	2 350	4 056	4 639	583	0,212
RestUEnor	234	134	193	41,6	-58,5	7 463	2 175	9 637	18 566	8 929	0,494
RetsUEsud	172	97	120	69,9	-22,5	2 866	2 470	5 335	8 124	2 789	0,348
RestEuwest	44	20	38	24,0	-18,3	2 327	350	2 677	3 484	807	0,436
Turquie	146	120	103		16,6	-2 111	1 922	-189	552	741	-0,010
Egypte	76	52	63	56,9	-10,2	1 294	718	2 012	2 943	931	0,175
MarocTuni	37	26	33	40,3	-6,5	832	290	1 121	2 147	1 026	0,170
AlgLibye	59	48	51	73,9	-2,9	373	461	834	957	123	0,159
Golfe	366	386	315		71,5	-9 112	2 830	-6 283	0	6 283	-0,303
MoyO Méd	95	74	81	67,2	-6,8	872	815	1 687	1 942	254	0,204
Af Subsah	784	651	539		112,2	-14 308	13 171	-1 137	3 788	4 925	-0,041
EurCent4	338	156	225	61,8	-69,5	8 860	6 482	15 342	20 597	5 255	1,275
RestEuCent	129	94	131	58,8	-37,0	4 714	2 510	7 225	12 570	5 345	1,015
EurcentNB	55	41	39		2,0	-250	753	503	535	33	0,235
ExUrss B	834	799	672		127,1	-16 200	7 948	-8 253	179	8 432	-0,223
ExUrssNB	209	163	168	89,6	-4,7	602	1 987	2 589	2 647	58	0,280
Inde	1 044	728	761	89,4	-33,7	4 291	17 513	21 804	22 161	357	0,356
RestAsiSud	209	151	175	57,9	-24,3	3 104	1 826	4 930	6 941	2 011	0,218
Corée Sud	206	149	169	65,1	-19,8	2 530	2 022	4 551	5 821	1 270	0,380
RestAsie SE	897	562	670	67,5	-108,9	13 885	11 047	24 932	33 058	8 127	0,310
Chine	2 788	2 226	1 684		542,3	-69 143	61 583	-7 560	13 887	21 447	-0,041
Japon	365	262	307	56,4	-45,0	5 741	3 238	8 980	13 208	4 229	0,219
RestPacif	170	89	107	77,5	-18,1	2 314	2 860	5 174	6 204	1 030	0,499
Monde	13 170	9 540	9 540	-	(897,9)	(114471)	200 108	200 108	317 297	117 189	0,212

Les valeurs monétaires sont exprimées en \$ constants de 1990

Source : Modèle POLES, mars 2000

L'objectif quantitatif est toujours celui d'une réduction totale d'environ 3 600 MtC par rapport à la référence de 2030 pour le monde, alors même que les droits initiaux (2010) des pays en développement correspondent à un doublement de leurs émissions par rapport à 1990. Le coût marginal mondial du respect des objectifs – ou encore le prix des permis – est alors de 127,5 \$/tC.

Dans ce schéma d'allocation mondiale, seuls 6 pays (ou groupes de pays) seraient vendeurs de permis, les principaux étant la Chine, la Russie, l'Afrique subsaharienne et les pays du Golfe. Les échanges atteignent près de 900 MtC, ce qui correspond à 25 % de la réduction des émissions, pour un montant total d'environ 114 Mrds\$. Les principaux acheteurs de permis seraient les Etats-Unis avec 235 MtC (30 Mrds\$), mais il faut aussi noter la présence d'acheteurs des pays en développement pour près de 300 MtC (Amérique Centrale, Brésil, Afrique du Nord, Asie hors Chine).

