

# Les effets d'un marché de permis négociables dans un cadre d'équilibre

Julien Chevallier<sup>1</sup>, Pierre-André Jouvet<sup>2</sup>, Philippe Michel<sup>3</sup>, Gilles Rotillon<sup>4</sup>

Septembre 2009

## 1 Un contexte général

Les gaz à effet de serre (gaz carbonique, méthane, protoxyde d'azote hydro-fluorocarbones, hydrocarbures perfluorés et hexafluorure de soufre) retiennent une partie du rayonnement solaire réfléchi par la terre, et contribuent à maintenir à sa surface une température suffisante pour permettre le développement de la vie. En leur absence, celle-ci serait aux alentours de  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Ces gaz (GES) s'accumulent dans l'atmosphère, et l'accroissement de cette concentration s'accompagne d'une élévation de la température. En 1988, à l'initiative de l'Organisation météorologique mondiale et du Programme des Nations-Unies pour l'environnement, est créé le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC). Celui-ci a pour mission de faire le point sur les connaissances scientifiques concernant les processus d'interaction entre les émissions et les concentrations de GES, les scénarii d'évolution des émissions à long terme, les effets des concentrations sur les phénomènes climatiques, l'incidence de ces phénomènes, les possibilités techniques de prévention et d'adaptation des sociétés humaines, les conséquences socio-économiques et écologiques de politiques caractérisées par une répartition temporelle différente des

---

<sup>1</sup> Université Paris Dauphine (CGEMP-LEDa) et EconomiX

<sup>2</sup> EconomiX, Université de Paris Ouest, Nanterre la Défense

<sup>3</sup> Décédé le 22 juillet 2004

<sup>4</sup> EconomiX, Université de Paris Ouest, Nanterre la Défense

efforts de maîtrise des émissions. Les conclusions de son quatrième rapport (GIEC, [2007]) sont claires : les concentrations de GES se sont accrues de façon significative depuis le début de l'ère industrielle, ce phénomène excède la variabilité naturelle et il est attribuable à l'activité humaine ; sur la base de la compréhension théorique du climat (les lois de la physique), la modélisation climatique conclut au diagnostic d'un réchauffement, en moyenne, du climat de la Terre et à la possibilité d'importantes perturbations dues notamment à la rapidité avec laquelle le changement se produit.

Selon les simulations climatiques, la température moyenne globale de surface pourrait s'élever de 1,4 à 5,8°C en 2100 par rapport à 1990, principalement du fait des émissions de GES. Fonte des glaces, montée des eaux, progression des déserts, bouleversement du cycle de l'eau et du régime des précipitations, croissance en fréquence et en intensité des événements climatiques extrêmes (cyclones, tempêtes, canicules, etc.) sont quelques unes des conséquences attendues de ces rejets. La plupart des scientifiques ne sont d'ailleurs pas à l'aise vis-à-vis de la perspective de vivre avec une température durablement plus chaude de 4°C, ou excède le seuil de concentration de 550ppm dans l'atmosphère. Il existe, bien entendu, de nombreuses incertitudes sur les mécanismes à l'œuvre et l'ampleur réelle des changements à venir et de leurs impacts, mais elles n'ont pas empêché la communauté internationale, dès 1992 avec la Convention cadre sur le changement climatique de Rio, de mettre en place une coordination planétaire visant à réduire les émissions de GES.

## 2 La mobilisation internationale

Notre propos n'est pas ici de faire l'histoire de la mobilisation internationale contre l'effet de serre (le lecteur intéressé par cette question pourra consulter Faucheux et Noël [1990] et le rapport de Guesnerie [2003]), mais de présenter, dans le cas du climat, les solutions qui sont progressivement mises en place pour tenter de résoudre ce problème. Les engagements ont été pris en deux temps. A Rio en 1992, les pays industrialisés ont pris l'engagement de faire leur possible pour ramener leurs émissions de GES en 2000 à leur niveau de 1990, mais aucun instrument particulier n'a été mis en place pour atteindre cet objectif. Constatant l'échec de cette approche - de bonne volonté -, les pays signataires ont voulu signer un protocole plus contraignant quant aux moyens à mobiliser par chacun. C'est ainsi qu'on a débouché sur le Protocole de Kyoto en 1997. Ce dernier prévoit que les pays industriels identifiés dans l'Annexe B du Protocole (OCDE, pays d'Europe centrale en

transition, Russie, Ukraine) aient réduit en moyenne, sur la période 2008-2012, leurs émissions de GES d'environ 5,2% par rapport à leur niveau de 1990. Des objectifs individuels de réduction ont été définis pour chaque pays : les pays membres de l'Union européenne se sont engagés sur -8% (avec une nouvelle répartition interne allouant, par exemple, 0% à la France, -25% à l'Allemagne ou +17% à l'Espagne), les Etats-Unis sur -7%, la Japon et le Canada sur -6%, la Russie sur 0% et l'Australie sur +8%. La solution négociée consiste donc en une restriction quantitative consistant dans la possibilité du commerce des quotas attribués à chaque pays. Le Protocole de Kyoto est entré en vigueur en février 2005 suite à la ratification de l'Islande. Parmi les Etats-Membres de l'Annexe B, les engagements comportent des réductions d'émissions de CO<sub>2</sub> pour 38 pays industrialisés (voir le Tableau 1).

Insérer TAB. 1

Ces accords découlent de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC, ou UNFCCC en anglais) qui reconnaît trois principes: le principe de précaution<sup>5</sup>, le principe de responsabilité commune mais différenciée<sup>6</sup>, et le principe du droit au développement<sup>7</sup>. 174 pays, dont le dernier en date est l'Australie le 3 Décembre 2007, ont ratifié le Protocole, à l'exception notable des Etats-Unis<sup>8</sup>. La première période d'engagement du Protocole de Kyoto couvre la période allant du 1er janvier 2008 au 31 décembre 2012. L'Annexe I regroupe les pays industrialisés et en transition qui ont pris des engagements quantifiés de réduction lors de la signature de la Convention de Rio, tandis que l'Annexe B regroupe les pays qui se sont engagés effectivement sur des objectifs précis de réduction d'émissions dans le cadre du Protocole de Kyoto. Seuls ces derniers pays avaient des obligations de réduction d'émission, ce qui signifie que les pays en développement n'ont pris aucun engagement de cette sorte.

