



---

INSTITUT D'ÉCONOMIE ET  
DE POLITIQUE DE L'ÉNERGIE

---

**CAHIER DE RECHERCHE n°18**

**Régulation des marchés de droits d'émission négociables pour le CO<sub>2</sub>  
Une proposition de plafonds pour les quantités et pour les prix**

Patrick Criqui  
Laurent Viguié

5 janvier 2000

Institut d'économie et de politique de l'énergie  
Unité mixte de recherche du Centre National de la Recherche Scientifique et de l'Université Pierre Mendès France (UFR DGES)

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

## TABLE DES MATIERES

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>2. LA PROPOSITION EUROPEENNE DES « PLAFONDS SPECIFIES » OU « CONCRETE CEILINGS » : UNE ANALYSE ECONOMIQUE.....</b>	<b>4</b>
2.1. LA PROPOSITION DU CONSEIL DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT .....	4
2.2. LES CONSEQUENCES DE PLAFONDS SUR LES ACHETEURS DE PERMIS : QUELQUES FAITS STYLISES.....	6
2.3. L'INTRODUCTION DE PLAFONDS SUR LES VENDEURS DE PERMIS.....	8
2.3. UNE EVALUATION DES CONCRETE CEILINGS AVEC LE MODELE POLES .....	9
<b>3. LES PROPOSITIONS AMERICAINES POUR UNE LIMITATION DES COUTS PAR UN PRIX PLAFOND DES PERMIS (« TRIGGER PRICE »).....</b>	<b>15</b>
3.1. LA PROPOSITION D'UNE REGULATION PAR LES PRIX ET LES « SYSTEMES HYBRIDES » .....	15
3.2. UNE EVALUATION DU SYSTEME DU PRIX-PLAFOND AVEC LE MODELE POLES .....	18
<b>4. UN SYSTEME HYBRIDE AVEC « CONCRETE CEILINGS » ET « TRIGGER PRICE » : COMBINER LES AVANTAGES DES DEUX INSTRUMENTS ? .....</b>	<b>20</b>
4.1. CONCRETE CEILINGS + TRIGGER PRICE : DES QUANTITES MAXIMUM A UN PRIX MAXIMUM (QM-PM).....	20
4.2. QM-PM : LES RESULTATS DU MODELE POLES .....	21
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>24</b>

## 1. Introduction

Les systèmes de permis d'émission négociables (PEN) pour les gaz à effet de serre (GES), tels qu'ils pourraient découler du Protocole de Kyoto, c'est-à-dire s'ils sont limités aux pays de l'Annexe B et sans aucune mesure de régulation des échanges, apparaissent aujourd'hui peu acceptables, que ce soit pour les Etats-Unis ou pour l'Union Européenne.

Les Etats-Unis mettent tout d'abord en avant le problème de l'incertitude concernant les coûts de réduction des émissions : en effet, l'approche retenue dans le Protocole de Kyoto, celle des objectifs quantitatifs d'émission, laisse ouverte la question du coût des programmes de réduction. Ensuite, la mise en place d'un système de PEN pose le problème de l'« air chaud » des pays en transition : on sait qu'un marché limité aux pays de l'Annexe B pourrait se traduire par des transferts financiers massifs, notamment vers l'Ex-Union Soviétique, par l'achat de permis constitués essentiellement d'air chaud. Le Sénat américain s'opposera très probablement à la ratification du Protocole. Politiquement, le système de PEN conçu à Kyoto se présente donc comme un « shell game », un dialogue de sourds, notamment entre les Etats-Unis et l'Europe (Victor 1998). Pour pallier à ces difficultés et rendre le Protocole plus acceptable, plusieurs auteurs ont proposé d'imposer un prix plafond des permis (McKibbin et Wilcoxon 1997 ; Pizer 1998 ; Kopp et al. 1999a). Cette solution reviendrait donc à combiner un système de permis avec un système se rapprochant de celui de la taxe. Elle permettrait de bénéficier des avantages de la flexibilité apportée par le système de PEN, tout en évitant que les programmes de réductions ne deviennent trop coûteux.

Pour l'Union Européenne, le système de PEN n'est pas acceptable car il ne garantirait pas le respect du principe de « complémentarité » retenu dans le Protocole de Kyoto (article 6.1(d)), c'est-à-dire le fait que l'acquisition de permis doive venir en complément d'actions menées à l'intérieur de chaque pays de l'Annexe B. Avec un système de PEN non régulé, les pays industrialisés pourraient ne pas réaliser des efforts suffisants au plan interne. Or, certaines analyses indiquent que les systèmes socio-économiques sont caractérisés par de fortes inerties : face au risque d'enfermement (« *lock-in* ») dans des trajectoires technologiques intensives en GES, il serait donc important d'agir de manière précoce, afin de développer des compétences dans le domaine de la production de nouvelles technologies (« *learning by doing* ») et de lever les barrières marchandes et institutionnelles à leur diffusion (Grubb et al. 1995 ; Hourcade et Robinson 1996 ; Ha-Duong et al. 1997). Pour prendre en compte ces éléments, le Conseil des Ministres européens de l'environnement a proposé en mai 1999 que des « plafonds spécifiés » aux échanges de permis (« *concrete ceilings* ») soient instaurés. Cette solution consisterait à réguler le marché de permis par les quantités, en restreignant les importations ou exportations de PEN de chaque pays à un certain pourcentage de l'objectif total de réduction.

Des deux côtés de l'Atlantique, l'acceptabilité politique du système international de PEN n'est pas acquise et semble devoir impliquer une certaine forme de régulation du marché : mais il s'agirait d'une régulation par les prix pour les uns et d'une régulation par les quantités pour les autres. Les deux approches paraissent a priori inconciliables, ce qui pourrait conduire à douter de la possibilité même de la mise en œuvre future des systèmes de PEN. La Section 2. de ce papier, est consacrée à une analyse approfondie de la proposition européenne de quantités-plafond pour les échanges, ou « *concrete ceilings* », après un rappel des données structurelles d'un éventuel marché de PEN à 2010. Les propositions alternatives, formulées aux Etats-Unis, et concernant plutôt des plafonds au prix des permis, ou « *trigger price* », sont

examinées dans la Section 3. Après avoir montré que chacune des propositions précédentes pourrait impliquer des conséquences inacceptables pour les unes ou pour les autres des Parties au Protocole, la Section 4. propose une formule hybride de régulation des marchés de droits, susceptible de fournir une base nouvelle pour la négociation.