Le principal résultat de cet exercice est sans doute que le coût total du programme de stabilisation des émissions est ramené de plus de 300 Mrds de \$ dans le cas sans flexibilité à environ 200 Mrds \$ par an. Les gains nets par rapport à la situation hors marché sont importants pour certaines régions : 73 Mds de \$ pour les pays acheteurs (dont 12 pour les USA) et de 44 Mrds de \$ pour les pays vendeurs (dont 21,5 pour la Chine), soit un total de 117 Mds \$. Le marché permettrait donc aux pays vendeurs de permis de bénéficier de recettes

qui pourraient financer, et au delà, les coûts des réductions supplémentaires qu'ils effectuent, à supposer cependant que soient mis en place les signaux et mécanismes incitatifs initiaux.

L'ouverture du marché à l'ensemble des pays du globe est donc économiquement plus efficace que la solution sans marché et tous les pays voient leur taux d'effort diminuer de manière significative. Le problème est cependant que les taux de réduction en interne deviennent alors hétérogènes, puisqu'ils oscillent entre 24 % et 97 % (pour l'Allemagne). La France présente un taux d'effort de 49 %, du fait de coûts marginaux rapidement élevés, en raison d'un profil initial peu intensif en carbone.

Il convient enfin de souligner que le cas présenté demeure largement théorique, puisqu'il suppose d'une part, que tous les potentiels de réduction dans les pays en développement peuvent être réalisés et d'autre part, que les mécanismes de flexibilité fonctionnent parfaitement, c'est à dire que l'on se place dans une situation de marché en concurrence pure et parfaite, sans coûts de transaction. Dans cette perspective, la valeur des permis doit être interprétée comme une valeur minimum ou valeur plancher et, inversement, le volume des échanges comme un volume maximum.

### **2.3. Evaluation ex post du scénario en termes d'équité et conditions de son acceptabilité**

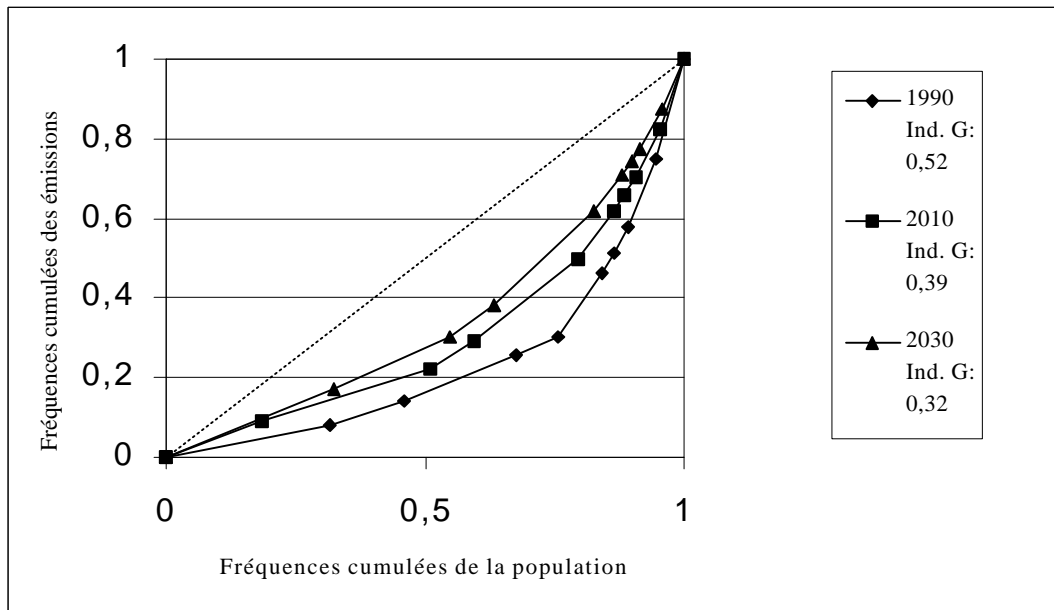
Dans la première partie, nous avons souligné la grande difficulté de la construction d'un accord ex ante sur un critère unique d'équité pour l'attribution des droits mondiaux d'émission à l'horizon 2030. C'est la raison pour laquelle nous avons proposé une démarche différente qui consiste dans un premier temps à définir un scénario d'attribution des droits pragmatique, puis à l'évaluer en termes d'équité, à l'aune d'une pluralité de critères renvoyant eux-mêmes à divers principes d'équité.