### 3 Un marché de permis négociables

---

<sup>5</sup> L'incertitude scientifique quant à l'impact exact du changement climatique ne justifie pas de différer les mesures à prendre.

<sup>6</sup> Chaque pays signataire reconnaît l'impact des ses émissions de GES sur le réchauffement climatique. Les pays les plus industrialisés portent une responsabilité historique accrue, du fait de leur développement antérieur fortement intensif en émissions de GES, qui se traduit par une cible de réduction plus contraignante.

<sup>7</sup> Les actions à prendre se feront dans le respect du développement économique de chaque pays.

<sup>8</sup> Les Etats-Unis ont en effet signé le Protocole le 12 novembre 1998, mais refusent de le ratifier.

Le Système d'Echange des Quotas Européens (SEQE), ou *European Union Emissions Trading Scheme* (EU ETS) en anglais, a été créé le 1er janvier 2005 dans le but de réduire de 8% les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'Union Européenne d'ici 2012, par rapport à leur niveau de 1990. Cet objectif agrégé de réduction d'émissions dans l'UE a fait l'objet d'Accords Différenciés, répartissant les efforts devant être effectués par chaque Etat-Membre en fonction de leur potentiel de « décarbonisation » de leur économie (voir le Tableau 2).

Insérer TAB. 2

L'EU ETS couvre les entreprises intensives en énergie au-dessus du seuil de 20MWh<sup>9</sup>, en application de la Directive 2003/87/EC (voir Alberola, Chevallier, et Chèze (2009a, 2009b) pour des analyses économétriques sectorielles). De tels marchés existaient déjà sur une base nationale, les plus connus concernant le plomb dans l'essence, le SO<sub>2</sub> et les NO<sub>x</sub> aux Etats-Unis. Pour les GES, un marché fonctionne au Royaume-Uni depuis avril 2002, et le Danemark a créé un marché pour le CO<sub>2</sub> en 2000. Le marché européen couvre 46% des émissions de CO<sub>2</sub>. L'EU ETS s'inspire beaucoup du système américain d'échange de SO<sub>2</sub> (Ellerman *et al.* (2000)), mais s'appuie de façon plus prononcée sur un processus de décision décentralisé pour l'allocation des quotas échangeables, la vérification et le management des sources de pollution (Kruger *et al.* (2007)). L'objectif de réduction d'émissions de CO<sub>2</sub> de chaque Etat-Membre a été converti par un Plan National d'Allocation de Quotas (PNAQ). La somme des PNAQs détermine le nombre total de quotas distribués aux installations dans l'EU ETS. Dans ce cadre institutionnel, 2.2 milliards de quotas par an ont été distribués sur la période 2005-2007. 2.08 milliards de quotas par an seront distribués sur la période 2008-2012. La méthode de distribution des quotas choisie a été celle d'une allocation gratuite en proportion des émissions récentes. Certains Etats-Membres ont autorisé la mise aux enchères durant les Phases I (2005-2007) et II (2008-2012), mais les parts maximales de 5 et 10% autorisées par la Directive n'ont pas été atteintes. Ces règles s'appliquent essentiellement aux deux premières phases de l'échange de quotas : le futur de l'EU ETS sera très différent avec l'introduction de la mise aux enchères de quotas au cours de la Phase III (2013-2020).

---

<sup>9</sup> Les secteurs couverts incluent la production d'électricité, les raffineries de pétrole, les fours à coke, les activités de production de fer et d'acier et les usines produisant du ciment, du verre, de la brique, de la céramique, et du papier, ce qui représente 10,600 installations.

Depuis 2005, l'EU ETS a opéré indépendamment du Protocole de Kyoto, mais a été relié avec l'échange international de permis à travers la "*Linking Directive*" en 2008. Ce cadre fournit la reconnaissance des crédits issus des projets dans le Protocole de Kyoto à partir de 2008 pour assurer la conformité des installations couvertes par l'EU ETS<sup>10</sup>. En effet, pour donner de la souplesse au Protocole de Kyoto et permettre d'abaisser les coûts de réduction, quatre mécanismes de flexibilité sont prévus : un échange de quotas entre pays, constituant le marché de permis proprement dit ; la possibilité de gagner et d'échanger des crédits supplémentaires issus de la Mise en Œuvre Conjointe (MOC) dans les pays en transition ou du Mécanisme de Développement Propre (MDP)<sup>11</sup>; et la possibilité de mettre en réserve pour une période ultérieure les droits d'émission non utilisés en 2008-2012. A cela s'est ajoutée ultérieurement la prise en compte limitée des possibilités de fixer le carbone atmosphérique à travers, principalement, le développement de la couverture forestière (Programme d'Utilisation des Terres, Modification de l'Affectation des Terres et Foresterie (UTMATHF)<sup>12</sup>) et de certaines cultures (les « puits de carbone »). Le tableau 3 résume ces différents moyens prévus par le Protocole.

Insérer TAB. 3

## 4 Les difficultés de mise en œuvre du marché des permis

La première difficulté concernait l'existence même de ce marché. Il ne pouvait être créé qu'à condition qu'au moins 55 pays représentant plus de 55% des émissions ratifient le Protocole de Kyoto, ce qui n'a été réalisé qu'en novembre 2004 avec la signature de la Russie, alors que les Etats-Unis, représentant 36,1% des émissions, refusaient de le faire. L'arrivée au pouvoir du Président Bush a complètement modifié la position du gouvernement américain, qui est passée d'une coopération heurtée au retrait à la conférence de La Haye en 2000.

---

<sup>10</sup> Notons que le registre européen de vérification des émissions – le *Community Independent Transaction Log* (CITL) – a été connecté au registre international du Protocole de Kyoto (*International Transaction Log*, ITL) le 16 octobre 2008.

<sup>11</sup> D'après l'article 12 du Protocole de Kyoto, les MDP sont des projets donnant lieu à des réductions d'émissions de GES dans les pays non-Membres de l'Annexe B, et dont la validation par la Convention Cadres des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) donne lieu à la délivrance de crédits pouvant être utilisés par les pays signataires pour assurer leur position de conformité.

<sup>12</sup> En anglais: *Land Use, Land-Use Change and Forestry* (LULUCF).

