Document generated on 10/12/2024 12:33 a.m.

[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement

Allocation initiale et marché des permis négociables d'émission de gaz à effet de serre
Quelle équité pour favoriser l'acceptabilité ?

Élodie Brahic and Jean-Michel Salles

Volume 10, Number 1, avril 2010

Ethique et Environnement à l'aube du 21ème siècle : la crise écologique implique-t-elle une nouvelle éthique environnementale ?

URI: https://id.erudit.org/iderudit/045393ar

See table of contents

Publisher(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (digital)

Explore this journal

Cite this article

Brahic, É. & Salles, J.-M. (2010). Allocation initiale et marché des permis négociables d'émission de gaz à effet de serre : quelle équité pour favoriser l'acceptabilité ? *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*, *10*(1), 0–0.

Article abstract

International negotiations on climate change were organized around the allocation of tradable greenhouse gas emission permits. This work is related to a hypothetic 2030 situation, assuming that all countries will be on that date in such a system of regulation. It simulates the quantitative issues that could be related to different criteria for initial allocation of permits distinguishing systems called « pure », based on a single criterion among a panel (population, GDP, according to responsibility, grandfathering, cost reduction) and « hybrids » systems combining several criteria under explicit rules. These simulations highlight the quantitative importance of issues related to these choices in terms of justice and try to discuss the consequences that can be expected for countries that remain free to accept or not these criteria in the negotiations.

Tous droits réservés © Université du Québec à Montréal et Éditions en environnement VertigO, 2010

This document is protected by copyright law. Use of the services of Érudit (including reproduction) is subject to its terms and conditions, which can be viewed online.

https://apropos.erudit.org/en/users/policy-on-use/

érudit

This article is disseminated and preserved by Érudit.

Érudit is a non-profit inter-university consortium of the Université de Montréal, Université Laval, and the Université du Québec à Montréal. Its mission is to promote and disseminate research.

https://www.erudit.org/en/

ALLOCATION INITIALE ET MARCHE DES PERMIS NEGOCIABLES D'EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE : quelle équité pour favoriser l'acceptabilité ?

Elodie Brahic[1] et Jean-Michel Salles[2], [1]Ingénieure de recherche contractuel, économie de l'environnement. CEMAGREF, UR ADBX 50 avenue de Verdun Gazinet - F33612 Cestas cedex, France et LAMETA UMR CNRS 5474 – Université Montpellier 1 – Espace Richter Avenue de la Mer – C.S 79606 – F34960 Montpellier Cedex 2, France, Courriel: elodie.brahic@cemagref.fr, [2]Chercheur en sciences économique. CNRS, UMR CNRS 5474 LAMETA – Campus SupAgro – bât. 26-2, place Viala – F34060 Montpellier Cedex 2, France. Courriel: jean-michel.salles@supagro.inra.fr

Résumé : Les négociations internationales sur le changement climatique se sont organisées autour de l'allocation de permis négociables d'émissions de gaz à effet de serre. Ce travail se situe à l'horizon 2030 en supposant que tous les pays seront à cette date entrés dans un tel système de régulation. Il simule les enjeux quantitatifs qui pourraient être liés à différents critères d'allocation initiale des permis en distinguant des systèmes dits « purs » qui reposent sur un seul critère parmi un panel (population, PIB, selon la responsabilité, grandfathering, coûts d'abattement) des systèmes « hybrides » qui en combinent plusieurs selon des règles explicites issues des débats et de la littérature. Ces simulations mettent en évidence l'importance quantitative des enjeux liés à ces choix en termes de justice et essaie de discuter les conséquences qui peuvent être attendues pour des pays qui restent libres d'accepter ou non que ces critères soient utilisés dans les négociations.
Mots-clefs : acceptabilité, allocation initiale, biens publics globaux, changement climatique, équité, justice, permis négociables d'émissions de gaz à effet de serre, stratégie d'atténuation

Abstract: International negotiations on climate change were organized around the allocation of tradable greenhouse gas emission permits. This work is related to a hypothetic 2030 situation, assuming that all countries will be on that date in such a system of regulation. It simulates the quantitative issues that could be related to different criteria for initial allocation of permits distinguishing systems called « pure », based on a single criterion among a panel (population, GDP, according to responsibility, grandfathering, cost reduction) and « hybrids » systems combining several criteria under explicit rules. These simulations highlight the quantitative importance of issues related to these choices in terms of justice and try to discuss the consequences that can be expected for countries that remain free to accept or not these criteria in the negotiations.
Keywords: acceptability, climate change, justice, fairness, global commons, initial allocation, mitigation strategy, tradable greenhouse gas emission permits

La Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (1992) affirme la nécessité de stabiliser les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (GES) à un niveau qui ne menacerait pas les climats ; ce qui implique d'en limiter drastiquement les émissions à un terme assez rapproché. Cette politique divise les pays industrialisés dont certains sont peu enclins à remettre en cause leurs modes de vie, et les oppose aux pays du Sud, soucieux de ne pas entraver leurs perspectives de développement. Le Protocole de Kyoto, en faisant peser tout l'effort de limitation des émissions sur les pays anciennement industrialisés a acté ce clivage Nord-Sud (Tsayem Demaze, 2009) qui a pesé lourdement sur la Conférence des parties de Copenhague en décembre 2009. La structure du problème posé par l'accroissement de l'effet de serre rend en effet la coopération internationale nécessaire : importance de la réduction des émissions à opérer pour stabiliser les climats, neutralité du lieu

d'émission par rapport aux effets, implication à des degrés divers de tous les pays, etc. Ces constats ont abouti à l'affirmation politique de l'existence d'une « responsabilité commune mais différenciée » de tous les États qui s'est traduit, dans le Protocole de Kyoto, par des objectifs différenciés de limitation de leurs émissions pour les 38 pays industrialisés de l'Annexe B. Les considérations d'équité et l'éclaircissement des critères sur lesquels elles reposent, sont ainsi devenus des éléments essentiels des négociations, d'autant plus déterminants qu'*a priori* justice et équité[1] favorisent les comportements coopératifs (Albin, 2003). Le récent rapport du Conseil d'Analyse Economique (Tirole, 2009) attire ainsi l'attention sur un certain impératif de « justice » envers des pays qui n'ont ni les moyens technico-économiques d'accepter des objectifs ambitieux de réduction, ni de responsabilité historique vis-à-vis des menaces sur le climat, l'importance, mais aussi au nécessaire « réalisme » des propositions vis-à-vis de multiples aspects, notamment liés à la structure des économies, qui peuvent s'opposer à l'acceptabilité des solutions envisagées.

Dans cet article, nous nous intéressons au système de permis d'émission négociables (PEN) initié à Kyoto qui devrait se développer pour les prochaines phases et, plus particulièrement, aux modalités d'allocation initiale de ces permis pour les phases ultérieures. Le système des PEN peut être décomposé en plusieurs étapes : il s'agit tout d'abord de fixer la quantité globale d'émissions de GES jugée acceptable (autrement dit, la quantité qui, émise dans l'atmosphère, ne perturbera pas le système climatique), cette quantité doit être répartie entre tous les pays concernés (ce système correspondant à l'allocation initiale) qui peuvent ensuite échanger les PEN en fonction de leurs objectifs. Ce marché doit, *a priori*, permettre d'atteindre une situation plus efficace, puisque les échanges conduisent théoriquement à l'égalisation des coûts marginaux de réduction des émissions de tous les pays et, donc, à la minimisation du coût total de réalisation de l'objectif de limitation des émissions.

Le problème posé par la distribution initiale des permis est d'allouer un bien rare, divisible et homogène[2]. La rareté de ce bien fait que chaque pays le convoite, les émissions de GES étant au cœur de l'activité économique. Dans un tel contexte, quel système d'allocation initiale des PEN doit être adopté pour les prochaines périodes d'application du protocole de Kyoto ? Quel est le système sur lequel les pays vont pouvoir s'accorder ?

> « Dans la négociation internationale sur l'effet de serre, toutes les parties s'accordent pour rechercher des solutions justes et équitables. Mais chacune a une vision particulière de ce que représente l'équité. C'est que les conditions politiques nécessaires à un raisonnement en termes de justice ne sont pas réunies à l'échelle internationale. La suspension du jugement sur le juste reflète l'absence d'épreuves bien constituées permettant d'arbitrer entre des prétentions contradictoires, ce qu'on appelle une justice. C'est dans ce contexte qu'une problématique de la justice se rabat sur une problématique de l'acceptabilité. […] Les différentes conceptions de solutions justes à promouvoir dépendent tout à la fois des situations empiriques et des ordres de justification qui les ordonnent » (Godard, 2004).

Notre objectif est d'examiner le potentiel d'acceptabilité de différents systèmes d'allocation initiale des PEN. L'acceptabilité d'un système passe par des arguments éthiques[3], politiques, économiques et socioculturels. Nous

[1] La distinction entre les termes justice et équité peut être précisée en considérant que la *justice* est un concept plutôt « macro » alors que l'*équité* est un concept « micro ». La *justice* se réfère aux normes générales pour allouer des avantages collectifs, des opportunités, des charges, parmi les membres d'une communauté ; ces normes existent *ex-ante* et indépendamment de toute situation qu'il s'agit de juger. L'*équité* se réfère à des notions individuelles sur ce qui est raisonnable dans certaines circonstances, souvent en référence à la manière dont un principe de justice considéré comme pertinent devrait être appliqué.

[2] Ces trois propriétés permettent de caractériser et, en fait, de simplifier la question de la justice. La rareté des permis d'émission est un artéfact dans la mesure où l'institution chargée de les allouer pourrait rendre le bien disponible pour tous en augmentant leur quantité. Mais la limitation des émissions est évidemment la raison d'être du dispositif. Les systèmes de permis se prêtent à la division, puisqu'il s'agit de les répartir entre plusieurs pays et de leur permettre d'adapter leurs droits à la marge. L'effet des GES étant directement global, les permis d'émission ne sont *a priori* pas distinguables.