En effet, l'objectif principal de ce papier est de montrer que la mise en œuvre d'une «solution hybride» – consistant à limiter le volume des échanges tout en instaurant un prix plafond des PEN – pourrait fournir un cadre de régulation des marchés permettant de profiter d'une grande part des avantages économiques de ces marchés, tout en présentant des caractéristiques acceptables pour les différentes parties, du point de vue de l'environnement, comme de l'équité internationale (*fairness*).

Comme nous le verrons, la combinaison des deux approches ne constituerait certes qu'une politique de *second-best* mais elle permettrait malgré tout de limiter le coût total de l'objectif Kyoto, de réduire l'incertitude sur les coûts de réduction des émissions et de respecter le principe de complémentarité. Cette solution aurait aussi pour avantage de conduire à une répartition des gains sans doute plus acceptable que celle obtenue avec un marché parfaitement concurrentiel ou avec l'adoption de «plafonds» sans prix plafond. Enfin, cette solution hybride permettrait de mieux traiter le problème de l'air chaud en provenance des pays en transition – à un prix raisonnable pour l'ensemble des parties – alors que cette question apparaît de plus en plus comme l'un des points de fragilité du dispositif mis en place à Kyoto.

## **2. La proposition européenne des « plafonds spécifiés » ou « concrete ceilings » : une analyse économique**

Les Ministres de l'environnement de l'Union Européenne, collectivement plus sensibles aux « vices » qu'aux « vertus » des systèmes de PEN, ont à l'été 1999 proposé que soient instaurés des « plafonds spécifiés » aux échanges de permis. Cette proposition fait écho à l'article 6.1 (d) du Protocole qui souligne que « l'acquisition de permis de réduction d'émissions doit être additionnelle (*supplementary*) aux actions à l'intérieur d'un pays ». Ainsi, un pourcentage minimum de réduction devrait être assuré à l'intérieur des pays de l'Annexe B. Après avoir présenté en détails cette proposition et avoir analysé ses implications économiques à partir de graphiques stylisés, nous proposerons une évaluation quantitative des différentes règles de contrainte et de leurs conséquences, à partir du modèle énergétique mondial POLES (Criqui et al. 1998).

### **2.1. La proposition du Conseil des Ministres de l'Environnement**

Les propositions du Conseil Européen de l'Environnement de Mai 1999 conduisent à combiner un ensemble de règles prenant en compte les différents « points de départ » et les objectifs de réduction des différentes Parties de l'Annexe B (EU 1999); à partir des différentes règles mentionnées, nous avons identifié six hypothèses pour les « contraintes aux échanges ».

Selon la première règle (R1), les acquisitions nettes d'un pays de l'Annexe B pour les trois mécanismes de Kyoto ne doivent pas excéder 5 % de la moyenne entre ses émissions de 1990 et l'objectif de Kyoto. Pour l'Union Européenne, par exemple, l'importation de PEN ne peut excéder 5% de la moyenne entre les émissions de 1990 et 92% des émissions de 1990.

Sachant que les émissions de 1990 sont de 892 MtC<sup>1</sup>, la quantité maximum de permis que l'Union Européenne pourrait importer serait alors égale à 43 MtC. Cette formule a pour avantage d'être simple et immédiatement calculable ; le nombre de tonnes que peut importer chaque pays découle en effet de calculs sur des données aujourd'hui connues.

Dans le cas de la deuxième règle proposée (R2), les acquisitions nettes d'un pays de l'Annexe B pour les trois mécanismes de Kyoto ne doivent pas excéder 50 % de la différence entre le maximum des émissions entre 1994 et 2002 d'une part et l'objectif de Kyoto d'autre part. Cette formule permet de prendre en compte les différentes dynamiques des émissions des Parties entre l'année de référence et l'année de mise en place des mécanismes de Kyoto. Cette formule a pour avantage d'apporter plus de flexibilité que la règle R1. En revanche, elle a pour inconvénient de pénaliser ceux qui ont réalisé des efforts de réduction des émissions dès les premières années.

La règle R3 vise à introduire des marges de manœuvre par rapport à R1 et R2 : le Conseil de l'Environnement propose en effet que chaque pays de l'Annexe B en situation d'acheter des crédits d'émission puisse choisir la règle la plus avantageuse pour lui, entre R1 et R2.

La règle R4 – que nous qualifierons de « Règle du Conseil » car il s'agit de la proposition complète finalement retenue – consiste à imposer une contrainte aux vendeurs comme aux acheteurs de crédits d'émission : il s'agit précisément d'appliquer la règle R3 aux acheteurs et la règle R1 aux vendeurs. La fraction de l'Ex-URSS faisant partie de l'Annexe B, par exemple, ne pourrait pas vendre plus de 5% de ses émissions de 1990 (puisque cette région s'est engagée à stabiliser ses émissions au niveau de 1990 à l'horizon 2010). Sachant que les émissions de cette région étaient d'environ 800 MtC en 1990, la vente de crédits d'émission de cette région serait ainsi limitée à 40 MtC. Cette règle de contrainte aux échanges a pour effet de limiter la quantité d'air chaud (« *hot air* ») introduite dans le système des PEN en première période ; mais elle ne résout pas en elle-même le problème de l'air chaud.

Le cas R5 correspond à une hypothèse construite uniquement pour des fins analytiques dans cette étude et qui ne figure évidemment pas dans la Proposition du Conseil des Ministres : il s'agit de tester l'hypothèse d'un engagement unilatéral de l'Union Européenne à respecter des ceilings; elle revient à appliquer la règle R3 uniquement à l'Union Européenne, sans que ne soit imposée de contrainte aux autres régions de l'Annexe B, qu'elles soient en situation d'acheter ou de vendre des crédits d'émission.