Mais, même après la ratification du Protocole par la Russie et le démarrage du marché en 2008, il reste plusieurs obstacles à son bon fonctionnement. Un marché de permis négociables ne peut fonctionner que si, d'une part, il est possible de contrôler les déclarations d'émissions des acteurs pour vérifier qu'elles sont en conformité avec le nombre de permis qu'ils possèdent, et d'autre part, que des sanctions crédibles soient applicables en cas de non respect des règles. Sur le premier point, des protocoles d'inventaire ont été mis au point et ont été définies les conditions dans lesquelles chaque pays doit établir des rapports réguliers sur sa politique de l'effet de serre, ses émissions et ses mouvements de transferts internationaux de permis. Le second point a été un point important d'achoppement. Les propositions de pénalités financières ont été rejetées, car elles auraient impliqué une perte de souveraineté jugée inacceptable. Il faut dire que l'effet de serre touche à des secteurs sensibles comme l'énergie et les transports. Les solutions trouvées consistent à prévoir une pénalité « en nature » sur les permis de la période suivante, après 2012, à suspendre la capacité d'un pays à participer aux transactions comme vendeur de permis et, enfin, à demander à chaque pays de demeurer en possession d'une réserve de permis correspondant au moins à 90% de ses émissions annuelles.

La faiblesse du dispositif de sanction est d'autant plus gênante que la nature même d'un protocole issu d'une négociation entre Etats souverains le rend fragile et instable. En effet, non seulement aucun pays ne peut être forcé à signer par les autres, mais il existe une forte incitation pour chaque pays à ne pas participer à l'effort commun et ce d'autant plus que les autres sont plus nombreux à participer. C'est le comportement bien connu du « passager clandestin » dû à l'impossibilité d'exclusion de l'usage d'un bien public une fois que celui-ci est disponible. Le recul de l'effet de serre, du fait des efforts de réduction des pays signataires, profitera de toute façon aux autres pays. Enfin, tel qu'il est prévu, le marché qui s'est mis en place en 2008 n'est qu'une toute première étape pour commencer à affronter le problème de l'effet de serre. Après le retrait américain, les engagements de réduction des émissions ne concernent qu'une part minoritaire des émissions annuelles mondiales. Ce n'est pas suffisant pour réduire durablement le stock de GES dans l'atmosphère. Aller plus loin suppose d'impliquer les pays en développement dans l'effort de maîtrise des émissions<sup>13</sup>, d'autant que c'est dans ces pays que les émissions seront les plus importantes dans le futur, au fur et à mesure de

---

<sup>13</sup> Autrement qu'à travers les projets MDP.

leur développement<sup>14</sup>. La récente transformation du G8 en G20 et la négociation de Copenhague de fin 2009 où doit se décider l'architecture de l'après-Kyoto et qui va intégrer plus fortement les pays en développement, sont des pas dans cette direction, même si pour l'instant les engagements concernent davantage 2050 qu'aujourd'hui.

On comprend bien que l'approche adoptée à Kyoto pour définir des engagements quantifiés (réduire les émissions en référence à l'année 1990, règle dite du « grandparentage » qui distribue les permis sur la base des émissions passées), si elle est concevable dans une logique de limitation des coûts et d'acceptabilité politique du Protocole entre pays industriels, ne peut pas être acceptée par des pays comme l'Inde ou la Chine qui dépassent le milliard d'habitants et dont les émissions totales doivent pouvoir augmenter en fonction de leur croissance. Ces pays militent ainsi pour une distribution attribuant à chaque pays un quota proportionnel à sa population. C'est la question de l'équité des règles d'allocation des permis qui est posée, question difficile qui fait l'objet de toute une littérature (voir Godard [1997] et [1999] pour une discussion). Au-delà du choix de la règle elle-même (en général, il s'agit de distribuer les permis en fonction d'un paramètre approprié dont les principaux sont les émissions (totales ou par tête), le PIB (total ou par tête), la population, la surface ou la responsabilité historique relative dans la croissance des émissions de GES mesurée par les émissions passées (voir Müller (1998) pour une discussion de ces critères), il y a la question des conséquences économiques de ce choix (Jouvet, Michel et Rotillon, ci-après JMR (2002)).

## 5 Conséquences économiques des règles d'attribution des permis

Cette question est particulièrement pertinente dans un contexte Nord-Sud, où les pays en développement, anticipant des coûts d'une politique de réduction supérieurs aux bénéfices, ont refusé de participer aux actions impliquées par le Protocole de Kyoto. Pourtant, de nombreuses études cherchant à évaluer ces coûts ne prennent pas en compte les pays en développement. C'est le cas, par exemple, de Bohm et Larsen (1994), qui ne considèrent que l'Europe et les pays de l'ancien bloc soviétique. Ils montrent qu'une répartition des permis selon la population ou le PIB n'est pas de nature à induire la participation de la plupart des pays de l'Europe de l'Est, à cause de l'ampleur des coûts correspondants. Ils identifient alors un ensemble d'allocations initiales de permis qui

---

<sup>14</sup> La « courbe environnementale de Kuznets » implique en effet une relation de U inversé entre pollution et revenu.

compenseraient au moins ces pays. Cependant, outre son cadre géographique réduit, leur analyse ne prend en compte que la répartition des coûts de réduction des émissions et néglige les effets d'équilibre général des différentes règles d'allocation étudiées. De manière encore plus réductrice, Koutstaal (1997) ne considère les conséquences économiques de différentes règles d'allocation qu'au niveau de l'Union Européenne (à 12). Il semble pourtant clair qu'une telle question ne peut s'étudier que dans un cadre d'équilibre général, et ne peut se cantonner à l'examen de la seule répartition de la charge des efforts de réduction. Elle doit en particulier prendre en compte les effets probables sur la réallocation du capital, engendrée par la modification du taux d'intérêt suite à la distribution des permis. A notre connaissance, la littérature existante fait l'impasse sur ce type d'effets que nous avons voulu étudier dans un modèle théorique simple, où nous explicitons le rôle des facteurs de production, capital et travail, dans la formulation de Stokey (1998), en nous plaçant dans un cadre d'analyse statique, et qui puisse fournir des résultats qualitatifs et servir à développer des intuitions sous-jacentes.