Il est clair que le scénario de stabilisation mondiale ne sera acceptable par la plupart des Parties que s'il conduit à une certaine convergence pour les critères sur lesquels s'appuient les Parties dans leurs débats sur l'équité. Il convient par conséquent d'analyser ce scénario au moins du point de vue du critère des émissions par habitant (principe d'égalité des droits, défendu par de nombreux pays en développement) et du critère du taux d'effort exprimé en coût des réductions par unité de PIB (principe d'égalité démocratique, défendu par certains pays en développement et fréquemment examiné par les pays de l'Annexe B).

#### ***• Utilisation de l'indice de Gini pour une mesure synthétique de la convergence des émissions par habitant***

C'est pour mesurer l'équité dans la répartition des revenus d'une population que la courbe de Lorenz et l'indice de Gini ont été développés initialement. Cependant, il est tout à fait possible de transposer ces outils pour mesurer l'équité dans la répartition des émissions ou des droits d'émission d'une population. La figure 3 présente les courbes de Lorenz pour les années 1990, 2010 et 2030 : l'axe des abscisses correspond aux fréquences cumulées de la population et l'axe des ordonnées aux fréquences cumulées des émissions. La courbe de 1990 représente les émissions réelles de CO<sub>2</sub> ou les droits « de fait » de cette année-là, tandis que celle de 2010 décrit la répartition des droits d'émission telle qu'acceptée dans le Protocole de Kyoto. Celle de 2030 résulte de l'attribution des droits décrite dans le scénario « Stabilisation mondiale à 10 GtC en 2030 ».

**Figure 3 : courbes de Lorenz et indices de Gini pour les droits d'émissions mondiaux**



Rappelons que lorsque la courbe de Lorenz se confond avec la bissectrice, la répartition est parfaitement égalitaire. La figure 3 fait ainsi apparaître que la situation de fait en 1990 est la plus inégalitaire, que la situation de droit en 2010 l'est moins et que la situation hypothétique de 2030 permet encore de réduire les inégalités dans la répartition des droits d'émission par rapport à celle de 2010. Ces constats sont évidemment confirmés par le calcul de l'indice de Gini<sup>5</sup> : il passe de 0,52 en 1990 à 0,39 en 2010 et 0,32 en 2030.

En termes d'émissions par habitant, le tableau 5 met en évidence la réduction à laquelle se sont engagés les pays de l'Annexe B dans le Protocole de Kyoto (situation 2010) et à laquelle ils seraient soumis dans le scénario de stabilisation. Les émissions des pays non-Annexe B peuvent au contraire augmenter, sans contrainte jusqu'en 2010 (Protocole de Kyoto), et de façon plus « encadrée » dans le scénario de stabilisation. Les trajectoires d'émissions par habitant tendent ainsi à se resserrer entre les pays Annexe B et non-Annexe B, vers une convergence plus marquée.

<sup>5</sup> Rappelons que l'indice de Gini est le rapport entre la surface de concentration (surface comprise entre la courbe de Lorenz et la bissectrice) et la surface du triangle qui coupe le rectangle des fréquences en 2 par la bissectrice ; l'indice est donc compris entre 0 pour une répartition parfaitement égalitaire et 1 pour une répartition parfaitement inégalitaire.