Enfin, il faut signaler la présence dans la proposition européenne d'une clause d'exception (parfois qualifiée de « *However clause* ») : cette clause stipule que le plafond sur les acquisitions nettes d'un pays de l'Annexe B peut être étendu au cours de la période de budget, à condition que celui-ci ait entrepris depuis 1993 des actions de réduction des émissions au niveau national qui soient vérifiables. Cette clause peut s'appliquer aussi bien aux acheteurs potentiels de permis qu'aux vendeurs. A l'extrême, un pays qui serait en mesure de démontrer qu'il a réalisé en interne un effort de réduction correspondant à 50% de son objectif de réduction – c'est-à-dire la différence entre sa projection de référence et son quota d'émission pour 2010<sup>2</sup> – pourrait acheter (ou vendre) des PEN à hauteur des 50% restants. Cette formule à l'avantage d'être moins contraignante que R1 et R2, et donc de permettre une augmentation importante des échanges et des gains économiques associés. Elle présente toutefois

<sup>1</sup> Cette estimation correspond à la base de données et aux conventions utilisées dans le modèle POLES; elle peut différer légèrement des estimations officielles fournies dans le contexte de la Convention Cadre sur le Changement Climatique.

<sup>2</sup> Par souci de simplification, et bien que nous n'ignorions pas que les objectifs et les contraintes sont formulés pour une période budgétaire allant de 2008 à 2012, toutes nos analyses et calculs sont menés en considérant l'année centrale de la période budgétaire, 2010.

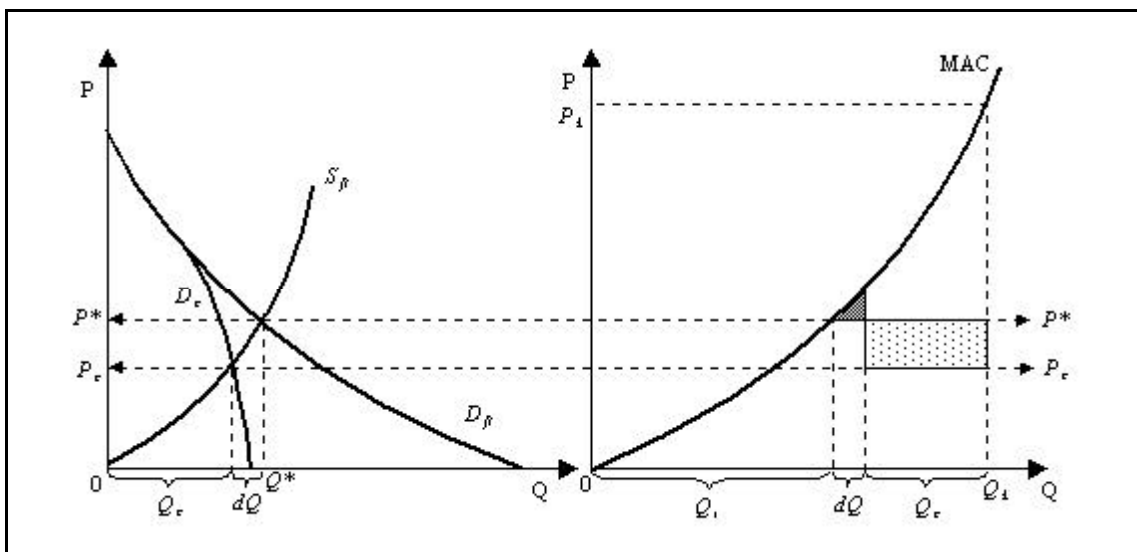
l'inconvénient majeur de ne pas reposer exclusivement sur des données directement observables : c'est le problème de la vérification des actions nationales de réduction – ou en d'autres termes celui de la définition de la projection de référence en 2010 s'il n'y avait pas eu de politique de réduction des émissions.

## 2.2. Les conséquences de plafonds sur les acheteurs de permis : quelques faits stylisés

Supposons dans un premier temps que soit mis en place un système de PEN au sein des pays de l'Annexe B. Dans le graphique 1, les axes des abscisses représentent les quantités  $Q$  de réduction tandis que les axes des ordonnées représentent la valeur  $P$  d'une tonne de carbone. Le graphique de gauche représente la courbe d'offre de PEN  $S_{fi}$  et la courbe de demande de PEN  $D_{fi}$  en univers concurrentiel. Dans cette situation, l'équilibre du marché s'établit au niveau  $Q^*$  pour un prix du permis équivalent à  $P^*$ . Le graphique de droite représente la courbe de coûts marginaux de réduction des émissions (CMR, en anglais *Marginal Abatement Cost curve*) pour les pays qui se sont engagés à réduire leurs émissions de GES.

En l'absence de flexibilité géographique, le coût marginal de la réduction permettant d'atteindre l'objectif de Kyoto  $Q_k$  est égal à  $P_k$ . Le coût total de cette réduction est alors égal à la surface située sous la courbe de CMR jusqu'à l'abscisse  $Q_k$ . Si les pays de l'Annexe B ont la possibilité d'échanger des PEN, ils réalisent alors un effort de réduction en interne équivalent à la quantité  $Q_i$  et importent une quantité  $Q_k - Q_i$  de PEN.

### Graphique 1. Effets d'une faible contrainte aux échanges sur le marché des PEN et sur les coûts de réduction des émissions



Admettons maintenant que les importations de permis sont limitées. La courbe de demande de PEN est alors  $D_c$  sur le graphique 1. Cette contrainte pesant sur la demande a pour effet de limiter le volume des échanges au niveau  $Q_c$  et de faire passer le prix du permis de  $P^*$  à  $P_c$ . Les réductions réalisées en interne par les pays contraints sont alors augmentées de la quantité  $dQ$  tandis que la quantité de permis échangée est égale à  $Q_c$ .