[3] Le présupposé qui sous-tend généralement la réflexion sur la nécessité de prendre en compte l'équité dans les

jugeons ici de l'acceptabilité à l'aune de deux critères : un critère normatif, bâti sur une certaine conception de l'équité et un critère économique, fondé sur la répartition des coûts et *a fortiori* sur la répartition des efforts de réduction des émissions. Il s'agit, d'une part, d'examiner la justification éthique de chaque système d'allocation en mobilisant les théories économiques de la justice (Fleurbaey, 1996) et, d'autre part, d'estimer leurs conséquences économiques à travers la répartition des efforts induite par ces systèmes.

Cette étude porte sur un horizon post-Kyoto hypothétique (2030), suffisamment éloigné pour que la flexibilité soit réaliste, mais suffisamment proche pour que la simulation économique reste crédible. Elle fait l'hypothèse qu'à cette date, toutes les régions du monde auront des objectifs quantifiés. L'intégration des pays en développement est d'autant plus légitime que les prévisions concernant leurs futures émissions de GES font état d'une très forte croissance de ces émissions dans les prochaines décennies du fait du développement de ces pays. Il est donc nécessaire d'éclairer la réflexion sur les conditions d'extension d'engagements contraignants à ces pays.

L'originalité de cette étude est la confrontation des principaux systèmes d'allocation discutés lors des négociations climatiques et reposant sur un critère unique (ou caractéristique des pays), ces systèmes étant qualifiés de systèmes *purs* d'allocation, et de systèmes *hybrides* intégrant plusieurs critères[4]. Il s'agit alors, d'une part, d'analyser le potentiel d'acceptabilité de chaque système afin de conclure sur leur devenir dans le cadre des négociations internationales et, d'autre part, d'étudier le rôle du marché qui peut modifier la vision qu'ont les pays des systèmes d'allocation initiale et donc, de leur acceptabilité par la communauté internationale.

En effet, bien que nous nous intéressions au problème du choix d'un système d'allocation initiale des PEN, nous ne pouvons pas ignorer l'influence de la mise en place d'un marché des PEN. Dès lors qu'il est possible d'échanger les permis d'émission, l'allocation initiale de ces permis ne constitue pas une allocation finale, c'est-à-dire une contrainte non négociable, mais une allocation primaire qui peut être corrigée par différents échanges dont les résultats permettent d'aboutir à une allocation finale et engendrent des transferts monétaires des acheteurs de permis vers les vendeurs de permis. Aussi, nous comparons les répartitions des efforts de réduction des émissions avant et après les échanges de permis afin d'étudier leurs conséquences, le sens et le montant des transferts.

Dans un premier temps, nous formalisons différents systèmes d'allocation des PEN et mettons en avant leur justification éthique. Dans un deuxième temps, nous décrivons le modèle qui permet d'évaluer la répartition des efforts de réduction des émissions induite par les différents systèmes d'allocation à un horizon de 2030. Dans un troisième temps, nous présentons et discutons les résultats.

Formalisation et justification éthique des systèmes d'allocation initiale des PEN

Au regard des différents systèmes d'allocation évoqués au cours des négociations climatiques (Ringius et al., 2002), nous retenons quatre types de critères d'allocation : un critère démographique (la population), un critère économique (le PIB), un critère environnemental (les quantités d'émissions de GES) et un critère technique (le coût marginal de réduction des émissions). Nous présentons successivement les systèmes qui reposent sur un seul de ces critères (systèmes *purs*) et ceux qui intègrent plusieurs critères dans leur procédure d'allocation (systèmes *hybrides*).

Des systèmes purs d'allocation

L'allocation égalitariste : le critère de la population

L'égalitarisme, ou principe d'égalité des droits, fait référence à la Déclaration universelle des Droits de l'Homme selon laquelle tous les hommes sont égaux en droit. Par extension, les hommes auraient alors un droit égal à émettre des GES dans l'atmosphère, ce qui reviendrait à attribuer à tous les individus un droit égal à utiliser les ressources de l'atmosphère, autrement dit à

règles à adopter, est qu'une situation sera d'autant plus acceptable qu'elle sera jugée équitable.

[4] La dénomination « systèmes purs » et « systèmes hybrides » a été utilisée par le *Centre for International Climate and Environmental Research – Oslo* (CICERO), voir Ringius et al. (2000).

polluer ou à être protégé de la pollution de la même manière[5]. Conformément à ce principe, l'allocation initiale consiste à distribuer les permis au *prorata* de la population, c'est-à-dire à les distribuer de telle sorte que les émissions par tête s'égalisent (Agarwal et Narain, 1998, 1991 ; Bertram, 1992 ; Grubb, 1990). En pratique, ce système revient à déterminer le niveau global d'émission et à le diviser par le nombre d'êtres humains, le montant calculé correspondant à la quantité d'émission de GES attribuée à chaque individu. Ainsi faite, l'allocation est construite sur la base d'un droit égal de chaque personne à émettre une certaine quantité de GES. L'application de ce principe est toutefois approximative puisque les bénéficiaires des permis sont les États et non les individus, les modalités d'allocation à l'intérieur du territoire étant ensuite définies par chaque État. Ce critère considère implicitement que le monde est un pays unique abritant l'humanité, ce qui n'est évidemment pas le cas.

Si on note :

P : population mondiale
P_i : population du pays *i*
Q : quantité totale de permis allouée
Q_i : quantité de permis allouée au pays *i*
q : quantité de permis par habitant
La quantité de permis qui revient à chaque individu étant la même pour tous, elle correspond au rapport entre la quantité totale de permis et la population mondiale, soit :

$$q = \frac{Q}{P}.$$

Il s'agit ensuite de déterminer la quantité de permis revenant à chaque pays. L'allocation s'effectuant au *prorata* de la population, il suffit de multiplier la quantité *q* par la population du pays considéré, soit :

$$Qi = q * Pi$$

[5] Ceci ne se pose à l'échelle globale que parce que la dynamique des GES dans l'atmosphère rend chaque unité émise équivalente à n'importe quelle autre.

L'allocation rawlsienne : le critère du PIB par habitant

L'un des principes de la théorie rawlsienne de l'équité (Rawls, 1971) stipule qu'une société est d'autant plus juste qu'elle améliore la situation des moins favorisés. Conformément à ce principe, un système d'allocation est juste s'il vise à favoriser la position des plus défavorisés. Nous retenons pour cela comme critère d'allocation la capacité des différents États à supporter le coût de la limitation des émissions (Claussen et McNeilly, 1998) ; le principe étant que la charge la plus lourde incombe aux pays riches, classiquement caractérisés par un Produit intérieur brut (PIB) par habitant élevé. Bien que cette procédure d'allocation ne traduise pas de manière stricte la théorie rawlsienne de l'équité, elle peut être considérée comme une des traductions possibles. Aussi, dans la mesure où, dès le début des négociations, les États ont été regroupés en fonction de leur revenu afin de savoir qui devait supporter des objectifs de réduction des émissions, nous considérons que le revenu est une approximation acceptable de la capacité des États à payer.

Nous traduisons alors ce système d'allocation par un effort de réduction des émissions fonction croissante du PIB par habitant. On définit la fonction d'abattement de la manière suivante :

$$Ai = h * Ei^0 * \left(\frac{R_i}{R_{max}}\right)$$

Avec :
A_i : abattement qui incombe au pays *i*
h : coefficient exogène permettant de satisfaire la contrainte

$$\sum_i Qi = Q$$

R_i : PIB par habitant du pays *i*

R_{max} : PIB par habitant le plus élevé, autrement dit celui du pays le plus riche

E_i^0 : quantité de GES émise par le pays *i* en cas de laisser faire (émissions *baseline*)

L'abattement dépend positivement de la quantité de GES émise en cas de laisser faire, car nous faisons l'hypothèse qu'il existe une corrélation positive entre la richesse d'un pays et son niveau d'émission. Si un pays est riche aujourd'hui, c'est en partie grâce aux GES qu'il émet, ou qu'il a émis par le passé. Pour preuve, les pays industrialisés qui sont caractérisés par des niveaux d'émission importants.

La quantité de permis à allouer est ensuite déterminée par l'équation :

$$Qi = Ei^0 - Ai,$$

soit :

$$Q_i = E_i^0 * \left[1 - h * \frac{R_i}{R_{max}}\right].$$

L'allocation selon la responsabilité : le critère des émissions

Conformément au principe d'égalisation des ressources étendues (Dworkin, 1981a et b), tout individu est responsable de ses préférences, de sa conception de la vie bonne et de l'utilisation de ses ressources. On peut alors considérer que tout pays est responsable de la quantité de GES qu'il émet dans l'atmosphère, cette quantité lui permettant en partie de mettre en œuvre sa conception de la vie bonne. Par ailleurs, le principe de la responsabilité a pour ambition d'intégrer les effets externes dans l'économie en imputant la responsabilité de l'externalité à celui qui en est à l'origine (Pigou, 1920). Dans le cadre de l'allocation initiale des PEN, ces principes souscrivent à l'idée que les États devraient se voir attribuer une responsabilité proportionnelle au niveau de leurs émissions, source de pollution et donc, d'externalités. Cela revient alors à leur allouer une quantité de permis fonction décroissante de ce niveau. Pour caractériser le niveau de responsabilité, nous avons choisi comme niveau d'émission le niveau prévu en 2030 en situation de laisser faire (autrement dit, les émissions *baseline*), notre étude se situant à cet horizon. Ainsi, l'effort qui incombe à chacun dépend positivement du niveau d'émission par tête[6] prévu en 2030. On comprend que ce principe « d'égalisation des ressources étendues » s'applique à l'échelle des pays alors qu'on aurait pu croire qu'il s'applique à l'échelle du monde considéré comme un seul pays.