**Tableau 5 : émissions par habitant 1990, 2010, 2030**

Emissions par habitant (tC)	1990	2010	2030
<b>Amérique du Nord</b>	5,23	4,15	3,53
<b>Europe de l'Ouest</b>	2,19	1,95	1,83
<b>Pacifique OCDE</b>	2,53	2,24	2,16
<b>Ex URSS</b>	3,46	2,81	2,64
<b>Europe de l'Est</b>	2,37	2,23	2,27
<b>Amérique latine</b>	0,62	0,86	1,05
<b>Afrique Nord- Moyen-Orient</b>	0,48	0,53	0,68
<b>Chine</b>	0,58	1,13	1,42
<b>Reste Asie</b>	0,28	0,46	0,60
<b>Moyenne mondiale</b>	1,11	1,10	1,14

Source : modèle POLES, mars 2000

### • *Vers l'égalité démocratique*

Le taux d'effort consenti par les pays pour réduire leurs émissions (coût total des réductions / PIB) constitue l'un des critères pour évaluer l'équité du scénario de stabilisation en termes d'égalité démocratique. Il est présenté dans les tableaux 3 et 4, successivement dans une configuration de réduction des émissions sans échange puis dans l'hypothèse d'un marché de permis d'émission fonctionnant parfaitement.

Sans échange, le taux d'effort qui serait engagé par les pays Annexe B s'avère généralement plus élevé que celui des pays non-Annexe B. La règle de différenciation qui propose un coût de réduction proportionnel au PIB et qui correspondrait au principe d'égalité démocratique est donc globalement atteinte et même dépassée, si l'on s'intéresse aux deux groupes de pays dans leur ensemble (Annexe B versus non-Annexe B). De façon similaire, celle qui préconise un taux d'effort proportionnel au PIB parhabitant et qui correspond au principe de différence de Rawls se trouve respectée dans les grandes lignes.

Cependant, si l'on examine dans le détail, pays par pays, le principe de différence de Rawls n'est pas encore atteint. Au sein des pays de l'Annexe B, les pays d'Europe du Nord et d'Europe Centrale par exemple ont un taux d'effort respectivement de 1,1 % et de 1,7% du PIB, contre 0,6% pour les Etats-Unis ou le Japon (tableau 3). De même, parmi les pays non-Annexe B, les pays d'Amérique Centrale et l'Inde affichent respectivement un taux de 1,6 % et de 0,4% du PIB contre 0,1% pour le Mexique et 0,07% pour la Chine. En conséquence, notre scénario de stabilisation doit être considéré comme un scénario préliminaire qu'il conviendra d'améliorer au cours de recherches ultérieures pour atteindre une convergence plus satisfaisante du point de vue des principes rawlsiens.

Par ailleurs, comme cela a déjà été noté précédemment (partie 2.2), l'ouverture du marché des permis d'émission conduit pour chaque pays à une réduction de son taux d'effort, par rapport à une situation sans échange. Cela n'est pas surprenant, dans la mesure où, par l'ouverture du marché, il y a égalisation des coûts marginaux de réduction et, par voie de conséquence, minimisation du coût total, avec partage des gains entre acheteurs et vendeurs. Si dans cette configuration on regarde les pays de l'Annexe B, les coûts par pays, en proportion du PIB,

tendent à une plus grande convergence, ce qui implique une meilleure égalité démocratique associée à une meilleure égalité utilitariste, la réduction relative de l'égalité des émissions effectives par habitant – qui renvoie à l'égalité des droits – étant monétairement compensée par les flux financiers. La question est alors de savoir quelle serait l'acceptabilité de ce scénario, compte-tenu de ses impacts différenciés selon les trois critères d'équité examinés ici.

L'approche que nous avons développée a donc permis une première quantification des enjeux associés à la mise en œuvre de marchés internationaux de droits d'émission pour l'horizon post-2010 et au plan mondial. Il ne s'agit ici que d'une première étape dans la recherche dont les résultats restent provisoires et devront être affinés. Ces résultats permettent cependant de tirer un certain nombre de conclusions analytiques sur les voies possibles de l'insertion des pays en développement dans un système mondial d'attribution des droits ainsi que sur la structure et l'ordre de grandeur des flux associés à la mise en œuvre des marchés.