La contrainte imposée sur la demande de PEN a deux effets sur les coûts des pays importateurs de permis, par rapport à la situation parfaitement concurrentielle :

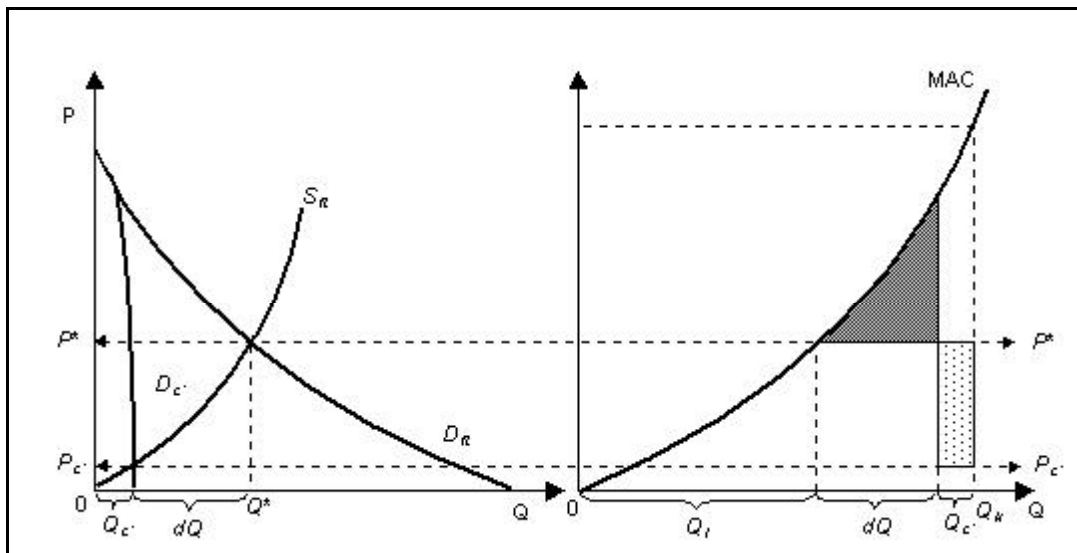
- d'une part l'augmentation des réductions internes se traduit par un surcoût égal au triangle hachuré sur le graphique ;

- d'autre part la baisse du prix du permis liée à la réduction de la demande internationale totale de PEN permet aux pays importateurs de réaliser un gain net sur le marché équivalent au rectangle hachuré sur le graphique.

Jusqu'à un certain niveau de contrainte, la mesure de limitation des échanges se traduit par une réduction nette du coût total de l'objectif de réduction des émissions de GES (la surface du triangle est inférieure à celle du rectangle). En revanche, lorsque la contrainte sur les échanges de PEN est forte, le surcoût associé à la réduction supplémentaire réalisée en interne devient supérieur aux gains associés à la baisse du prix des permis (cf. graphique 2). L'effet est doublement négatif pour les pays exportateurs, puisqu'ils exportent une quantité de PEN inférieure à la quantité vendue en situation concurrentielle, et qui plus est, à un prix plus bas.

Cette situation et les conséquences – peut-être inattendues – de l'introduction de contraintes sur la demande ont été mises en évidence dans les premiers travaux systématiques sur les contraintes aux échanges (Criqui et al. 1999); elles ont été démontrées et explorées par Ellerman et al. (1999) qui ne manquent pas de souligner, en termes explicites, que l'instauration des contraintes aux échanges peut constituer «une invitation au monopsonne». Afin d'analyser complètement les effets de l'introduction d'une contrainte, il importe donc de distinguer deux cas différents : celui d'une «contrainte faible» qui entraînera une baisse du coût total des importateurs par rapport à la situation concurrentielle et celui d'une «contrainte forte» dans lequel le coût total augmentera à nouveau. Entre les deux se situera, dans l'analyse d'Ellerman, l'optimum du monopsonne, ou plutôt, en l'occurrence, de l'oligopsonne des pays acheteurs de permis.

### Graphique 2. Effets d'une forte contrainte aux échanges sur le marché des PEN et sur les coûts de réduction des émissions

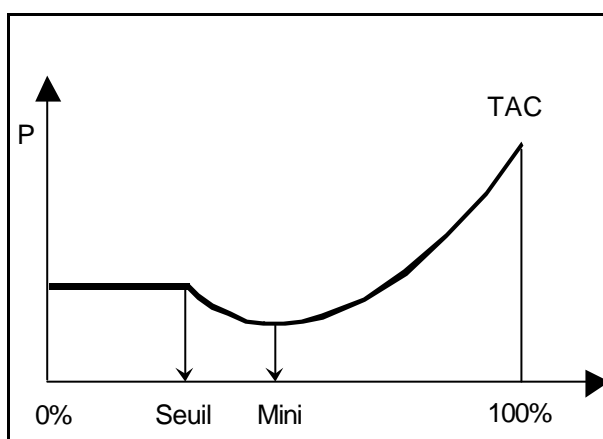


Comme nous l'avons déjà montré dans un article précédent, la courbe de coût total de réduction des émissions a une forme en U (Criqui et al. 1999). Ellerman et al. (1999) ont depuis démontré que cette forme en U des courbes de coût total est une caractéristique générale des restrictions imposées sur la demande de permis (cf. graphique 3) :

- jusqu'à un certain seuil, par exemple de 0% à 20% ou 30%, la contrainte n'a aucun effet sur les valeurs nationales et internationales du carbone et, par conséquent, sur les coûts totaux de réduction ; en effet, tous les pays ont des potentiels de réduction des émissions à

- bas et ont la possibilité d'effectuer des réductions internes même si les importations de permis ne sont pas contraintes ;
- au-delà de ce seuil, la mesure de limitation des échanges a un effet sur la demande de permis ; tant que la contrainte n'est pas trop forte, le surcoût associé à l'augmentation de la réduction interne est inférieur aux gains liés à la baisse du prix des permis, de telle sorte que le coût total de l'objectif est plus faible qu'en univers concurrentiel ;
  - quand la contrainte devient très forte, la tendance s'inverse et le bilan devient négatif. La baisse du prix des permis ne compense plus l'augmentation des coûts internes. Le coût total devient maximum lorsque la flexibilité est nulle, c'est-à-dire quand les pays de l'Annexe B doivent réaliser 100% de leur objectif de réduction en interne ; pour les exportateurs de permis, les gains diminuent de manière continue, à mesure que les restrictions sur la demande se renforcent.