La définition de l'abattement relatif qui incombe au pays *i* s'écrit :

$$\frac{A_i}{E_i^0} = \frac{E_i^0 - Q_i}{E_i^0}$$

Étant donné que l'effort de réduction, identifié à l'abattement relatif, dépend des émissions par tête, on peut aussi l'interpréter de la manière suivante :

$$\frac{A_i}{E_i^0} = k * \frac{E_i^0}{P_i}$$

Avec :

Ei^0/Pi : niveau d'émission *baseline* par tête en 2030

k : coefficient exogène permettant de satisfaire la contrainte :

$$\sum_i Qi = Q$$

En égalisant les membres de droite des deux équations ci-dessus, il est alors possible de déterminer la fonction d'allocation des permis qui est telle que :

$$Qi = Ei^0 * \left[1 - k * \frac{E_i^0}{P_i}\right]$$

[6] Il est indispensable de lier le niveau total d'émission à la population du pays. En effet, si l'on choisit comme critère le niveau des émissions prévues en 2030, l'Allemagne et le Brésil devraient supporter la même charge de réduction relative. Or, la population brésilienne est trois fois plus importante que la population allemande, si bien que le niveau d'émission par habitant est beaucoup plus important en Allemagne. Il n'est donc pas légitime d'allouer une même charge (en terme relatif) à deux pays dont les niveaux d'émission par tête sont sensiblement différents (dans ce cas précis, les niveaux vont du simple au triple).

L'allocation grandfathering : le critère des émissions

L'allocation *grandfathering* trouve sa justification éthique dans la théorie libertarienne de Nozick (1974), le libertarisme s'inspirant principalement de la pensée libérale classique de Locke (1690)[7]. Dans une perspective libertarienne, les émissions existantes et/ou passées peuvent être assimilées à un droit acquis des États (l'air pur est considéré non comme une ressource commune mais comme susceptible d'appropriation par le premier venu). La Convention Climat a bien retenu ce principe en proposant une stabilisation des émissions de GES à leurs niveaux de 1990, ces émissions constituant alors des droits acquis. Le *grandfathering* préconise ainsi d'allouer les PEN au *prorata* de ces droits, le critère utilisé étant celui des taux historiques d'émission (droits « hérités » ou *grandfathering*). En pratique, cela conduit à réduire les émissions de façon proportionnelle à travers tous les pays ; ce qui revient à maintenir les niveaux d'émission relatifs entre eux.

Nous procédons ici à une allocation au *prorata* du niveau d'émission prévu (on précisera dans la section suivante sur quelles simulations seront fondées les prévisions, tableau 2.) en 2030. Connaissant l'objectif global d'émission et le niveau global d'émission *baseline*, nous pouvons déterminer le pourcentage global de réduction (R), ce pourcentage étant alors appliqué à chaque pays ou région[8] définis dans les simulations.

La fonction[9] d'allocation initiale des permis est alors formalisée de la manière suivante :

$$Qi = (1 - R) * Ei^0 .$$

[7] Locke place la liberté de l'individu au centre de tout système et défend principalement le libre exercice des droits de propriété de soi, de son travail, des objets produits ou acquis de façon légitime.

[8] Le logiciel utilisé pour réaliser les simulations (cf. infra) distingue quelques « grands » pays et regroupe les autres en « régions » aux caractéristiques homogènes.

[9] Cette fonction a été développée par Rose et al. (1998).

L'allocation utilitariste : le critère des coûts marginaux de réduction des émissions

L'objectif utilitariste est de réaliser le plus grand bonheur pour le plus grand nombre (Bentham, 1781), autrement dit de maximiser la somme des utilités (étant entendues ici comme le bien-être procuré par le système d'allocation). Conformément à ce courant, un système d'allocation équitable devrait se baser sur les coûts marginaux de réduction des émissions. En effet, la solution juste en matière d'allocation des permis serait celle qui maximiserait la richesse économique mondiale, représentative du bien-être collectif. Or, l'égalisation des coûts marginaux de réduction des émissions permet d'atteindre ce résultat, le coût total de réduction des émissions étant minimal et par conséquent, la richesse à son maximum. Ainsi, une allocation des permis utilitariste est telle que les pays dont les coûts marginaux de réduction sont les plus bas accomplissent la plus grande partie des efforts de réduction.

Notons qu'une telle allocation est difficile à implémenter par manque d'information et, à court terme, elle enlève tout intérêt aux échanges de permis qui ne pourraient alors retrouver de pertinence que dans la perspective où les coûts marginaux de réduction des émissions divergeraient dans le temps. Toutefois, cette proposition a été faite par la Nouvelle-Zélande au cours des sessions du AGBM[10] (International Institute for Sustainable Development, 1996). Disposant des informations nécessaires pour simuler cette allocation, nous vérifions numériquement le peu d'intérêt que représente le marché dans un tel contexte.

Suivant cette allocation, la quantité de permis Q_i allouée au pays *i* est telle que : $Cm_i = Cm_j \ \forall$ (i, j), avec Cmi le coût marginal du pays *i*

Des systèmes hybrides d'allocation

L'approche CICERO I

Les propositions faites par le CICERO[11] (Ringius et al., 2001, 2000, 1998 ; Torvanger et Ringius, 2000 ; Torvanger et

[10] *Ad Hoc Group on the Berlin Mandate*

[11] *Centre for International Climate and Environmental Research – Oslo*

Godal, 1999) reposent sur l'hypothèse selon laquelle un pays dont les circonstances nationales sont identiques à la moyenne des pays sur lesquels pèsent la charge devrait réduire ses émissions au pourcentage fixé pour l'ensemble des pays.
Il s'agit alors d'intégrer quatre indicateurs : les émissions de CO_2 par habitant, le PIB, les émissions de CO_2 par unité de PIB et le PIB par habitant ; ces indicateurs représentent respectivement le principe égalitariste, la taille de l'économie, l'intensité énergétique et la capacité à payer. Chaque indicateur est pondéré en fonction de son importance relative par rapport aux autres.

Le CICERO modélise son approche sous la forme :

$$a_i = \frac{A_i}{E_i^0} = \alpha \left[w_B * \left(\frac{B_i}{B}\right) + w_C * \left(\frac{C_i}{C}\right) + w_D * \left(\frac{D_i}{D}\right) + w_F * \left(\frac{F_i}{F}\right) \right]$$

Avec :

a_i : abattement relatif qui incombe au pays *i* (pourcentage de réduction)
A_i : abattement qui incombe au pays *i* (quantité de réduction)
E_i^0 : quantité de GES émise par le pays *i* en 2030 en cas de laisser faire (émissions *baseline*)
B_i/B : rapport entre les émissions en équivalent de CO_2 par unité de PIB pour le pays *i* et la moyenne mondiale
C_i/C : rapport entre le PIB par habitant du pays *i* et la moyenne mondiale
D_i/D : rapport entre les émissions en équivalent de CO_2 par habitant du pays *i* et la moyenne mondiale
F_i/F : rapport entre le PIB du pays *i* et la moyenne mondiale
w_B, w_C, w_D et w_F : éléments de pondération des indicateurs, dont la somme vaut 1
α : paramètre exogène permettant d'atteindre le niveau global de réduction souhaité

La quantité de permis allouée au pays *i* est ensuite déterminée par :

$$Qi = Ei^0 - Ai,$$

soit :

$$Q_i = E_i^0 \left(1 - \alpha \left[w_B * \left(\frac{B_i}{B}\right) + w_C * \left(\frac{C_i}{C}\right) + w_D * \left(\frac{D_i}{D}\right) + w_F * \left(\frac{F_i}{F}\right) \right]\right)$$

La valeur du coefficient α dépend du système de pondération choisi pour les paramètres w_B, w_C, w_D et w_F. Les approches CICERO proposent quatre systèmes de pondération[12]. Dans cet article, nous étudions le système de pondération qui attribue le même poids à chaque indicateur (cas 1).

La méthode des scores préférés (Preference Score Method)

L'origine de cette méthode résulte du constat selon lequel il n'existe pas de définition universellement acceptée de la distribution équitable des permis d'émission. Chaque Partie peut en effet définir sa propre conception de la distribution équitable et, bien que ces propositions puissent être incompatibles, les possibilités de trouver une justification éthique sont assez étendues. Nous sommes alors confrontés à un problème distributif, d'autant plus qu'il existe plusieurs principes de justice légitimement applicables qui donnent des résultats potentiellement contradictoires. Dans un tel contexte, Müller (2001, 1998) propose d'appliquer la méthode des scores préférés, afin de trouver un compromis moralement acceptable entre les différentes propositions.

L'idée de base de cette méthode est que le compromis doit être réalisé grâce à la formation d'une moyenne arithmétique pondérée des propositions de base. La règle formulée à l'origine par de Borda[13] (1781) pour les élections de l'Académie Royale des Sciences, est au cœur même de cette procédure. La différence fondamentale avec la règle de Borda est que la méthode des scores préférés ne désigne pas un « vainqueur », mais utilise les scores totaux de chaque proposition pour déterminer leur poids respectif dans le système d'allocation. Par ailleurs, afin d'obtenir le score global, le « vote » d'un pays ou région est pondéré

[12] Cas 1. (wB, wC, wD, wF) = (0,25 ; 0,25 ; 0,25 ; 0,25) ; cas 2. (wB, wC, wD, wF) = (0,15 ; 0,15 ; 0,55 ; 0,15) ; cas 3. (wB, wC, wD, wF) = (0,55 ; 0,15 ; 0,15 ; 0,15) ; cas 4. (wB, wC, wD, wF) = (0,10 ; 0,70 ; 0,10 ; 0,10).
[13] Selon cette règle, tous les membres de l'électorat classent chaque candidat selon leur préférence morale en affectant à chacun une valeur numérique. La valeur zéro est attribuée au candidat le moins préféré et si plusieurs candidats sont indifféremment préférés, la somme des scores est partagée de façon égale entre eux.

par sa population[14] ; et pour chaque proposition de base, les scores obtenus sont additionnés et reflètent leur désirabilité sociale. Le poids accordé à chaque proposition de base dans le compromis correspond alors à la proportion des scores totaux de l'ensemble des propositions, les poids étant normalisés à un.

Cette solution étant déterminée par la désirabilité sociale de chaque proposition de base, le résultat attendu est que les pays ou régions considèrent cette solution comme étant suffisamment équitable pour être un compromis acceptable. Mais pour cela, il est impératif que les propositions de base se justifient sur une base éthique. Dans cet article, les propositions de base choisies sont les cinq systèmes *purs* d'allocation initiale formalisés précédemment (égalitarisme, système rawlsien, responsabilité, *grandfathering* et utilitarisme) et le système *hybride* prend la forme :

$$Q_{i\,pref-score} = \alpha * Q_{i\,égal.} + \beta * Q_{i\,rawls} + \gamma * Q_{i\,resp.} + \delta * Q_{i\,grandf.} + \lambda * Q_{i\,utilit.}$$

Avec Q_i la quantité de permis allouée au pays *i* selon le système indiqué en indice.