Le principe de l'introduction de mécanismes de flexibilité est-il susceptible d'être remis en cause par l'analyse, a posteriori, de la répartition des avantages qui en découlent ? Nous ne le pensons pas, car si cette répartition apparaissait par trop déséquilibrée, il faudrait alors plutôt reconsidérer le scénario d'attribution des droits en amont. Ainsi, l'enjeu des négociations à venir sera la construction – dans une procédure itérative – d'un accord sur les règles génériques d'attribution, auxquelles devront être associés des dispositifs de différenciation.

Dans cette perspective, notre premier exercice constitue une voie possible pour les négociations, mais il fait apparaître des situations déséquilibrées en défaveur de certaines régions comme l'Inde ou l'Amérique Centrale, ce qui nécessitera sans doute un affinement des hypothèses de détail dans les scénarios à venir. Il faudra notamment modifier la catégorisation des pays proposée dans notre annexe, pour prendre en compte la spécificité de certains pays en développement (et donc leurs délais de stabilisation).

Ce premier exercice ouvre ainsi sur la construction et l'analyse d'autres scénarios selon, en particulier, les critères d'égalité des droits et d'égalité démocratique, sachant que l'égalité utilitariste est en théorie garantie par l'introduction du marché des droits. Plus les scénarios permettront d'assurer un équilibre satisfaisant de ces différents points de vue sur l'équité, plus ils seront acceptables et plus grandes seront les chances de parvenir à un accord sur le programme de stabilisation des émissions à 2030 qui s'impose dans une perspective à plus long terme de stabilisation des concentrations.

## **Conclusion générale**

Par le Protocole de Kyoto, la répartition des permis d'émission au sein des Parties de l'Annexe B est désormais établie pour l'horizon 2008-2012. Le recours aux dispositifs de flexibilité et aux permis d'émission négociables est aussi prévu – quoique dans des conditions qui demeurent encore à préciser – pour les pays soumis à des engagements de réduction contraignants. En revanche, la question d'un engagement futur des pays en développement reste totalement ouverte, avant la Conférence de La Haye.

La réduction des émissions obtenue dans le Protocole de Kyoto pour les pays de l'Annexe B ne représente qu'un faible volume face aux augmentations prévues sur la même période dans les pays en développement. La participation de ceux-ci à des engagements contraignants de

limitation des émissions semble donc nécessaire à terme, pour atteindre l'objectif de stabilisation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Par conséquent, les questions de la fixation des objectifs quantitatifs et de la différenciation vont resurgir inéluctablement, pour l'insertion des pays en développement, mais aussi pour les objectifs post-2010 des pays constituant aujourd'hui l'Annexe B.

Dans ce contexte, notre papier a développé certains éléments méthodologiques pouvant contribuer à une double réflexion, sur les voies équitables d'une insertion des pays en développement dans un programme mondial à long terme de limitation de la croissance des émissions, et sur les apports, en termes d'efficacité économique des systèmes de permis d'émission négociables.

Sur le premier point, il s'avère qu'aucune règle opératoire de différenciation, ni aucun principe unique d'équité ne semblent pouvoir obtenir un consensus de tous les pays, dans la mesure où les intérêts demeurent structurellement divergents. De ce fait, nous avons construit un scénario simple et pragmatique de stabilisation des émissions de CO<sub>2</sub> à l'horizon 2030 et montré ensuite qu'il pourrait conduire à une relative convergence des droits et à un meilleur respect de l'égalité démocratique.

Sur le plan de l'efficacité, les résultats obtenus soulignent l'intérêt que revêt l'instauration d'un marché de permis d'émission négociables, puisqu'il permettrait de rétablir ex post l'efficacité qui n'existe pas a priori dans la répartition initiale des droits. La conception utilitariste de l'équité serait alors aussi respectée.