### Graphique 3. Relation entre limitation des importations et coût total de l'objectif de réduction



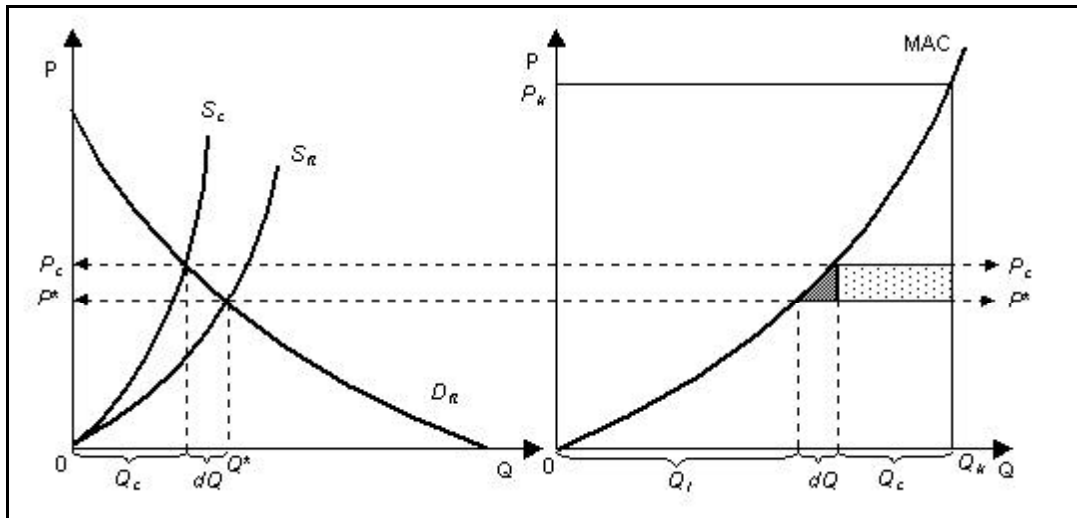
### 2.3. L'introduction de plafonds sur les vendeurs de permis

Admettons maintenant que soient prises des mesures visant à limiter l'offre de permis (exemple de la règle R4). La courbe d'offre n'est plus alors celle que nous avons en concurrence parfaite  $S_{fi}$  mais devient  $S_c$  (cf. graphique 4). Sous l'effet de cette mesure de restriction des exportations de permis, les échanges se limitent au niveau  $Q_c$  et se réalisent au prix  $P_c$ , supérieur à  $P^*$ .

Pour les pays devant réaliser un effort de réduction des émissions, cela se traduit par un surcoût lié à l'augmentation des réductions internes égale à  $dQ$  (triangle hachuré) et par un surcoût lié à l'augmentation du prix des permis importés (rectangle hachuré).

Cette limitation de l'offre favorise les pays exportateurs puisqu'elle leur permet de vendre peu mais cher, et donc d'augmenter leurs gains par rapport à la situation concurrentielle. Autant dire que la mise en place d'une mesure de restriction de l'offre revient à créer artificiellement, du seul fait de l'initiative des acheteurs, les conditions d'un marché de permis de nature monopolistique ou oligopolistique.

**Graphique 4. Effets d'une contrainte sur l'offre sur le marché des PEN et sur les coûts de réduction des émissions**



La règle R4 ou « Règle du Conseil » combine en fait contraintes pour les acheteurs et contraintes pour les vendeurs. Nous examinerons les conséquences et enjeux économiques de cette double contrainte dans le cadre de sous-section suivante, qui constitue une application des différents schémas de règles au cas concret du Protocole de Kyoto.

### 2.3. Une évaluation des concrete ceilings avec le modèle POLES

Dans cette section, nous mesurons les impacts économiques de l'introduction d'une contrainte aux échanges sur le marché des PEN à partir du modèle POLES. A partir des résultats obtenus en concurrence parfaite, nous serons alors en mesure d'évaluer l'influence des différentes règles de contrainte sur le coût de l'objectif défini à Kyoto et d'analyser leurs effets redistributifs.

#### Le marché des permis Annexe B en concurrence parfaite

Conformément au Protocole de Kyoto, on peut envisager la mise en place d'un marché de PEN au sein des pays de l'Annexe B. Dans un premier temps ces marchés sont supposés parfaitement concurrentiels : les participants potentiels ne sont pas restreints par des limites sur les échanges ; la participation aux échanges est conduite seulement par des motifs économiques ; le marché fonctionne sans coûts de transactions ; il n'y a aucun comportement monopolistique. En raison de cette hypothèse d'un marché parfait, la valeur du permis doit alors être interprétée comme une valeur minimale et, inversement, le niveau d'échanges comme un niveau maximal. Les résultats restent donc largement théoriques, mais ils permettent d'identifier des ordres de grandeur raisonnables et de tirer un certain nombre de conclusions analytiques. Les travaux présentés dans un précédent article (Criqui et al. 1999) peuvent être résumés de la manière suivante<sup>3</sup> :

- dans le cas de l'établissement d'un marché de droits entre tous les pays ayant souscrit des engagements quantitatifs à Kyoto, le prix du permis est de 64 \$90/tC (cf. tableau 1).

<sup>3</sup> Les résultats quantitatifs sont légèrement différents du fait de la révision du cas de référence du modèle POLES survenue entre-temps mais les enseignements analytiques sont identiques.

- à ce prix de marché, le volume des échanges est de 410 MtC. Les permis sont achetés par les pays de l'OCDE aux pays d'Europe de l'Est de l'Annexe B et à l'Ex-URSS. L'ex-URSS représente 92% de l'offre ; 73% des permis sont issus de l'« air chaud ».
- l'instauration d'un marché de PEN au sein de l'Annexe B a pour effet de réduire le coût d'observance des engagements de Kyoto (*compliance cost*) pour les pays du Nord (de 19 G\$90) et de faire apparaître des profits importants pour les pays d'Europe de l'Est (1 G\$90), mais surtout pour l'ex-URSS (21,5 G\$90).