Une remarque doit être faite concernant la pondération des scores par la population. La méthode des scores préférés préconise en effet, de pondérer les scores par la population. Or, conformément à l'article 22.1 du Protocole de Kyoto, *« chaque Partie dispose d'une voix, sous réserve des dispositions du paragraphe 2 ci-après »* : *« Dans les domaines de leur compétence, les organisations régionales d'intégration économique disposent, pour exercer leur droit de vote, d'un nombre de voix égal au nombre de leurs États membres qui sont Parties au présent Protocole. Ces organisations n'exercent pas leur droit de vote si l'un quelconque de leurs États membres exerce le sien et inversement »* (article 22.2 du Protocole). Ainsi, pour rester fidèle au processus de négociations, nous considérons ici que le vote de chaque pays ou région compte pour une voix.

[14] La pondération par la population est motivée par des considérations éthiques qui sont indépendantes de l'équité de l'allocation des permis (Müller, 1998, pp. 76).

Évaluation des coûts de réduction des émissions

Comme le notait P. Criqui (2003) : *« la majorité des travaux économiques menés sur les politiques climatiques prennent les objectifs d'émission comme une donnée extérieure découlant d'une décision politique fondée sur les conclusions des sciences de l'environnement »*. Cet article adopte cette approche dite coût efficacité[15]. Deux méthodes distinctes d'évaluation des coûts peuvent être utilisées (Criqui et Kouvaritakis, 1997) : l'approche *bottom-up* et l'approche *top-down*. La première identifie les technologies disponibles et leurs potentiels de développement afin de recomposer les systèmes énergétiques possibles ; elle permet de construire des courbes de potentiel de réduction pour différents niveaux de coût marginal. La seconde s'appuie sur les modèles macro-économiques, le plus souvent d'équilibre général calculable, avec dans certains cas une représentation détaillée du secteur énergétique et, dans une perspective d'économie du bien-être, analyse pour l'ensemble de la société les pertes ou les gains de toute action entreprise. Dans cet article, l'évaluation des coûts s'effectue à l'aide du modèle POLES (*Prospective Outlook on Long-term Energy Systems*) qui adopte une démarche intermédiaire puisque les prix jouent un rôle majeur dans l'ajustement de la plupart des variables du modèle (approche *top-down*), et qu'il s'appuie sur une représentation détaillée des options technologiques (approche *bottom-up*).

Plus précisément, POLES est un modèle mondial du système énergétique dont l'ambition est de :

> « décrire les variables structurantes des systèmes énergétiques nationaux, en dynamique et dans leurs interactions internationales. L'objectif est alors de produire des images cohérentes du système énergétique mondial à long terme (2030), avec un niveau de détail offrant une bonne lisibilité des évolutions technologiques et sectorielles, permettant ainsi d'informer la prise de décision dans le système

[15] Si l'analyse coûts-avantages permet de définir un optimum de pollution pour lequel le coût marginal de la réduction est égal au coût marginal du dommage, l'approche coût-efficacité ne vise qu'une Pareto-amélioration en optimisant le coût de réalisation d'un objectif donné.

énergétique et en matière de R&D » (Criqui et Kouvaritakis, 1997).

C'est un modèle de simulation du système énergétique mondial dans lequel les évolutions démographiques et économiques, pour chacun des grands pays ou régions du monde, sont considérées comme exogènes, et les évolutions des variables qui caractérisent la consommation, la transformation, la production et les prix de l'énergie sont endogènes au modèle. En outre, c'est un modèle de simulation récursive puisque 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.

La version du modèle POLES que nous utilisons ici (Criqui, 2001) distingue 38 régions[16] et fournit les prévisions à 2030[17] de l'énergie mondiale, détaillée avec la demande, l'offre et les projections des prix par régions. Par ailleurs, il permet une analyse des impacts des contraintes d'environnement global, exprimées dans les accords internationaux sur la limitation des GES, avec un calcul des coûts marginaux de réduction par pays et par secteur, et une utilisation du logiciel spécialisé ASPEN (Analyse des systèmes de permis d'émission négociables) pour la simulation des marchés de droits d'émission.

L'intérêt du modèle POLES est que son niveau de détail permet de comparer d'une manière cohérente les coûts marginaux de réduction des émissions et les potentiels associés – en termes de tonne de carbone – pour les différents secteurs ou services énergétiques, dans les différents pays ou régions identifiés. Il permet ainsi de mettre en relief certaines des données structurelles qui sont déterminantes dans la formation des coûts des stratégies de réduction. De même, le cumul des coûts marginaux croissants permet de calculer le coût total d'un programme de réduction pour un pays donné, ce qui permet d'aborder, toujours dans une perspective sectorielle, la question des charges imposées aux différentes parties lors des négociations. Aussi, ramené au PIB, le coût total d'un programme de réduction permet de mesurer un « taux d'effort » qui est un des éléments à prendre en compte lorsqu'il s'agit d'étudier les systèmes d'allocation et leur acceptabilité par les différents pays ou régions. Enfin, le modèle POLES est à l'origine du logiciel ASPEN qui permet le traitement des courbes nationales ou sectorielles de coûts marginaux, selon une logique micro-économique simple mais rigoureuse, et qui permet de calculer le coût marginal de réduction à l'objectif, les échanges de permis en volume et en valeur pour différentes configurations de marché, le coût total pour chaque partie ou entité, avec ou sans échange de permis, le taux d'effort (rapport du coût total au PIB) de chaque pays.

Dans le cadre d'un marché des PEN, chaque acteur (pays, régions, entreprises) a un objectif quantitatif d'émission. Mais les différents acteurs n'ayant pas les mêmes courbes de coûts marginaux, certains ont intérêt à réduire leurs émissions en deçà de leur allocation initiale et à vendre une partie de leurs permis d'émission à d'autres pays confrontés à des coûts de limitation plus élevés. Ainsi, en échangeant des permis, les acteurs satisfont de manière collective à l'objectif global d'émission. Si le marché fonctionne parfaitement, on aboutit à une égalisation des coûts marginaux d'abattement de tous les participants au marché et, ainsi, à la minimisation du coût total de réalisation de l'objectif global, tous les participants, vendeurs ou acheteurs, obtenant des gains à l'échange.

[16] Les pays les plus grands (ceux du G7 et cinq grandes économies en développement : Chine, Inde, Corée, Brésil et Mexique) sont traités par des modèles détaillés.

[17] L'horizon a été volontairement limité à une vingtaine d'années pour que le modèle conserve des technologies « explicites » et non « génériques ». Cette période de temps est compatible avec le délai entre la première émergence d'une nouvelle technologie et sa diffusion massive. Ainsi, les technologies qui pourront avoir un impact quantitatif significatif en 2030 sont très majoritairement identifiées aujourd'hui.

Tableau 1. Données issues du modèles POLES et utilisées, relatives aux différents pays et régions

Régions	Population en 2030 (en million)	PIB en 2030 (en milliard $)	Émissions en 2030 (en million tC)[1]	Émissions en 1990 (en million tC)
USA	327	15669	2102	1329
Canada	37	1436	200	115
Amérique latine	717	8963	747	255
France	62	2551	139	103
Allemagne	79	3126	247	267
Italie	50	1838	119	107
Grande-Bretagne	60	2199	185	160
Reste UE Nord	58	2468	209	144
Reste UE Sud	54	1813	153	89
Autres pays Europe Ouest	106	2129	175	62
Afrique Moyen-Orient	1755	6866	1322	350
Europe centrale Ex-URSS	422	4557	1289	1276
Inde	1373	8195	971	165
Reste Asie Sud	577	1736	171	27
Corée	52	1862	266	65
Reste Asie Sud-est	777	7378	977	193
Chine	1498	18486	2752	650
Japon	118	4661	320	291
Australie Nouvelle-Zélande	41	1246	159	82

On pourra, d'ailleurs, quantifier l'attrait du marché par rapport à une situation non négociable. Toutefois, cette étude demeure assez « théorique » car, comme le notent Blanchard et al. (2000), les calculs de POLES supposent que *« tous les potentiels de réduction dans les pays en développement peuvent être réalisés et 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 planché et, inversement, le volume des transactions comme un volume maximum »*. Dans le monde réel, on sait que de multiples raisons, notamment les problèmes informationnels (chaque pays ne connaît ses besoins futurs qu'avec une marge d'incertitude qui peut être importante), peuvent concourir à limiter l'efficacité des échanges, mais les tendances identifiées restent *a priori* pertinentes.

Ces données ne sont que des simulations visant à fournir des éléments quantitatifs éclairant la réflexion sur les enjeux et conséquences de chaque système d'allocation. Elles ne peuvent être considérées comme une représentation totalement réaliste des situations concrètes

futures, à la fois, car les données sont nécessairement imprécises, mais aussi car les « régions » regroupent des pays qui pourraient ne pas s'accorder simplement sur une ré-allocation au sein de chaque groupe.

À partir des données ci-dessus, on obtient des systèmes d'allocation initiale paramétrés comme suit :

Allocation égalitariste :

$$Qi = 1.18 * Pi$$

Allocation rawlsienne :

$$Q_i = E_i^0 * \left[1 - 0{,}523 * \frac{R_i}{R_{\max}}\right]$$

Allocation selon la responsabilité :

$$Qi = Ei^0 * \left[1 - 0{,}0831 * \frac{E_i^0}{P_i}\right]$$

Allocation *grandfathering* :

$$Qi = 0.7725 * Ei^0$$

Allocation utilitariste : Q_i telle que $Cm_i = Cm_j = 143$, • ∀ (i, j)

Allocation du CICERO :

$$Q_i = E_i^0 \left(1 - 0.1108 \left[0.25 * \left(\frac{B_i}{B}\right) + 0.25 * \left(\frac{C_i}{C}\right) + 0.25 * \left(\frac{D_i}{D}\right) + 0.25 * \left(\frac{F_i}{F}\right)\right]\right)$$

Allocation de la méthode des scores préférés[18] :

$$Q_{i\,pref-score} = 0{,}11 * Q_{égal} + 0{,}2 * Q_{rawls} + 0{,}25 * Q_{resp} + 0{,}18 * Q_{grandf} + 0{,}26 * Q_{utilit}$$

À partir des contraintes de réduction induites par chaque système d'allocation, le logiciel ASPEN permet de déterminer les efforts de réduction de chaque région ainsi que les résultats consécutifs au marché.