## 5.1 La technologie, le comportement des firmes et l'équilibre

Dans JMR (2002), la production potentielle est définie par une fonction de production néoclassique à rendements d'échelle constants par rapport au capital et au travail. Cette production potentielle est affectée d'un indice représentant la technologie utilisée, qui est compris entre 0 et 1 et qui permet de définir la production effective, égale au produit de l'indice et de la production potentielle. Les émissions par unités produites augmentent avec l'indice.

Dans une économie avec marché des permis de pollution, on définit le comportement d'une firme quand son stock de capital et les permis qu'elle possède sont donnés. Ce comportement est concurrentiel, et est fonction du taux de salaire réel et du prix réel des permis. La firme choisit son indice technologique et le niveau d'emploi qui maximise son revenu net de coûts salariaux et de dépenses nettes sur le marché des permis. Ce revenu net est distribué aux actionnaires qui sont les propriétaires du stock de capital. L'équilibre est défini sur les deux marchés du travail et des permis par l'égalité de l'offre et de la demande. Sur le marché du capital, où l'offre est supposée inélastique en conséquence des décisions d'épargne antérieures, l'équilibre n'est pas basé sur l'approche usuelle du coût d'usage, mais sur la condition d'arbitrage des propriétaires du capital (équilibre au sens de Hahn et Solow (1995)). Elle interagit avec l'allocation des permis aux firmes et impose l'égalité des

productivités moyennes du capital, et non pas celle des productivités marginales. En présence d'un marché des permis, les deux productivités, marginale et moyenne, ne sont pas égales en général.

Supposons à présent que deux pays produisent le même bien avec la même technologie (supposée de type Cobb-Douglas). Chaque pays dispose d'un stock de capital humain spécifique et d'un montant donné de permis de pollution. Le capital physique mondial est donné et supposé parfaitement mobile: il s'alloue entre les deux pays pour égaliser les rendements moyens. Les allocations d'équilibre du capital physique et des permis de pollution sur les marchés internationaux dépendent des indices technologiques, des prix d'équilibre des permis, et des salaires d'équilibre dans chaque pays.

Le cas économiquement intéressant est celui où le nombre total de permis oblige les firmes à réduire leurs émissions en choisissant un indice technologique inférieur à 1 (nous renvoyons le lecteur intéressé à l'annexe pour une description complète de l'équilibre).

## 5.2 Conséquences économiques des règles d'attribution des permis

Ces règles sont définies par rapport aux variables d'équilibre dans le monde sans permis, *i.e.* sans restriction sur les émissions. A cet équilibre, les productions, les émissions et les deux stocks de capital assurant le même rendement (le rendement moyen étant égal dans ce cas au rendement marginal) sont proportionnels aux stocks de capital humain.

L'application d'une règle de proportionnalité aux stocks de capital humain (ou productions, ou émissions) de type « grandparentage » a des conséquences simples sur l'équilibre. Il y a diminution proportionnelle du niveau initial des productions et des émissions dans chaque pays (par application de l'indice technologique commun). L'allocation du capital, elle, n'est pas modifiée. Une telle règle est efficace, au sens où elle assure le maximum de production mondiale à un niveau total d'émissions donné.

Pour étudier les effets d'une règle proportionnelle à la population, on suppose, comme Copeland et Taylor (1994) que le capital humain par tête est plus faible dans le « pays du Sud » que dans le « pays du Nord ». Avec une telle règle, le pays du Sud est bénéficiaire à l'équilibre. Avec le même total d'émissions de pollution (donc de permis) que dans le cas précédent, le Sud est vendeur de permis,

reçoit davantage de capital, et produit davantage. Il émet aussi plus de pollution, mais surtout la production mondiale est réduite. En ce sens, il y a un dilemme efficacité-redistribution. On note aussi que l'effet de redistribution n'est que partiel : à l'équilibre, le revenu par tête reste plus faible dans le Sud que dans le Nord.

Un dernier type de règle est la règle proportionnelle aux variables par tête (capital humain, productions ou émissions). Une telle règle favorise le pays le moins peuplé, que ce soit le Nord ou le Sud. Clairement, une telle règle, qui donnerait le même nombre de permis à deux pays ayant les mêmes variables par tête mais très différents de taille ne semble pas plausible.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence deux ratios essentiels dans la formation de l'équilibre mondial avec marché des permis de pollution: (i) le ratio des stocks de capital humain, et (ii) le ratio des permis attribués. L'équilibre conduit à rapprocher le ratio des permis utilisés du ratio des stocks de capital humain. Ce rapprochement de ratios différents implique une certaine inefficacité de la production mondiale et des transferts en faveur du pays qui est vendeur net de permis (il bénéficie aussi des transferts de capitaux).

Elle nous permet aussi de vérifier que la mise en place d'un système de permis conduit bien à des réallocations du capital au niveau international, du fait de l'impact de la valeur des permis distribués sur la rémunération du capital. Au-delà des seuls coûts de réduction des émissions, l'adoption d'une règle ou d'une autre a des conséquences redistributives sur la richesse produite qui explique au moins pour une part les positions des différents pays dans les négociations.

Enfin, elle permet de prendre conscience de l'impact de la distribution des permis sur la rémunération des facteurs de production. Dans ce modèle, les permis sont en effet alloués gratuitement aux firmes, et c'est cette allocation gratuite qui modifie la valeur de la firme et crée une distorsion à l'équilibre où la productivité marginale n'est plus égale à sa productivité moyenne. Ceci amène à s'intéresser aux effets de l'allocation gratuite ou non des permis sur la rémunération des facteurs de production et la distribution des revenus (JMR (2009)), qui est un autre débat important soulevé par la mise en place d'un marché de permis négociables. Notons que l'ensemble des résultats énoncés dans cette partie sur les règles d'allocation sont également valides dans un cadre d'analyse dynamique, comme l'ont montré JMR (2005).