**Tableau 1 : Impact sur les coûts de réduction d'une flexibilité complète au sein de l'Annexe B**

2010 Kyoto	Emissions (MtC)				Echanges : Prix du Permis 64,1 \$/tC					Pas d'échange			Gains (M\$)
	2010 Ref (Mt)	2010 Kyoto (Mt)	2010 Scen-ario (Mt)	red. Int. / reduc. Totale	Echges (Mt)	Valeur des échges (M\$)	Coût interne (M\$)	Coût total (M\$)	% du PIB	Coût marg. (\$/tC)	Coût total (M\$)	% du PIB	
Etats-Unis	1 743	1 240	1 484	51,5	-243,8	15 621	7 812	23 433	0,27	159,2	34 030	0,39	10 597
Canada	142	109	126	47,1	-17,6	1 126	443	1 569	0,19	207,3	2 727	0,34	1 158
Union Européenne	995	821	914	46,8	-92,7	5 940	2 476	8 417	0,10	168,5	12 980	0,15	4 563
4 PECO annexe B	199	197	172		25,2	-1 614	821	-793	-0,13	3,6	4	0,00	796
Reste des PECO annexe B	74	72	66		5,8	-374	232	-142	-0,07	13,3	12	0,01	154
Ex-URSS annexe B	515	800	422		378,8	-24 270	2 768	-21 502	-1,53	0,0	0	0,00	21 502
Japon	350	279	320	41,6	-41,6	2 664	889	3 553	0,11	213,1	6 324	0,20	2 771
Australie + NZ	126	89	103	61,8	-14,1	906	679	1 585	0,25	125,1	1 981	0,31	396
Total Bulle	4 143	3 607	3 607	49,9	(410)	(26257)	16 121	16 120	0,07	-	58 057	0,24	41 937
Reste du monde	4 205	4 205	4 205	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monde	8 348	7 812	7 812	-	(410)	(26257)	16 121	16 120	0,03	-	58 057	0,12	41 937

### Le cas d'une contrainte sur la demande variant de manière continue

Dans cette sous-section, nous analysons à partir du modèle POLES les conséquences économiques de la mise en œuvre d'une contrainte sur la demande de PEN dans le cadre d'un marché Annexe B. Nous considérons à cette étape des plafonds de réduction d'émission variant de manière continue entre 0% et 100% de la réduction (par rapport à la référence) devant être effectuée en interne, pour tous les pays de l'Annexe B.

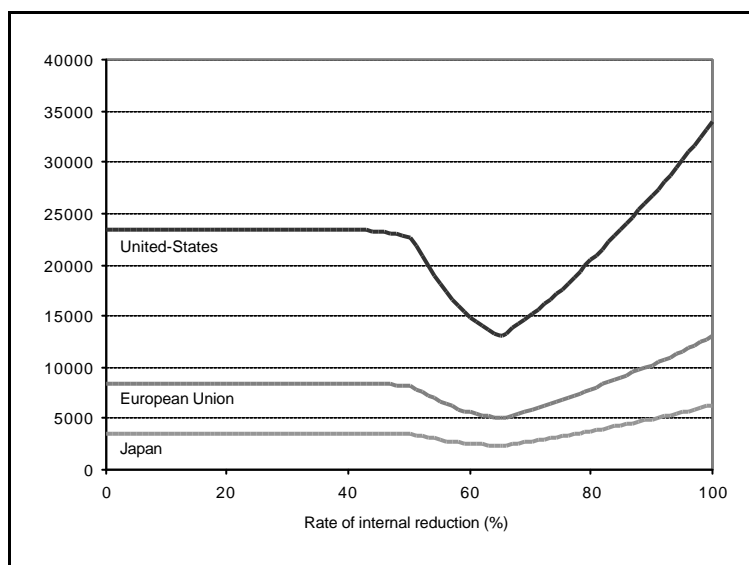
Comme nous l'avons noté plus haut, les contraintes obligent les pays importateurs à réaliser des réductions plus importantes en interne, elles se traduisent par une augmentation des coûts de réduction domestiques et donc de la valeur nationale du carbone, mais corrélativement par une baisse de la demande et du prix international du permis. Valeur internationale et valeurs nationales du carbone, qui sont identiques dans un marché concurrentiel sont dissociées lorsque le marché est contraint : l'effet global d'une limitation des importations peut alors être positif ou négatif pour les acheteurs cela dépend des coût marginaux de réduction du pays importateur et du niveau de restriction imposée sur les importations. Pour les exportateurs en revanche, la réduction conjuguée des quantités échangées et du prix des permis se traduit toujours par une baisse des gains. Autant dire que la limitation des échanges est une mesure susceptible d'avoir des effets redistributifs non négligeables.

Le graphique 5 illustre les courbes de coût total en U évoquées plus haut, pour les Etats-Unis, l'Europe et le Japon, dans le cas « Kyoto » :

- tant que la limitation est inférieure à 40% des importations, les conditions du marché de PEN ne changent pas : le prix du permis et la quantité échangée demeurent identiques car tous les pays importateurs réalisent une réduction équivalente à 40% de leur objectif avec ou sans limitation
- le coût total de réduction tend à diminuer jusqu'à une valeur de réduction en interne de 65 % à partir de laquelle il augmente alors à nouveau ;
- mais il faut ensuite atteindre une contrainte de 80 à 85% pour que le coût total de l'objectif de réduction s'approche à nouveau de celui estimé en l'absence de toute limitation.

Du côté des pays exportateurs, soit essentiellement l'ex-Union Soviétique, une mesure de limitation des échanges serait synonyme de réduction des gains sur le marché des PEN : plus la limitation sera élevée et plus les gains réalisés seront faibles pour les vendeurs de permis. Pour une limitation inférieure à 40%, le prix du permis et le volume des échanges restent inchangés ; les gains réalisés par les pays exportateurs ne changent pas (22,5 G\$90). Au-delà de ces 40%, les gains sont décroissants puisque le prix du permis et le volume des échanges diminuent progressivement. Ils deviennent nuls pour une limitation supérieure à 65% puisque tout l'air chaud ne peut être écoulé.

#### Graphique 5 : Impacts sur les coûts totaux de réduction de l'introduction d'une contrainte sur les échanges (en M\$)