Résultats des simulations et discussion

La simulation sous le logiciel ASPEN des différents systèmes d'allocation des PEN permet d'analyser leur potentiel d'acceptabilité au vu de la répartition des efforts qu'ils génèrent. Les simulations portent sur 19 régions (tableau 1) et la contrainte globale d'émission choisie est celle préconisée dans le scénario « *Soft-Landing 2030* »[19], scénario développé par l'équipe de l'IEPE[20] dans le cadre du projet ARES[21] (Analyse des stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre, 2002).

Pour chaque système d'allocation initiale, nous disposons de la répartition des contraintes de réduction, des coûts de réduction et des efforts de réduction (coût total de réduction rapporté au PIB).

Afin d'obtenir une image globale des résultats, nous effectuons une Analyse factorielle des correspondances (AFC) (Benzécri, 1982) à partir du tableau de contingence ci-dessous[22] :

[18] Le classement des propositions est effectué en fonction du taux d'effort qu'elles impliquent pour chaque région. Chaque proposition est ensuite affectée d'un score par chaque région (la proposition qui engendre le taux d'effort le plus élevé est affectée du score 0). Pour chaque proposition, la sommation des scores qu'elle a obtenus permet de calculer son poids dans le système d'allocation.

[19] Le scénario *Soft-Landing 2030* recherche la stabilisation des émissions globales à l'horizon 2030, tout en poursuivant la diminution des émissions des pays de l'Annexe B (pays qui ont des obligations de réduction ou de limitation de leurs émissions de GES) dans un système de type « Kyoto étendu » (qui incorpore une certaine dose de *grandfathering*) et le freinage progressif de la croissance des émissions dans les pays en développement.

[20] Institut d'Économie et de Politique de l'Énergie.

[21] L'objectif du projet ARES était de *« fournir un ensemble d'évaluations cohérentes des coûts bruts sectoriels et des coûts nets macroéconomiques de divers objectifs d'abattement des émissions pour différentes régions du monde »* (Hourcade et Ghersi, 2002).

[22] Une présentation détaillée des résultats des simulations est fournie dans Brahic (2006).

Tableau 2. Tableau de contingence : richesse de chaque région *ex-post*

Régions \ Systèmes d'allocation	1	…	j	…	m
1 i n			y_{ij}		

y_{ij} représente la part du PIB de la région *i* restante après application de la contrainte de réduction des émissions, lorsque c'est le système d'allocation initiale *j* qui est mis en place.

Conformément au tableau 2 ci-dessus, nous formulons l'hypothèse selon laquelle plus la part du PIB restante sera importante (autrement dit, plus l'effort réalisé sera faible), plus le pays acceptera la mise en place du système d'allocation initiale qui y est attaché :

$$\begin{cases} \textit{Plus } y_{ij} \textit{ est élevée, plus la région } i \textit{ va accepter le système } j \\ \textit{Plus } y_{ij} \textit{ est faible, moins la région } i \textit{ va accepter le système } j \end{cases}$$

Graphiquement, cette hypothèse se traduit par la distance qui sépare la région *i* et le système *j* : plus ces deux éléments seront éloignés, moins la région sera susceptible d'accepter le système considéré, car plus contraignant. Ainsi, les graphiques permettent d'analyser le potentiel d'acceptabilité des systèmes d'allocation par les régions. Nous étudions dans un premier temps les différents systèmes *purs* d'allocation puis, nous intégrons dans l'analyse les systèmes *hybrides*.

Analyse des systèmes purs d'allocation initiale

D'après les contributions absolues (Figure 1), l'axe 1 (horizontal) reflète le degré d'égalitarisme présent dans les différents systèmes d'allocation et l'axe 2 (vertical) représente le caractère rawlsien des systèmes. L'observation de la position des systèmes d'allocation par rapport aux deux axes montre que chaque système favorise un type particulier de régions.

Comme on pouvait s'y attendre, le système d'allocation égalitariste favorise les pays en développement ; et on constate qu'il est éloigné des autres systèmes sur l'axe 1. Ce graphique met donc en évidence les difficultés qui pourraient surgir dans la mise en œuvre d'un système d'allocation égalitariste, car les coûts qu'il imposerait à certains acteurs des négociations apparaissent très élevés et l'on peut alors douter que ce type de solution leur paraisse acceptable. L'axe 2 permet ensuite d'identifier deux autres groupes de systèmes.

D'un côté, les systèmes d'allocation *grandfathering* et utilitariste qui favorisent des régions industrialisées. Ceci s'explique par le fait que les pays industrialisés sont majoritairement ceux dont les émissions sont les plus importantes (avantages accordés par un système *grandfathering* : les États-Unis sont les principaux émetteurs de GES et la région Australie – Nouvelle-Zélande fait partie des régions où les émissions par habitant sont les plus importantes) ; et sont en même temps ceux dont les coûts marginaux de réduction des émissions sont élevés (avantages accordés par un système utilitariste : au sein de l'Union Européenne, la production d'électricité nucléaire contribue à la diminution des émissions de GES (France, Suède) ; le Japon et la Corée utilisent également de manière conséquente l'énergie nucléaire, d'où leur efficacité énergétique).

D'un autre côté, le système d'allocation rawlsien et celui de la responsabilité qui favorisent plutôt des régions en transition vers une économie de marché, caractérisées par un faible PIB par habitant (avantages accordés par un système rawlsien : l'Europe centrale – Ex-URSS et Chine) et une faible part des émissions mondiales (avantages accordés par un système de responsabilité : l'Asie du Sud-est et l'Europe de l'ouest).

La légitimité accordée aux différents systèmes *purs* d'allocation des PEN à travers des arguments éthiques pourrait justifier leur mise en place. Or, cette première analyse révèle la difficulté qu'il y a de trouver un consensus sur le système à adopter : chaque système favorise un type de régions et chaque région est tentée de promouvoir le critère de différentiation qui satisfait ses propres intérêts. Ainsi, l'allocation égalitariste a un fort potentiel d'acceptabilité par les pays en développement, l'allocation utilitariste et le *grandfathering* ont un fort potentiel d'acceptabilité par les pays industrialisés, l'allocation selon la responsabilité et l'allocation rawlsienne ont un fort potentiel d'acceptabilité par les pays en transition vers une économie de marché.

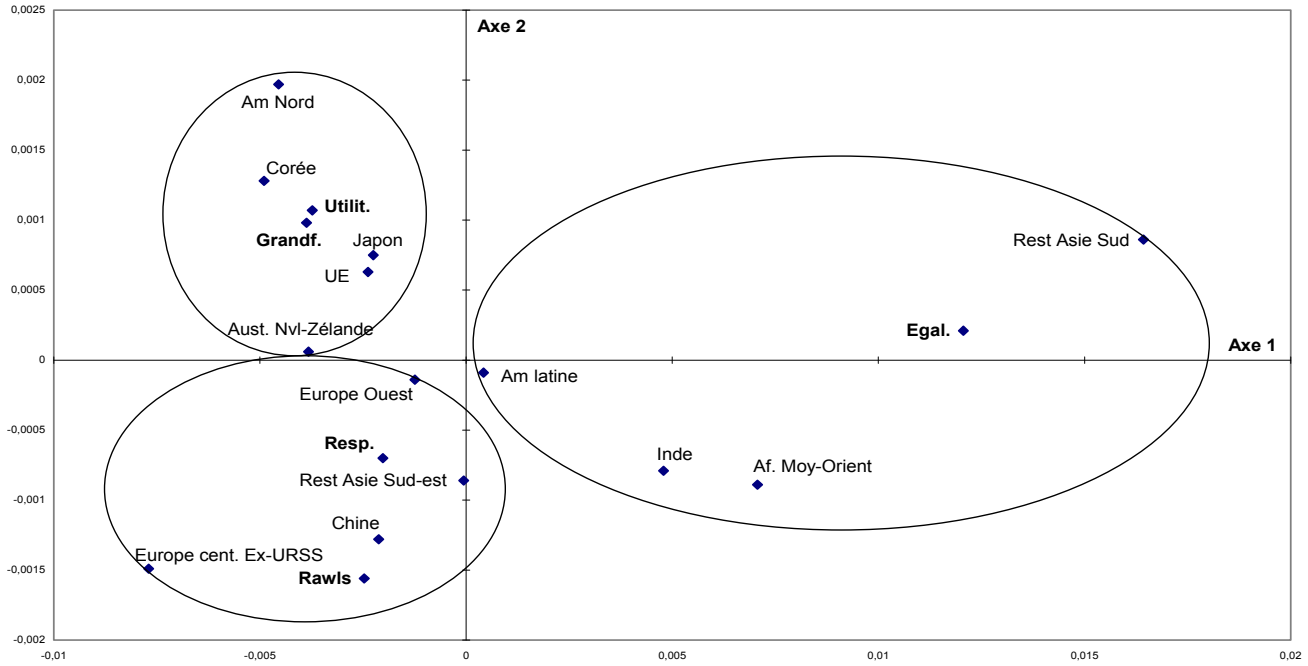

Figure 1. Analyse factorielle des correspondances pour les systèmes *purs* d'allocation