## 6 Les effets induits de l'allocation des permis sur la rémunération des facteurs de production

La pratique de la distribution initiale des permis est de les allouer gratuitement aux firmes polluantes en fonction des émissions passées (règle du « grandparentage »). Dès 1975, l'*US Environmental Protection Agency* (EPA) les a utilisés dans le cadre de la lutte contre la pollution de l'air. En 1995, le programme de lutte contre les pluies acides (*Acid Rain Program*) est mis en place aux USA (d'après le Titre IV des *Clean Air Act Amendments* de 1990) pour réduire de façon drastique les émissions de SO<sub>2</sub> des compagnies électriques. Cet ambitieux programme établit une limite permanente sur les émissions de SO<sub>2</sub> des entreprises à un montant représentant environ la moitié de leurs émissions annuelles en 1980. Au Danemark, un marché de permis pour réguler les émissions de CO<sub>2</sub> dans le secteur électrique est voté par le Parlement en 1999. Dans toutes ces expériences, c'est la règle du « grandparentage » qui est utilisée, avec une exception pour le marché du SO<sub>2</sub> aux USA où 2,8% des permis sont mis aux enchères chaque année.

Si théoriquement n'importe quel système d'allocation est envisageable, le « grandparentage » est généralement considéré comme inévitable (Tietenberg (2003)). La raison principale de cette pratique tient au fait qu'avec ce système, les firmes ne paient que les permis additionnels alors qu'elles en paieraient la totalité avec un système d'enchères. En conséquence, elles jugent le « grandparentage » bien plus acceptable que tout autre système de distribution, quand bien même il n'engendre qu'un faible revenu supplémentaire pour l'Etat, excluant ainsi toute possibilité de double dividende (voir Oates (1995) et Goulder (1995) pour de bons survols de cette littérature). Récemment, une étude du *Congressional Budget Office* (2000) suggère qu'avec la règle du « grandparentage » dans un marché de permis pour le CO<sub>2</sub>, les ménages à bas revenus pourraient perdre plusieurs centaines de dollars par an, au contraire des ménages à haut revenu qui pourraient obtenir des gains de l'ordre de 1500\$ par an. Comme l'indique Parry (2002), « *les permis alloués par grandparentage créent des gains tombés du ciel pour les actionnaires, qui sont concentrés dans les classes à haut-revenu, parce que ces politiques distribuent gratuitement aux firmes des actifs de valeur. Il n'existe pas de profits tombés du ciel pour les riches ménages dans le cas de permis mis*

*aux enchères ou de taxe sur les émissions; au lieu de cela, le gouvernement obtient des revenus qui peuvent être recyclés en réductions de taxes qui bénéficient à tous ou de façon disproportionnée aux ménages pauvres».*

Par ailleurs, si la pratique consiste à distribuer les permis aux firmes et/ou aux pays, rien n'interdit d'en distribuer à d'autres agents. C'est ainsi, que dans le cadre de l'élaboration du Protocole de Kyoto, des voies se sont faites entendre pour étendre la distribution des permis non seulement aux pays (les Parties), mais à des entités privées domestiques. Ce sont ces questions que nous avons voulu étudier en considérant le cas d'un équilibre international avec  $n$  pays. Dans le cadre du débat sur le modèle de distribution des permis et leur mise sur le marché, nous analysons les effets d'un marché de permis de pollution sur la rémunération des facteurs de production. Dans chaque pays, il y a une firme représentative et chacune produit le même bien avec la même technologie. Nous considérons qu'une partie des permis de pollution est donnée gratuitement aux firmes, le solde est directement vendu sur le marché. La technologie et le comportement des firmes sont identiques à ce qui a été présenté ci-dessus.

## 6.1 Les effets de seuil de l'offre de permis

Nous distinguons le cas d'un équilibre avec une offre excédentaire de permis (conduisant à un niveau de production égal au niveau de production potentielle de l'économie), et le cas d'un équilibre avec une offre globale de permis venant réduire le niveau potentiel de production. Il apparaît un seuil d'offre de permis tel que, au-dessus de ce seuil, une régulation environnementale par un marché de permis de pollution n'a aucun effet. Dans ce cas, tous les indices technologiques sont à leur maximum. La production est égale à la production potentielle, la pollution est à son niveau maximal, le prix sur le marché des permis est nul, et la rémunération des facteurs de production correspond à leur productivité marginale. Tout se passe comme s'il n'y avait pas de permis de pollution dans l'économie.

Si l'offre totale de permis est égale à ce seuil, alors l'ensemble des permis est utilisé dans la production, leur prix est positif, bien qu'il n'y ait aucun échange sur le marché des permis, et la production et la pollution correspondent à leurs niveaux potentiels (l'indice technologique est égal à 1), mais il apparaît un facteur de réduction de la production mondiale par rapport au niveau atteint dans une économie intégrée. Dans le cas où l'offre totale de permis est en-dessous de ce seuil, ce qui

correspond à une véritable politique de réduction des émissions polluantes, les niveaux de production et de pollution vont être contraints par le marché des permis de pollution et vont se situer en-dessous de leurs niveaux potentiels.

Le prix de marché des permis de pollution est positif, et le facteur de réduction des productivités marginales des facteurs de production s'applique.

## 6.2 Modification des rémunérations des facteurs et possibilité d'augmentation des profits

Comme on l'a déjà vu, le fait que les permis aient une valeur positive vient modifier la valeur des firmes, et influence alors la rémunération des facteurs en définissant la valeur d'une unité de production nette du coût des permis que les firmes doivent acheter. Plus précisément, le facteur travail va être rémunéré en dessous de sa productivité marginale, la rémunération du capital peut quant à elle être égale, inférieure ou supérieure à sa productivité marginale en fonction du niveau de la compensation induite par l'allocation gratuite d'une partie des permis aux firmes.

Nous sommes là au cœur de nos préoccupations, en effet le facteur de réduction des productivités marginales est directement lié au fait que les permis de pollution ont une valeur positive. Une valeur positive des permis induit une réduction de la production mondiale, même dans le cas d'une pleine utilisation des capacités de production dans chaque pays. Cette réduction va alors se répercuter sur les productivités marginales des facteurs de production que sont le travail et le capital. La différence essentielle entre la rémunération du capital et celle du travail tient au fait que celle du capital va, en plus, être modifiée par l'allocation gratuite des permis de pollution aux firmes.

Cette allocation vient s'ajouter à la rémunération classique de la productivité marginale du capital et augmente ainsi le revenu des actionnaires, ce qui n'est pas le cas pour les salariés qui ne reçoivent à priori aucun permis de pollution. Nous pouvons alors montrer que si la rémunération du facteur travail diminue systématiquement lorsque les permis de pollution ont une valeur strictement positive, il n'en va pas de même pour la rémunération du capital.