#### Le cas des « concrete ceilings » européens

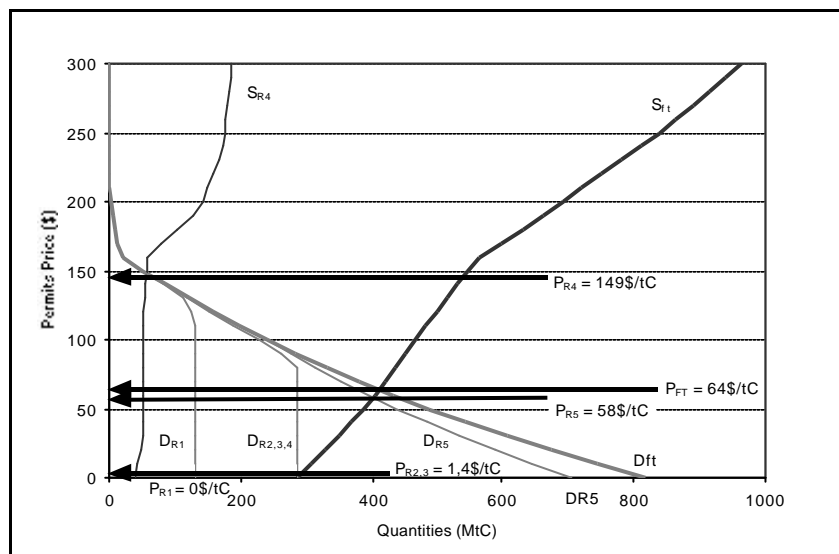
Le graphique 6 fournit une description complète de la manière dont les règles sont susceptibles de modifier les courbes de demande et d'offre sur le marché des permis d'émission et donc d'analyser leurs conséquences en termes de prix des permis. En situation de concurrence parfaite, la demande de permis d'émission correspond à la courbe  $D_t$  et l'offre de permis à la courbe  $S_t$  (cf. graphique 6). Comme nous l'avons indiqué, la valeur internationale du carbone est alors de 64 \$90/tC. L'introduction de la règle R1 sur un marché de permis négociables au sein de l'Annexe B se traduit par un déplacement de la courbe de demande de permis ( $D_{R1}$ ). Selon POLES, le prix du permis est alors nul, puisque le volume maximum de la demande (130 MtC) est inférieur au volume de l'air chaud (286 MtC).

L'adoption de la règle R2 est moins contraignante pour les importateurs que R1 : elle conduit en effet à limiter la demande de permis à 300 MtC (courbe  $D_{R2}$ ). Dans ces conditions le prix du permis est très faible (1,4 \$/tC) puisque le volume maximum de la demande n'est que très légèrement supérieur au volume de l'air chaud.

L'imposition d'une contrainte sur l'offre (R4) modifie profondément l'équilibre du marché. Avec R4, l'offre maximum de permis est limitée à 185 MtC (courbe d'offre  $S_{R4}$ ) tandis que la demande passe par la courbe  $D_{R2}$ . A ce niveau, la contrainte pesant sur la demande ne joue pas, de telle sorte que le prix du permis augmente fortement (149 \$/tC) et que les échanges sont limités à environ 55 MtC. Dans ce cas, on est bien dans une situation de limitation par l'offre: Ellerman et Wing (1999) soulignent le fait que les contraintes sur la demande peuvent conduire au monopsonne, en fait on obtient plutôt dans la "règle du conseil" une configuration de monopole, mais que s'auto-imposent les acheteurs...

Un engagement unilatéral de l'Union Européenne à respecter R3 a un effet limité sur le fonctionnement du marché de PEN au sein de l'Annexe B. Le prix du permis passe de 64 \$/tC à 58 \$/tC sous l'effet d'une faible réduction de la demande globale de permis (courbe  $D_{R5}$ ). Ce sont évidemment les autres acheteurs qui bénéficient de la baisse de prix induite par l'auto-limitation européenne.

### Graphique 6 : Effets des « plafonds européens sur le marché de PEN Annexe B



Sachant que la finalité des règles envisagées par l'Union Européenne est de mettre en place les conditions de la « complémentarité », il est important d'évaluer leur impact sur l'effort de réduction interne des pays de l'Annexe B. Il est tout d'abord intéressant de souligner que les taux de réduction interne ne sont pas négligeables en situation de concurrence parfaite : en l'absence de toute règle de contrainte, les Etats-Unis et l'Europe réalisent environ 50% de leur objectif de réduction en interne contre 42% pour le Japon (cf. graphique 7). Cela s'explique par le fait que tous les pays de l'Annexe B offrent des potentiels significatifs de réduction des émissions à un coût inférieur à 64 \$/tC.

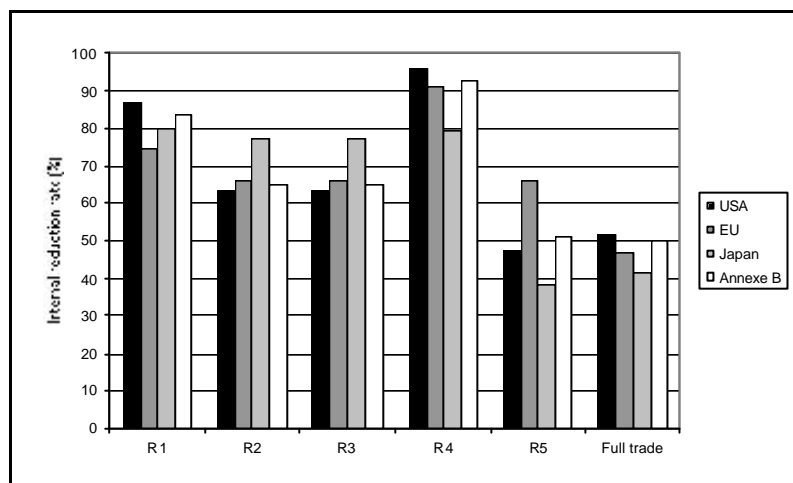
L'adoption de la règle R1 conduit les pays de l'Annexe B à réaliser en moyenne 85% de leurs réductions en interne. Les Etats-Unis doivent effectuer 87% de leur effort de réduction au niveau national contre 80% pour le Japon et 75% pour l'UE. Ces différences s'expliquent à la fois par les hypothèses retenues concernant la croissance des émissions dans les scénarios de

référence (+ 31% pour les Etats-Unis, +18% pour le Japon et +12% pour l'UE) et par les différences de coûts marginaux de réduction entre ces régions (cf. Criqui et al. 1999).

Comme nous l'avons indiqué précédemment, la règle R2 offre plus de flexibilité que la règle R1. Le taux de réduction interne n'est alors que de 65% en moyenne pour l'ensemble des pays de l'Annexe B. Cette formule tend à pénaliser les régions ayant eu une croissance limitée des émissions en début de période - l'Union européenne (66%) et surtout le Japon (77%) - par rapport aux Etats-Unis (63%). Dans tous les cas examinés ici la règle R2 est plus favorable que R1 pour l'ensemble des Parties de l'Annexe B, ce qui signifie que R3 est équivalente à R2.