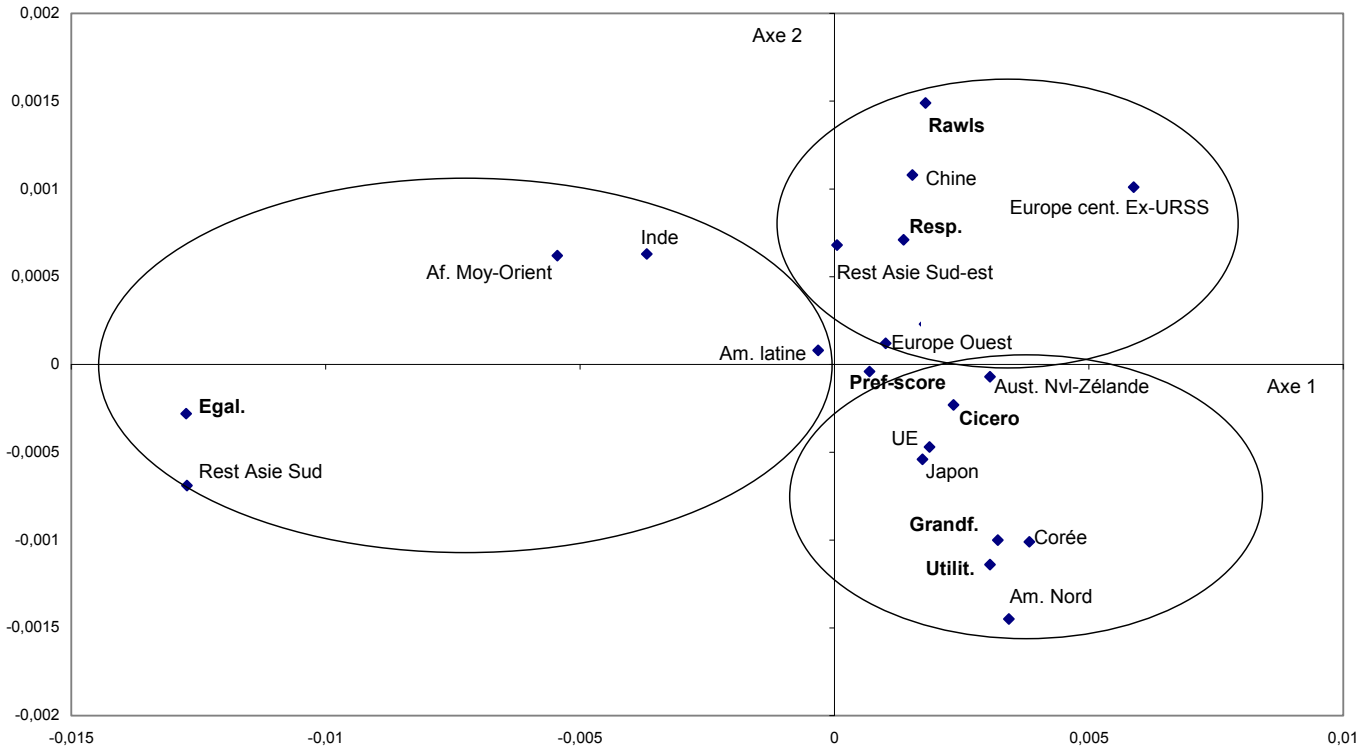

Figure 2. Analyse factorielle des correspondances pour les systèmes d'allocation *purs* et *hybrides*

Dans un contexte international où les pays ont des caractéristiques très différentes, aucun des critères n'est satisfaisant à lui tout seul. Il faut donc s'attacher à élaborer une formule d'allocation qui combine les différentes exigences d'équité afin que certaines spécificités nationales ne soient pas exclues du calcul, réduisant ainsi les situations extrêmes qui pourraient apparaître suite à l'allocation (pays très favorisés ou pays très lésés par rapport à d'autres). Pour être acceptée par la majorité des Parties et prétendre à une certaine équité, cette formule doit intégrer tous les critères d'équité qui semblent légitimes dans le cadre des négociations climatiques. Nous avons vu que les quatre critères présentés (la population, le PIB, les émissions de GES et le coût marginal de réduction des émissions) sont tous légitimes du point de vue de l'équité, ce qui suggère que ces quatre critères soient inclus dans cette formule. L'exclusion d'un de ces critères pourrait en effet faire perdre à la formule une partie de sa légitimité.

Dans cette perspective, il s'agit à présent de comparer les systèmes *purs* d'allocation avec les deux formules *hybrides* présentées précédemment et qui intègrent ces critères, à savoir l'approche CICERO et la méthode des scores préférés.

Comparaison systèmes purs - systèmes hybrides

Lorsqu'on observe la position des différents systèmes d'allocation (figure 2), on constate que, contrairement aux systèmes *purs*, les systèmes *hybrides* se trouvent au centre du graphique et donc, à une distance plus ou moins équivalente de l'ensemble des régions. Le potentiel d'acceptabilité d'un système étant assimilé à sa distance par rapport aux régions, on peut alors considérer que la majorité des régions percevront ces systèmes comme potentiellement acceptables au vu de la répartition des efforts qu'ils génèrent. D'ailleurs, les simulations numériques révèlent que ces systèmes permettent un certain « compromis » entre différents systèmes *purs* d'allocation car les taux d'effort enregistrés pour chaque région sont compris entre les taux d'effort les plus hauts et les taux d'effort les plus bas observés avec les systèmes *purs*[23]. Ils permettent ainsi de réduire les disparités en termes de répartition des efforts par rapport aux systèmes *purs*.

Au regard des taux d'effort (estimés par le logiciel ASPEN) générés par les différents systèmes d'allocation étudiés, il est possible de positionner chaque système d'allocation sur un axe en fonction des régions qu'ils avantagent et celles qu'ils pénalisent (figure 3).

La position centrale des systèmes *hybrides* véhicule bien cette idée de compromis par rapport aux systèmes *purs* en évitant autant que possible les situations extrêmes dans lesquelles se trouveraient certaines régions si c'était un système *pur* d'allocation qui était mis en place. L'hypothèse selon laquelle un système *hybride* aurait un plus fort potentiel d'acceptabilité par l'ensemble des régions est donc confirmée.

Après avoir examiné les conséquences en termes d'effort des différents systèmes d'allocation des PEN et analysé leur potentiel d'acceptabilité, nous nous intéressons maintenant au marché des PEN faisant suite à l'allocation initiale. Nous nous posons alors les questions suivantes : quelles sont les conséquences en termes d'effort de la mise en place d'un tel marché ? Quelles sont les régions qui ont le plus à y gagner ? Y a-t-il des régions qui y perdraient ?

Analyse du rôle du marché international des PEN

Les conséquences en termes d'effort

La comparaison des résultats en termes d'effort (obtenus avec le logiciel ASPEN) générés par les différents systèmes d'allocation initiale des PEN et ceux détenus après que le marché a joué son rôle de réallocation, permet d'énoncer plusieurs résultats.

[23] En règle générale, avec les systèmes d'allocation *hybrides*, les pays industrialisés sont moins contraints qu'avec certains systèmes *purs* et, en contrepartie, les pays en développement sont un peu plus contraints, et dans certains cas restent non contraints. Notons toutefois que les simulations numériques révèlent que le système d'allocation conforme à la méthode des scores préférés présente des taux d'effort plus élevés que le système proposé par le CICERO.

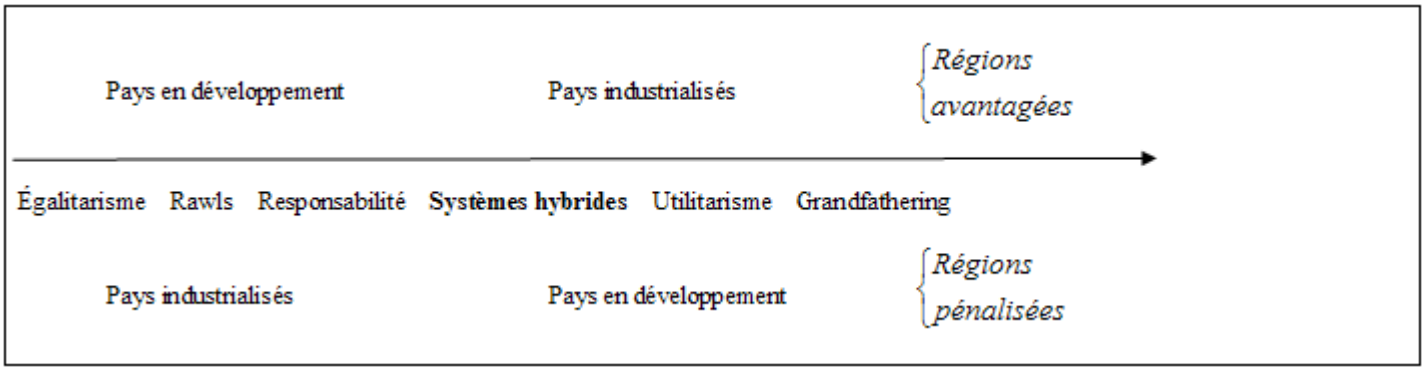

Figure 3. Positionnement des systèmes d'allocation et des régions.

Tout d'abord, l'instauration d'un marché ne rend pas plus attrayant un système d'allocation initiale qu'un autre en ce sens que si l'allocation initiale A1 impose un taux d'effort plus faible que l'allocation A2, cela restera vrai après les échanges. Par conséquent, on peut dire que la mise en place d'un marché n'a pas comme ambition de rendre un système d'allocation initiale plus attractif qu'un autre (si une allocation initiale est plus attractive qu'une autre avant l'instauration du marché, elle le restera après).

Par ailleurs, nos simulations numériques retrouvent le résultat selon lequel le marché réduit les contraintes imposées initialement. En effet, suite à l'allocation initiale, on constate que les taux d'effort sont compris entre 0 et 8 %, alors qu'ils ne varient plus que de - 5[24] à 2 % suite au marché.