En fait, il est même possible que la rémunération du capital augmente du fait d'une augmentation des profits liée à une valeur positive des permis alloués gratuitement aux firmes. En effet, si nous considérons le cas d'une contrainte environnementale réelle mais relativement faible, *i.e.* un indice technologique proche de l'unité, avec une proportion importante de permis pollution alloués gratuitement aux firmes, alors la valeur des permis donnés aux firmes va plus que compenser les pertes de production liées à la régulation environnementale. Au total, le profit des firmes va augmenter par rapport à une situation sans permis et, par conséquent, la rémunération du capital va être plus importante qu'en l'absence de régulation environnementale.

Par ailleurs, la présence du facteur de réduction vient modifier le résultat habituel d'équivalence entre une politique environnementale avec permis de pollution et une politique environnementale utilisant une taxe comme outil de régulation. En effet, cette équivalence nécessite la condition qu'aucun permis de pollution ne soit gratuitement alloué aux firmes. Si les firmes bénéficient d'une allocation gratuite de permis alors, du fait de la modification des profits induite par cette allocation, il n'est plus équivalent d'utiliser une taxe ou des permis dans le cadre d'une politique de régulation environnementale.

### 6.3 Une allocation plus équitable des permis de pollution

Il existe une possibilité d'allocation gratuite des permis de pollution permettant de retrouver l'égalité entre les productivités marginales des facteurs de production et leur rémunération. Cette allocation doit être telle qu'elle compense les pertes de productivité marginale par un gain en terme de permis de pollution. Autrement dit, comme nous l'avons vu pour la rémunération du capital dont la perte de productivité marginale peut être compensée par la valeur des permis donnés aux firmes, il suffit de mettre en place un système équivalent pour le travail. Par conséquent, l'allocation des permis de pollution permettant de rétablir l'égalité entre productivités marginales et rémunérations des facteurs correspond à une allocation des permis proportionnelle aux contributions de chaque facteur dans la production. Avec les évaluations usuelles des contributions de  $1/3$  pour le capital et  $2/3$  pour le travail, seulement  $1/3$  des permis doivent être attribués gratuitement aux firmes au titre de la participation du capital dans la production, tandis que  $2/3$  doivent être attribués directement et gratuitement aux salariés au titre de leur contribution à la production. Il est à noter que ce type de distribution des permis évite les discussions en terme de double dividende et la mise en place d'une

institution chargée de gérer les fonds liés aux ventes de permis. En effet, ici la totalité des permis disponibles est distribuée gratuitement aux facteurs de production proportionnellement à leur contribution dans la production.

## 7 Les principaux enseignements

Les permis de pollution constituent par définition un mode de régulation de l'environnement qui comporte la fixation d'un quota d'émission (le nombre de permis), et qui laisse au marché le soin de sa répartition. Mais le marché ne résout pas tout : les mouvements de capitaux, la production et la distribution des revenus dépendent du mode d'attribution des permis. Leur attribution constitue des dotations qui ont une influence sur l'équilibre.

L'analyse de l'équilibre international avec mouvements des capitaux, sous l'hypothèse de technologies identiques dans tous les pays, a mis en évidence que le mode d'attribution le plus efficace (celui qui maximise la production mondiale à émissions données) est l'attribution basée sur les quantités de travail efficace. Une allocation attribuant plus de permis au pays le moins développé a des effets positifs pour ce pays (plus de production, de capital et un revenu net des ventes de permis). Mais ce pays pollue davantage, et la production mondiale est réduite. Il apparaît ainsi un dilemme entre efficacité et redistribution des richesses.

L'étude des effets de l'attribution des permis sur la distribution des revenus a mis en évidence que celle qui est faite aux firmes favorise les actionnaires, donc le facteur capital. Il est même possible que les profits soient plus élevés dans l'économie avec marché des permis que dans l'économie sans régulation de l'environnement. Une allocation plus équitable distribuerait des permis à chaque facteur proportionnellement à sa contribution à la production. Cette distribution égalise les revenus des facteurs avec leurs productivités marginales, et résout la question du double dividende.

Insérer FIG. 1

On démontre que l'indice technologique d'équilibre est le même dans les deux pays (qui ont la même technologie). Deux paramètres jouent un rôle clé dans l'analyse de l'équilibre : (i) le ratio des deux stocks de capital humain, et (ii) le ratio des quantités de permis attribués aux deux pays. Sauf lorsque ces deux ratios sont égaux, il apparaît un facteur de réduction de la production mondiale par rapport à ce qu'elle serait dans une économie mondiale intégrée. On démontre l'existence et l'unicité de l'équilibre mondial qui peut être de trois types différents.

A) quand le total des permis de pollution excède la pollution mondiale sans restriction d'émissions polluantes, le prix d'équilibre des permis est nul et l'équilibre mondial n'est pas modifié par le marché des permis.

B) avec un total de permis assez réduit, l'indice technologique d'équilibre est strictement inférieur à 1. La réduction des émissions mondiales, les mouvements de capitaux et les transactions sur le marché des permis tendent à diminuer l'écart entre le ratio des stocks de capital humain et le ratio des émissions polluantes d'équilibre, en réduisant l'écart résultant du ratio des permis attribués.

C) cette tendance au rapprochement des deux ratios se retrouve dans le troisième régime, où le total des permis est intermédiaire par rapport aux deux types précédents. Ce régime apparaît quand l'indice technologique commun est égal à 1, mais que le prix d'équilibre des permis est positif. Dans ce cas, il y a aussi une redistribution du capital et des permis utilisés qui résulte de l'action du marché des permis.