A partir des conclusions de cette étude, on peut affirmer que les solutions qui seront élaborées dans le cours futur du processus de négociation ne pourront durablement ignorer trois nécessités : *celle d'un certain degré de convergence progressive sur le long terme des droits d'émission par habitant - pour l'équité internationale des droits -*, *celle de l'acceptabilité des coûts imposés aux différentes régions du monde – pour l'équité dans l'effort –*, enfin *celle de l'instauration de mécanismes larges de flexibilité - pour l'efficacité globale de cet effort.*

## **Annexe : liste des pays (ou régions) par catégories**

### **Catégorie 1 : respect des objectifs fixés dans le Protocole de Kyoto**

USA : Etats-Unis  
 CAN : Canada  
 PACO : reste Pacifique OCDE  
 GER : Allemagne  
 RECN : reste Union Européenne du Nord  
 JPN : Japon  
 UK : Royaume-Uni  
 ITA : Italie  
 FRA : France

### **Catégorie 2 : respect des objectifs fixés dans le Protocole de Kyoto (pays Annexe B), stabilisation des émissions en 2015 (pays non-Annexe B)**

CEU4 : 4 pays d'Europe Centrale (Hongrie, Pologne, République Tchèque, Slovaquie) (Annexe B)  
 RECS : reste Union Européenne du Sud (Annexe B)  
 KOR : Corée du Sud (non-Annexe B)

### **Catégorie 3 : respect des objectifs fixés dans le Protocole de Kyoto (pays Annexe B), stabilisation des émissions en 2030 (pays non-Annexe B)**

MIEA : Moyen-Orient  
 FSUN : ex URSS  
 RCEU : reste Europe Centrale (non Annexe B)  
 MEX : Mexique  
 CHN : Chine  
 OWEU : autres pays d'Europe de l'Ouest  
 RCAM : reste Amérique Centrale  
 BRA : Brésil  
 RSAM : reste Amérique du Sud  
 NOAF : Afrique du Nord  
 RSEA : reste Asie du Sud-Est

### **Catégorie 4 : stabilisation des émissions en 2045**

SSAF : Afrique Sub-Saharienne  
 RSAS : reste Asie du Sud  
 NDE : Inde

## Références bibliographiques :

**Agarwal A. (1998).** « Attribution des quotas : équité ou loi du plus fort ? », *Courrier de la Planète / Global Chance*, mars-avril, pp. 31-32.

**Agarwal A. et Narain S. (1991).** *Global warming in an unequal world*, New Delhi : Centre for Science and Environment.

**Agarwal A. et Narain S. (1998).** *The atmospheric rights of all people on earth*, New Delhi : Centre for Science and Environment.

**Audard C. (1996).** « Utilitarisme », in : M. Canto-Sperber (ed.), *Dictionnaire d'éthique et de philosophie morale*, Paris : Presses Universitaires de France.

**Bentham J. (1789).** *An introduction to the principles of morals and legislation*, Oxford : Blackwell, 1948.

**Blanchard O., Criqui P., Trommetter M., Viguié L. (1998).** *Différenciation, équité internationale et efficacité dans la lutte contre le changement climatique global*, Communication aux Journées AFSE 1998 sur l'Economie de l'environnement et des ressources naturelles, Toulouse, 11-12 mai 1998, 33 p. (Grenoble : IEPE, Cahier de recherche de l'IEPE n° 14).

**Blanchard O., Criqui P., (2000).** « La valeur du carbone : un concept générique pour les politiques internationales et nationales de réduction des émissions », *Energie Internationale*.

**Claussen E., McNeilly L. (1998).** *The complex elements of global fairness*, Pew Center on Global Climate Change, Washington DC, October 29, 36 p.

**Criqui P. et al. (1996).** *POLES 2.2.*, JOULE II Programme, European Commission DG XVII – Science Research Development, Bruxelles, December, 99 p.

**Criqui P., Kouvaritakis N. (1997).** *Les coûts pour le secteur énergétique de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> : une évaluation internationale avec le modèle POLES<sub>2</sub>*, Grenoble : IEPE, 20 p, Cahier de Recherche n° 13.