Comme on pouvait s'y attendre, quelle que soit la région et le système d'allocation initiale utilisé, le marché permet de réduire les taux d'effort. Par construction, le marché permet d'améliorer l'efficacité économique (minimisation du coût global d'abattement). Cependant, les simulations numériques révèlent que les taux d'effort sont plus ou moins réduits selon le système d'allocation initiale. Le marché est très bénéfique lorsque les permis sont alloués au *prorata* de la population (allocation égalitariste) et il apparaît évidemment inutile lorsqu'ils sont déjà alloués en fonction des coûts marginaux de réduction des émissions (allocation utilitariste). Plus la situation de départ est proche d'une situation efficace et moins le marché est « utile », en ce sens qu'il permet une faible réduction des taux d'effort, les gains étant de ce fait moins importants. Dans un cadre statique, l'instauration d'un marché perd tout intérêt s'il fait suite à une allocation de type utilitariste puisque celle-ci correspond déjà à une situation efficace, toutes les régions ayant le même coût marginal d'abattement dès le début et n'ayant donc aucun intérêt à vendre ou à acheter des permis. La mise en place d'un marché prend, on le sait, tout son intérêt lorsque les régions ont, après l'allocation initiale, des coûts marginaux d'abattement différents. Ce constat assez trivial conduit donc à réfléchir à la relation entre l'allocation initiale et les échanges dans une perspective dynamique.

L'avenir des négociations climatiques semble devoir s'organiser en une série d'étapes, donnant lieu à une suite d'allocations initiales pour des périodes durant lesquelles les échanges permettront les ajustements utiles. Si ces allocations sont principalement influencées par des critères utilitaristes, l'intérêt des échanges sera très limité si leur période de validité est brève (cinq ans pour le protocole de Kyoto). Au contraire, si le système d'allocation donne plus de poids à des conceptions plus « exigeantes » de l'équité, comme l'égalitarisme, alors les échanges devraient être immédiatement beaucoup plus actifs.

Il est évidemment délicat d'imaginer le devenir à long terme de la régulation climatique. Même si, à partir d'une certaine date, l'allocation devenait définitive, les régions continueront d'évoluer, dans leurs comportements comme dans la structure de leurs économies, de telle sorte que leurs coûts marginaux d'abattement changeront, ainsi que leurs positions relatives, et l'existence du marché qui

[24] Un taux d'effort négatif signifie que la région reçoit plus de permis que son niveau d'émission *baseline*, elle n'a donc aucune contrainte de réduction et se trouve dans une position de vendeur de permis.

permettra de maintenir ou de retrouver des conditions d'efficacité, conserverait toute son importance.

Les gains aux échanges

Si le marché permet de réduire les efforts que doivent entreprendre les régions, cela signifie qu'il leur permet des gains monétaires (un moindre effort étant synonyme d'un moindre coût). L'analyse des résultats en termes de gains que retire chaque région suite à l'instauration du marché (simulés avec le logiciel ASPEN, en M$) confirme cette hypothèse.

L'intérêt du marché est ici perceptible et, comme on pouvait le prévoir, plus la situation initiale est éloignée d'une situation efficace, plus le marché procure des gains importants[25]. Ces gains traduisent donc en négatif la plus ou moins grande efficacité des allocations initiales. Par ailleurs, les résultats montrent que les USA sont les plus avantagés par l'instauration d'un marché, les contraintes pesant sur ce pays étant la plupart du temps les plus importantes[26].

Qui est potentiellement vendeur de permis ? Qui est potentiellement acheteur de permis ?

L'analyse des simulations (sous ASPEN) des marchés faisant suite aux différents systèmes d'allocation initiale de PEN montre un résultat assez fort selon lequel, quel que soit le système d'allocation initiale, une région conserve généralement le même statut : soit vendeur, soit acheteur de permis. Cette relative indépendance vis-à-vis du critère fondant l'équité peut s'interpréter par le fait que les niveaux d'émission, au-delà des indicateurs objectifs, s'expliquent par des considérations plus subjectives. Ils dépendraient de caractéristiques des pays que l'on pourrait qualifier de « culturelles ». Cette hypothèse est confortée par le constat selon lequel le système qui fait parfois exception est celui du *grandfathering* qui ne repose pas sur le rapprochement des émissions avec un indicateur objectif, comme la population ou le PIB, mais d'une tendance historique.
Ainsi, les régions qui seraient les principaux acheteurs sont, dans l'ordre croissant : les USA, l'Europe centrale et Ex-URSS, et le Japon. Les régions qui seraient majoritairement vendeurs de permis sont les pays en développement et les pays en transition vers une économie de marché, c'est-à-dire l'Afrique et le Moyen-orient, la Chine, l'Inde, et l'Asie du Sud. Les transferts monétaires allant des acheteurs vers les vendeurs de permis, ils s'effectuent donc des pays industrialisés vers les pays en développement.

Ce constat s'explique assez aisément par le décalage existant entre une allocation initiale qui reflète un critère d'équité, quel qu'il soit, et, au final, une répartition des permis d'émission traduisant une efficacité définie par l'égalisation des coûts marginaux de réduction des émissions. Ainsi, le constat selon lequel les pays en développement se voient assez systématiquement allouer plus de permis qu'ils n'en conserveront après les échanges, s'explique par le décalage des coûts de réduction, c'est-à-dire par le fait que limiter les émissions est moins onéreux dans un pays moins riche, sans doute caractérisé, même à l'horizon 2030, par un moindre coût du travail. Alors que la mise en place d'un marché de permis d'émission donne la même valeur à la limitation des émissions quel que soit son lieu de réalisation.

Conclusion

Cette étude n'aborde évidemment que certains aspects du débat sur les questions d'équité et d'acceptabilité dans les négociations sur la régulation climatique. Les perceptions de la justice sont multiples et la question de l'acceptabilité doit conduire à une réflexion sur la sécurité (Ambrosi et Hallegate, 2005) et, comme y invite B. Denis, la violence (Denis, à paraître). Dans cet article, nous avons limité notre investigation aux enjeux liés à l'allocation initiale de PEN qui constitue (voir par exemple Ghersi et al., 2003 ;

[25] Le marché permet des gains plus ou moins importants selon les allocations initiales. Dans nos simulations, les allocations qui aboutissent aux gains totaux les plus importants sont, dans l'ordre croissant : l'allocation utilitariste (aucun gain issu du marché, cette allocation initiale étant par conception efficace), le *grandfathering* (29 G$), l'approche CICERO (58 G$), l'allocation selon la responsabilité (198 G$), l'allocation selon la méthode des scores préférés (294 M$), l'allocation rawlsienne (297 G$), et l'allocation égalitariste (1 698 G$).

[26] À titre d'exemple, les USA reçoivent plus de 63 % du total des gains enregistrés suite à l'allocation proposée par le CICERO, et 58 % suite à l'allocation selon la responsabilité. La part la plus faible qu'ils reçoivent fait suite à l'allocation *grandfathering* (moins de 2 %).

Hourcade, 2003 ; Hourcade et al., 2002) un moment essentiel d'arbitrage pour l'équité internationale.

Il existe un large éventail de possibilités pour justifier l'allocation initiale les PEN et chacune peut être critiquée. On peut reprocher à certains critères d'allocation de mener à des résultats extrêmes pour plusieurs pays, de faire trop de place aux aspects d'efficacité et pas véritablement aux considérations de justice ou d'équité, de ne pas prendre en compte certaines caractéristiques des pays… Les différentes objections mettent aussi en évidence le fait que ce qui peut être considéré comme un avantage par un pays donné, sera considéré comme un inconvénient par un autre, ce qui limitera l'acceptabilité du critère retenu pour l'allocation.

Les systèmes d'allocation qualifiées de *purs*, basés sur un seul critère, semblent ainsi disqualifiés parce qu'ils donnent des résultats extrêmes qui susciteront des oppositions radicales. Les systèmes *hybrides* qui incluent plusieurs indicateurs, mènent en général à des résultats moins radicaux, ce qui pouvait être attendu, dans la mesure où les critères *hybrides* que nous avons étudiés sont des combinaisons convexes de plusieurs critères *purs*. Ainsi, les systèmes *hybrides* constituent de fait des formes de compromis entre les systèmes *purs* et aboutissent ainsi à des taux d'effort intermédiaires. Il ne faut pas nécessairement s'attendre à ce qu'un système *hybride* explicite, quelles que soient les précautions avec lesquelles les négociateurs pourraient le définir, devienne la base explicite sur laquelle s'accorderaient des pays hétérogènes. Si des consensus émergent (il y aura vraisemblablement de multiples périodes et la base de définition des efforts respectifs n'est évidemment pas la seule variable de négociation), ils résulteront sans doute d'un processus de négociation où l'opacité ou l'ambiguïté des critères est probablement un facteur de réussite[27].

La simulation des marchés de permis consécutifs aux différents systèmes d'allocation initiale retrouve la propriété fondamentale de permettre toujours de rétablir *ex-post* l'efficacité, c'est-à-dire l'égalisation des coûts marginaux de réduction des émissions. Les coûts des programmes de réduction des émissions vont évidemment être très sensibles à l'existence d'un marché, mais aussi à la taille de ce marché (Blanchard et al., 2000). En effet, la valeur du carbone qui correspond au prix d'un permis, va diminuer dès lors que le marché va s'élargir, notamment aux pays en développement pour lesquels les possibilités de réduction des émissions à coût marginal faible ou modéré sont nombreuses. Ainsi, la valeur internationale du carbone sera plus élevée si le marché n'intègre pas ces pays, et elle diminuera dès lors qu'ils en feront partie et que des pays dont les coûts marginaux sont élevés (comme l'Union Européenne) en seront exclus. Mais de façon générale, plus le marché sera étendu, plus le gain global sera important ; seule la répartition de ce gain entre les pays pourra évoluer en fonction des bulles considérées. Au final, le marché international des PEN tel que nous l'avons défini, à travers les transferts (de permis et d'argent) qu'il génère, bénéficie aux pays industrialisés qui voient leurs contraintes assouplies, et aux pays en développement qui reçoivent le produit de la vente ; ce produit pouvant être assimilé à une aide au développement (Dutschke et Michaelowa, 2006). On sait cependant que cette assimilation a été dénoncée à Copenhague (2009) par les pays émergents qui ont souhaité que ce mécanisme soit réservé aux pays les moins avancés. La mise en place d'un marché international des PEN apparaît donc bien comme un moyen qui a facilité l'acceptation d'un système de quotas contraignants par les pays les plus industrialisés et qui pourrait favoriser l'intégration des pays en développement dans le processus de lutte contre l'effet de serre.