## Annexe

FIG. 1 – Types d'équilibres

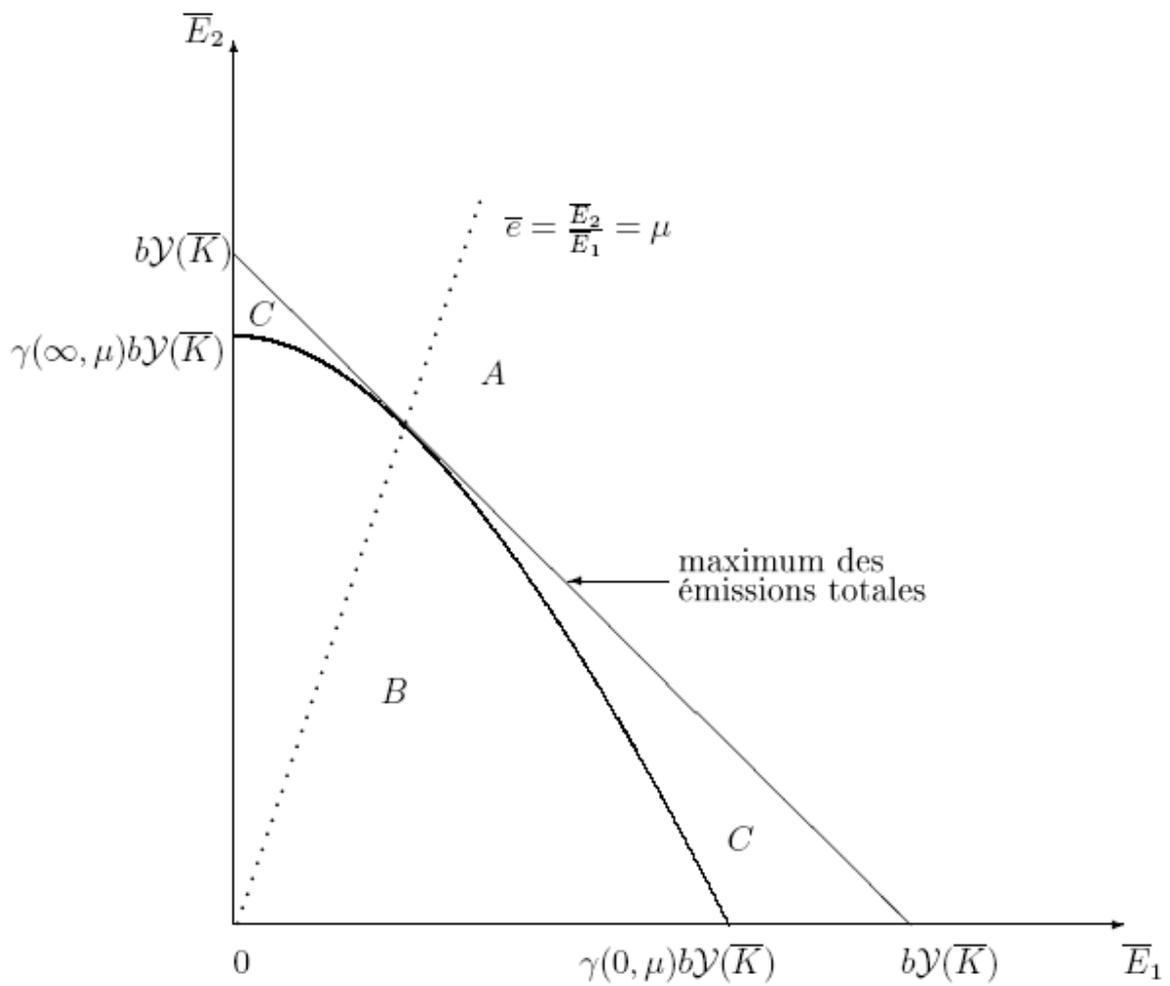


Figure 1 : Types d'équilibre.

Note : La représentation graphique ci-dessus indique le positionnement des trois régimes d'équilibre dans le plan des permis attribués aux deux pays.

TAB. 1 - Statut du Protocole de Kyoto

Membres de l'Annexe I	Emissions de CO <sub>2</sub> en 1990 (gigagrammes)	Part en % des émissions en 1990 parmi les Membres de l'Annexe I	Cible Kyoto (relativement aux émissions 1990)
Etats-Unis	4,957,022	36.00	93
Union européenne	3,288,667	24.05	92
Autriche	59,200	0.43	92
Belgique	114,410	0.84	92
Danemark	52,025	0.38	92
Finlande	53,900	0.39	92
France	366,536	2.68	92
Allemagne	1,014,155	7.42	92
Grèce	82,100	0.60	92
Irlande	30,719	0.22	92
Italie	428,941	3.14	92
Luxembourg	11,343	0.08	92
Pays-Bas	167,600	1.23	92
Portugal	42,148	0.31	92
Espagne	227,322	1.66	92
Suède	61,256	0.45	92
Royaume Uni	577,012	4.22	92
Australie	288,965	2.11	108
Canada	462,643	3.38	94
Islande	2,172	0.02	110
Japon	1,155,000	8.45	94
Nouvelle Zélande	25,476	0.19	100
Norvège	35,514	0.26	101
Suisse	45,070	0.33	92
Liechtenstein	208	n.a.	92
Monaco	n.a.	n.a.	92
Economies en Transition	3,364,259	24.60	103
Bulgarie	82,990	0.61	107
République Tchèque	165,792	1.21	92
Estonie	37,797	0.28	92
Hongrie	71,673	0.52	110
Lettonie	22,976	0.17	92
Lituanie	n.a.	n.a.	92
Pologne	414,930	3.03	108
Roumanie	171,103	1.25	107
Fédération Russe	2,388,720	17.47	100
Ukraine	n.a.	n.a.	100
Slovaquie	58,278	0.43	92
Croatie	n.a.	n.a.	95
Slovénie	n.a.	n.a.	92
Total 1990	13,675,067	100	95

TAB. 2 - Accords différenciés de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'UE

Pays	Part des émissions de l'UE en 1990	Accords différenciés
Autriche	1.7	-13.0
Belgique	3.2	-7.5
Danemark	1.7	-21.0
Finlande	1.7	0.0
France	14.7	0.0
Allemagne	27.7	-21.0
Grèce	2.4	25.0
Irlande	1.3	13.0
Italie	12.5	-6.5
Luxembourg	0.3	-28.0
Pays-Bas	4.8	-6.0
Portugal	1.6	27.0
Espagne	7.0	15.0
Suède	1.6	4.0
Royaume Uni	17.9	-12.5
Total EU	100.0	8.0