**Criqui P., Mima S., Viguié L. (1999).** « Marginal abatement costs of CO<sub>2</sub> emission reductions, geographical flexibility and concrete ceilings : an assessment using the POLES model », *Energy Policy*, October 27, pp. 585-601.

**Criqui P., Viguié L., (à paraître).** « Régulation des marchés de droits d'émission négociables pour le CO<sub>2</sub> : une proposition de plafonds pour les quantités et pour les prix ».

**Dupuy J. P. (1992).** *Libéralisme et justice sociale*, Paris : Hachette Littérature.

**Energy Journal, special issue (1999).** *The costs of the Kyoto Protocol : a multi-model evaluation*

**Fishkin J. (1986).** « Theories of justice and international relations : the limits of liberal theory », in : A. Ellis, *Ethics and international relations*, Manchester : Manchester University Press.

**Framework Convention on Climate Change (FCCC), Ad Hoc Group on the Berlin Mandate (1996).** *Strengthening the commitments in article 4.2 (A) and (B) : quantified emissions limitation and reduction objectives within specified time-frames : review of possible indicators to define criteria for differentiation among Annex I Parties*, Note by the Secretariat, FCCC/AGBM/1996/7, 21 June.

**Gauthier D. (1986).** *Morals by agreement*, Oxford : Oxford University Press.

**Global Commons Institute (GCI) (1996).** *Draft proposals for a climate change protocol based on contraction and convergence, a contribution to Framework convention on climate change*, Ad Hoc Group on the Berlin Mandate (AGBM/1.9.96/14) , 6<sup>th</sup> september.

**Godard O. (1997).** « De Rio à Kyoto : pourquoi la convention sur le climat devrait intéresser ceux qui ne s'intéressent pas au climat », *Futuribles*, n° 224, pp. 31-68.

**Grubb M., Edmonds J., ten Brink P., Morrison M. (1993).** « The costs of limiting fossil-fuel CO<sub>2</sub> emissions, a survey and analysis », *Annual Review of Energy and Environment*, vol. 18, pp. 397-478.

**Gupta S., Bhandari P.M. (1999).** « An effective allocation criterion for CO<sub>2</sub> emissions », *Energy Policy*, n° 27, pp. 727-736.

**IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1996).** *Climate Change 1995 - Economic and social dimensions of climate change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.

**Locke J. (1690).** *Traité du gouvernement civil*, Paris : Flammarion, 1992.

**Marx K. (1875).** « Gloses marginales au programme du Parti ouvrier Allemand », in : K. Marx et F. Engels, eds, *Critique des programmes de Gotha et d'Erfurt*, Paris : Editions Sociales, 1996.

**Müller B. (1998).** *Justice in global warming negotiations : how to obtain a procedurally fair compromise*, Oxford Institute for Energy Studies, december, 83 p. (EV26).

**Nozick R. (1996).** *Anarchy, state, utopia*, Oxford : Blackwell.

**Pigou A. C. (1932).** *The economics of welfare*, London : Macmillan, 4<sup>e</sup> éd.

**Rawls J. (1971).** *A theory of justice*, Cambridge : Harvard University Press.

**Rawls J. (1996).** *Le droit des gens*, Paris : Editions Esprit.

**Reiner D.M., Jacoby H.D. (1997).** *Annex I differentiation proposals : implications for welfare, equity and policy*, Cambridge : MIT joint programme on the science and policy of global change, Report 27.

**Sen A. (1993).** *Ethique et économie*, Paris : PUF.

**United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (1992).** New York, May 9.

**United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (1997).** *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.*

**Van Parijs P. (1991).** *Qu'est-ce qu'une société juste ?*, Paris : Seuil.

**Van Parijs P. (1998).** « Inégalité, justice et protection sociales », *Problèmes économiques*, n° 2.565-2.566, pp. 88-89.

**Viguié L. (1999).** *L'environnement en économie communiste et post-communiste : de la crise systémique à l'agenda global*, thèse de Doctorat, Université Pierre Mendès-France, Grenoble.