[27] L'aboutissement des négociations internationales implique au moins deux étapes : la réalisation d'un accord entre les représentants des pays dans les groupes de négociation et la ratification des textes par les instances légales dans chaque pays. On ne peut écarter l'idée que l'ambiguïté des critères de choix offre à ces deux procédures de plus larges possibilités de converger.

Remerciements

Nous remercions nos collègues Valérie Clément et Daniel Serra, pour les discussions constructives pendant la réalisation de ce travail, et Patrick Criqui (DR CNRS, UMR LEPII, Université de Grenoble) pour nous avoir donné accès au logiciel ASPEN et pour ses conseils pour ce travail.

Bibliographie

Agarwal, A., S. Narain, 1991, *Global Warming in an Unequal World : A Case of Environmental Colonialism*, New Delhi : Centre for Science and Environment.

Agarwal, A., S. Narain, 1998, *The atmospheric rights of all people on earth*, Center for Science and Environment Statement.

Albin, C., 2003, Negotiating international cooperation : global public goods and fairness, *Review of International Studies*, 29, 3, pp. 365-385.

Ambrosi, P., S. Hallegatte, 2005, Changement climatique et enjeux de sécurité, *Document de travail 2006/03*, CIRED, Paris, 24 p.

Bentham, J., 1781, *An Introduction to the Principles of Morals and Legislation,* Ed. J.H. Burns and H.L.A. Hart, London : The Athlone Press, 1970, 248 p.

Benzécri, J.P., 1982, *L'analyse des données / leçons sur l'analyse factorielle et la reconnaissance des formes et travaux*, Dunod 1982.

Bertram, G., 1992, Tradable Emissions Permits and the Control of Greenhouse Gases, *The Journal of Development Studies*, 28, 3, pp. 423-446.

Blanchard, O., P. Criqui, 2000, La valeur du carbone : un concept générique pour les politiques de réduction des émissions, *Économie Internationale*, la Revue du CEPII, 82, 2nd trimestre 2000, pp. 75-102.

Blanchard, O., P. Criqui, M. Trommetter, L. Viguier, 2000, Au-delà de Kyoto : enjeux d'équité et d'efficacité dans la négociation sur le changement climatique, *Économie et Prévision*, 143-144, pp. 15-35.

Brahic, E., 2006, *Justice et Environnement. L'allocation des permis d'émission dans les négociations internationales sur le climat*. Thèse de Doctorat en Sciences Economiques, Université Montpellier I, 368 p.

Claussen, E., L. McNeilly, 1998, *Equity & Global Climate Change. The Complex Elements of Global Fairness,* Pew Center on Global Climate Change, Washington D.C, 39 p.

Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, 1992, *Texte de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*, Genève, Suisse, 1992. Bureau d'Information sur les Changements Climatiques (PNUE/OMM) (IUCC). Secrétariat Intérimaire de la Convention.

Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, 1997, *Rapport de la Conférence des Parties sur les travaux de sa troisième session, tenue à Kyoto du 1er au 11 décembre 1997. Additif : Deuxième partie, décisions prises par la Conférence des Parties à sa troisième session, FCCC/CP/1997/7/Add.*1, 6 mars 1998.

Criqui, P., 2001, *POLES : Prospective Outlook on Long-term Energy Systems*, Institut d'Économie et de Politique de l'Énergie., 9 p.

Criqui, P., 2003, *Les accords internationaux sur le climat,* Cycle de conférences 2002-2003 – Perspectives – Quel avenir pour l'Homme ?, 8 p.

Criqui, P., N. Kouvaritakis, 1997, Les coûts pour le secteur énergétique de la réduction des émissions de CO2 : une évaluation internationale avec le modèle POLES, *Cahier de recherche de l'IEPE*, 13, Grenoble, 21 p.

Denis, B., La sécurisation des changements climatiques et ses effets sur la légitimation de la violence dans les relations internationales. In C. Wasinski, *La légitimation de la violence*, Paris, Editions Pepper, (à paraître).

Denis, B., La politique internationale du climat et la coopération au développement : enjeux et perspectives. In A. Zacharie, *Refonder les politiques de coopération*, (à paraître).

Dutschke, M., A. Michaelowa, 2006, Development assistance and the CDM – how to interpret financial additionality, *Environment and Development Economics*, 11, pp. 235-246.

Dworkin, R., 1981a, What is Equality ? Part 1 : Egality of Welfare, *Philosophy and Public Affairs*, 10, pp. 185-246.

Dworkin, R., 1981b, What is Equality ? Part 2 : Egality of Resources, *Philosophy and Public Affairs*, 10, pp. 283-345.

International Institute for Sustainable Development, 1996, Report of the third session of the ad hoc group on the Berlin mandate : 5-8 march 1996, *Earth Negotiations Bulletin*, 12, 27, 10 p.

Elster, J., 1992, *Local Justice : How Institutions Allocate Scarce Goods and Necessary Burdens*, New York : Russell sage Foundation, 288 p.

Fleurbaey, M., 1996, *Théories économiques de la justice*. Paris, Economica, 250 p.

Ghersi, F., J-C. Hourcade, P. Criqui, 2003, Viable responses to the equity-responsibility dilemma : a consequentialist view, *Climate Policy*, 3, 1, pp. 115-133.

Godard, O., 2004, L'équité dans les négociations post-Kyoto : critères d'équité et approches procédurales, *Document de travail*, Laboratoire d'économétrie, Cahier n° 2004-008, 18 p.

Grubb, M., 1990, The greenhouse effect : negotiating targets, *International Affairs*, 66, 1, pp. 67-89.

Hourcade, J.C., 2003, L'économie des régimes climatiques l'impossible coordination ? *Revue d'Economie Politique*, 113 (2003/4), pp. 455-475.

Hourcade, J.C., F. Ghersi, 2002, *Analyse des stratégies de réduction des émissions de gaz à effet de serre*. Rapport pour le GIP MEDIAS-FRANCE, Programme GICC, projet ARES, 212 p.

Hourcade, J-C., F. Lecocq, T. Le Pesant, D. Thery, 2002, L'économiste au risque des arguments d'équité : le cas des politiques climatiques. In Rotillon G. (ed.), *Régulation environnementale. Jeux, coalitions, contrats*, Paris, Economica, Chap. 5, pp. 154-189.

Locke, J., 1690, Second Treatise on Government, in John Locke, *Of Civil Government*, Londres, Dent & Sons, 1924, pp. 115-242. Trad. franç. : Traité du gouvernement civil, Paris, Garnier-Flammarion, 1984.

Müller, B., 1998, *Justice in Global Warming Negotiations. How to Obtain a Procedurally Fair Compromise,* Oxford Institute for Energy Studies (2nd revised ed., 1999), 88 p.

Müller, B., 2001, Varieties of distributive justice in climate change. An Editorial Comment, *Climatic Change*, 48, pp. 273-288.

Müller, B., 2001a, Fair Compromise in a Morally Complex World : The Allocation of Greenhouse Gas Emission Permits between Industrialized and Developing Countries, Paper presented to the Pew Centre *Equity and Global Climate Change Conference*, Washington D.C., 17 April 2001, 25 p.

Nozick, R., 1974, *Anarchy, State and Utopia*, Oxford, Blackwell. Trad. Franç. : Anarchie, Etat et Utopie, Paris, PUF, 1988, 367 p.

Pigou, A.C., 1920, *The Economics of Welfare*, Macmillan and Co. London, Fourth edition, 1932. First published : 1920, 561 p.

Rao, J.M., 1999, Equity in a Global Public Goods Framework, in *Global Public Goods* (Inge Kaul, Isabelle Grunberg & Marc A. Stern eds.), Oxford University Press & UNDP, pp. 68-87.

Rawls, J., 1971, *A Theory of Justice*, Cambridge, Mass. : Harvard University Press, (Réédition Oxford : Clarendon Press, 1974, Trad. Française : Théorie de la justice, Paris : Seuil, 1987), 700 p.

Ringius, L., A. Torvanger, B. Holtsmark, 1998, Can multi-criteria rules fairly distribute climate burdens ? OECD results from three burden sharing rules, Energy Policy, 26, 10, pp. 777-793, and CICERO *Working Paper* 1998 : 6, CICERO, Oslo.

Ringius, L., A. Torvanger, J.C. Jansen, J.J. Battjes, F.T. Ormel, J.P.M. Sijm , A. Underdal, C.H. Volkers, Y.R. Ybema, 2001, *Sharing the burden of greenhouse gas mitigation*, Final report of the joint CICERO-ECN project on the global differentiation of emission mitigation targets among countries, mai 2001, 95 p.

Ringius, L., A. Torvanger, A. Underdal, *2000, Burden Differentiation : Fairness Principles and Proposals*, The joint CICERO-ECN project on

sharing the burden of greenhouse gas reduction among countries, ECN Report ECN-C-00-011, ECN, Petten, and CICERO Working Paper n° 13, CICERO, Oslo, 31 p.

Ringius, L., A. Torvanger, A. Underdal, 2002, Burden Sharing and Fairness Principles in International Climate Policy, *International Environmental Agreements : Politics, Law and Economics*, 2, pp. 1-22.

Rose, A., B. Stevens, 1998, A Dynamic Analysis of Fairness in Global Warming Policy : Kyoto, Buenos Aires, and Beyond, *Journal of Applied Economics*, 1, 2, pp. 329-362.

Rose, A., B. Stevens, J. Edmonds, M. Wise, 1998, International Equity and Differentiation in Global Warming Policy. An Application to Tradeable Emission Permits, *Environmental and Resource Economics*, 12, pp. 25-51.

Torvanger, A., O. Godal, 1999, A survey of differentiation methods for national greenhouse gas reduction targets, *CICERO Report* 1999 :5, CICERO, Oslo, 54p.

Torvanger, A., L. Ringius, 2000, Burden differentiation : criteria for evaluation and development of burden sharing rules, *CICERO Working Paper*, 2000 : 1, CICERO, Oslo, 14 p.

Tsayem Demaze M., 2009, Le protocole de Kyoto, le clivage Nord-Sud et le défi du développement durable, *L'Espace Géographique*, 38, 9, pp. 139-156.