TAB. 3 - Glossaire des unités utilisées dans le Protocole de Kyoto

<b>Assigned Amount Unit</b>	Les AAUs caractérisent les unités délivrées aux Parties de l'Annexe B. Ces unités sont échangeables entre pays de l'Annexe B et sont utilisés pour assurer la position de conformité avec l'objectif d'émissions. Chaque AAU est égal à une tonne de dioxyde de carbone, ou de gaz équivalents, émis dans l'atmosphère.
<b>Certified Emission Reduction</b>	Les CERs sont des unités échangées dans le cadre de l'Article 12 du Protocole de Kyoto. Ces unités sont générées par des projets réalisés dans les pays non-membres de l'Annexe B dans le cadre du Mécanisme de Développement Propre, et peuvent être utilisées pour la conformité des Parties de l'Annexe B à travers leurs cibles d'émissions du Protocole de Kyoto, et de l'EU ETS dans la limite de 13,4% en moyenne. Chaque CER est égal à une tonne de dioxyde de carbone, ou de gaz équivalents, émis dans l'atmosphère.
<b>Emission Reduction Unit</b>	Les ERUs sont des unités échangées dans le cadre de l'Article 6 du Protocole de Kyoto. Ces unités sont générées par des projets réalisés dans les pays membres de l'Annexe B dans le cadre du mécanisme de Mise en Oeuvre Conjointe, et peuvent être utilisées pour la conformité des Parties de l'Annexe B. Chaque ERU est égal à une tonne de dioxyde de carbone, ou de gaz équivalents, émis dans l'atmosphère.
<b>Removal Unit</b>	Les RMUs sont des unités issues sur la base du retrait de gaz à effet de serre dans le cadre des projets LULUCF liés aux activités d'utilisation des sols et des ressources forestières d'après les Articles 3.3 et 3.4 du Protocole de Kyoto. Ces unités peuvent être utilisées pour la conformité des Parties de l'Annexe B. Chaque RMU est égal à une tonne de dioxyde de carbone, ou de gaz équivalents, émis dans l'atmosphère.

Note: Ces unités sont détaillées dans l'Annexe B des objectifs de réduction d'émissions des Etats-Membres de l'Annexe B concernés par le Protocole de Kyoto. Elles sont valables pour la conformité des Membres, et sont égales à 1 tonne de CO<sub>2</sub> émise dans l'atmosphère, ou leur équivalent en autres gaz à effet de serre.

## Références

Alberola, E., Chevallier, J. et Chèze, B. (2009a). The EU Emissions Trading Scheme: Disentangling the Effects of Industrial Production and CO<sub>2</sub> Emissions on European Carbon Prices. *Economie Internationale* 116, 95-128.

Alberola, E., Chevallier, J. et Chèze, B. (2009b). Emissions Compliances and Carbon Prices under the EU ETS: A Country Specific Analysis of Industrial Sectors. *Journal of Policy Modeling* 31, 446-462.

Bohm, P. et Larsen, B. (1994), Fairness in a Tradeable-Permit Treaty for Carbon Emissions Reductions in Europe and the former Soviet Union, *Environmental and Resources Economics* 4, 219-239.

Congressional Budget Office (2000), *Who Gains and Who Pays Under Carbon- Allowance Trading? The Distributional Effects of Alternative Policy Designs*, Washington D.C.

Copeland, B.R. et Taylor, M.C. (1994), North-South Trade and the Environment, *Quarterly Journal of Economics* 109, 755-787.

Ellerman, A.D., Joskow, P.L., Schmalensee, R., Montero, J.P., et Bailey, E. (2000), *Markets for Clean Air: The US Acid Rain Program*, Cambridge University Press.

Faucheux, S. et Noël, J.-L. (1990), *Les menaces globales sur l'environnement*, La découverte, Repères, Paris.

GIEC, (2007), *Climate Change 2007*, Quatrième Rapport, Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, Nations Unies, Bonn.

Godard, O. (1997), Les enjeux des négociations sur le climat. De Rio à Kyoto: Pourquoi la convention sur le climat devrait intéresser ceux qui ne s'y intéressent pas, *Futuribles* 224, 33-66.

Godard, O. (1999), La dimension de l'équité dans les négociations sur le climat, *Les Cahiers de Global Chance* 12, 8-14.

Goulder, L. H. (1995), Environmental Taxation and the Double Dividend: A Reader's Guide, *International Tax and Public Finance* 2, 157-183.

Guesnerie R. (2003), Kyoto et l'économie de l'effet de serre, *Rapport du Conseil d'Analyse Economique*, La Documentation Française.

Hahn, F et Solow, R. (1995), *A critical Essay on Macroeconomic Theory*, Oxford, Blackwell Publishers.

Jouvet, P.A., Michel, P. et Rotillon, G. (2002), Capital Allocation and International Equilibrium with Pollution Permit, *Document de travail THEMA, Université Paris X et GREQAM, Université de la Méditerranée*.

Jouvet, P.A., Michel, P. et Rotillon, G. (2005), Optimal Growth with Pollution : How to Use Pollution Permits ?, *Journal of Economic Dynamics and Control* 29, 1597-1609.

Jouvet, P.A., Michel, P. et Rotillon, G. (2009), Competitive Markets for Pollution Permits: Impact on Factor Income and International Equilibrium, *Environmental Modeling and Assessment*, A paraître.

Koutstaal, P. (1997), *Economic Policy and Climate Change: Tradable permits for reducing carbon emissions*, Edward Elgar.

Kruger, J., Oates, W.E., and Pizer, W.A. (2007), Decentralization in the EU Emissions Trading Scheme and Lessons for Global Policy, *Resources for the Future Discussion Paper* 07-02.

Müller, B. (1998), Justice in global Warming Negotiations: How to obtain a procedurally fair compromise, *Oxford Institute for Energy Studies*, EV26.

Oates, W. E. (1995), Green Taxes: Can We Protect the Environment and Improve the Tax System at the Same Time? *Southern Economic Journal* 61, 915-922.

Parry I.W.H. (2002), Are Tradeable Emissions Permits a Good Idea? *Resources for the Future*, Issues Brief 02-33, Washington D.C.

Stokey, N. L. (1998), Are there limits to growth ? *International Economic Review* 39, 1-31.

Tietenberg T. (2003), The Tradable Permits Approach to protecting the Commons: What Have We Learned ?, *Working Paper, Department of Economics, Colby College, USA*.