Enfin, la règle R4 est la règle globalement la plus contraignante parmi celles proposées par l'Union Européenne : en moyenne, les pays de l'Annexe B effectuent 93% des réductions d'émission en interne. La contrainte est toutefois moins sévère pour le Japon que pour les Etats-Unis et l'Union Européenne : ayant des coûts marginaux de réduction plus élevés, le Japon ne peut réaliser que 80% de ses réductions à moins de 149 \$/tC.

### Graphique 7 : Taux de réduction interne pour les différentes règles de contrainte



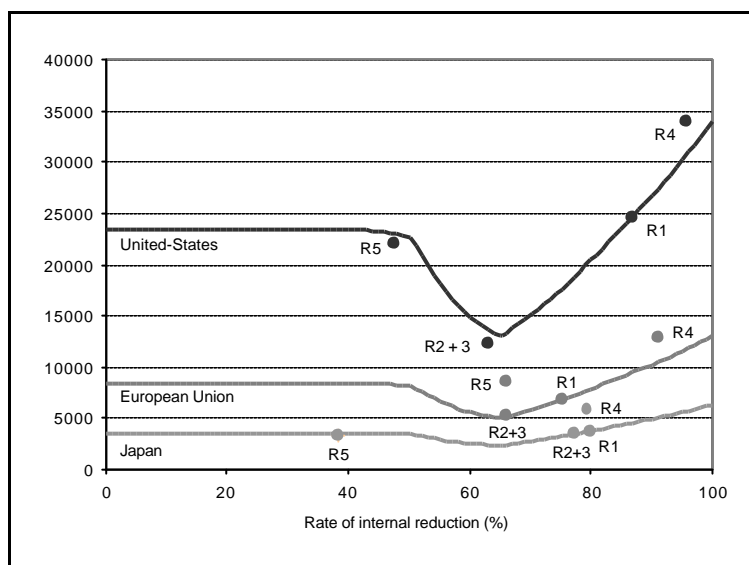
Le coût total de réduction des émissions pour les différentes régions de l'Annexe B peut donc fortement varier selon la règle de limitation des échanges retenue. La règle R1 donne des résultats très proches de la situation de concurrence parfaite pour les Etats-Unis et le Japon : pour les Etats-Unis, le coût total de Kyoto passe de 23,4 G\$90 à 24,7 G\$90 tandis qu'il passe de 3,6 à 3,8 G\$90 pour le Japon (cf. graphique 8). L'Union Européenne est au contraire favorisée par l'adoption de R1 puisque le coût total d'observance baisse de 20% par rapport à la situation concurrentielle (de 8,4 G\$90 à 6,8 G\$90).

La règle R2 permet aux Etats-Unis et à l'UE de minimiser le coût d'observance. Cette formulation des « concrete ceilings » est particulièrement avantageuse pour les Etats-Unis : le coût total de l'objectif de réduction des GES passe à 12,3 G\$90, soit près de la moitié du coût en concurrence parfaite et le tiers du coût sans flexibilité. Mais le gain n'est pas négligeable pour l'Union Européenne, puisque le coût total de Kyoto baisse de 38% par rapport à la flexibilité complète. Le Japon est perdant dans cette configuration puisque ce pays voit son coût total croître de 0,2 G\$90 sous l'effet de l'introduction de R2. Il faut noter malgré tout que la règle R2 est plus favorable que R1 à l'échelle de l'ensemble de l'Annexe B.

Le graphique 8 montre que le respect de la règle R4 dans le cadre d'un marché de permis revient à imposer aux pays de l'Annexe B un coût total de réduction des émissions très proche du coût supporté en l'absence de flexibilité. Seul le Japon est en mesure de bénéficier quelque peu de la flexibilité accordée (-0,4 G\$90).

Notre analyse permet aussi de mettre l'accent sur les effets inattendus d'un engagement unilatéral de l'UE à respecter la règle R3. En adoptant cette stratégie, l'Union Européenne passe d'un taux de réduction interne de 47% à 66% pour un surcoût relativement limité (0,2 G\$90). Toutefois, cette option a pour effet de réduire le coût de Kyoto de 1,4 G\$90 pour les Etats-Unis.

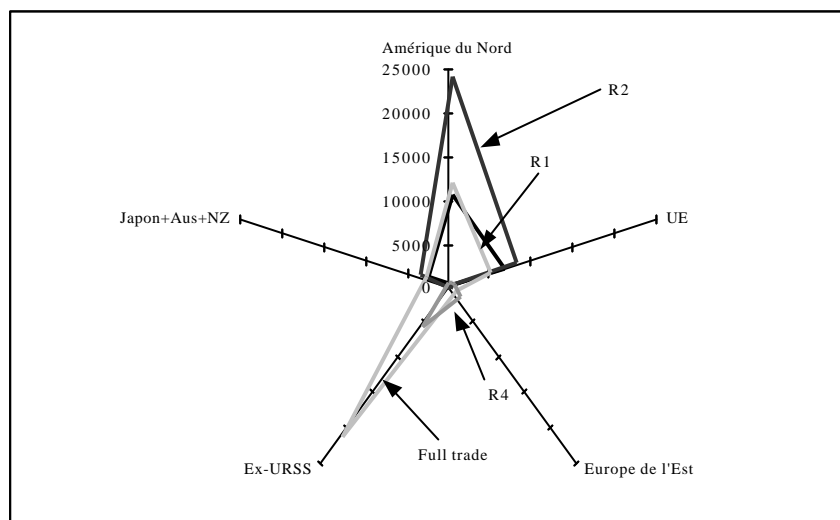
### Graphique 8 : Impacts sur les coûts totaux de réduction de l'introduction des règles européennes (en M\$)



Comme l'ont déjà souligné Bernstein et al. (1999) et Ellerman et al. (1999), la proposition européenne des « concrete ceilings » peut dans certains cas être plus favorable aux Etats-Unis – pourtant opposés à ces mesures – qu'à l'Union Européenne. Comme le montre le graphique 9, l'adoption de la règle R1 permet à l'UE d'augmenter ses gains de 1,6 G\$90 en comparaison de la situation concurrentielle tandis que les Etats-Unis perdent environ 1 G\$90. En revanche, les Etats-Unis sont très largement gagnants dans le cas où la règle des 50% est adoptée (R2).

Du côté des exportateurs, les gains de l'échanges sont fortement réduits par rapport à ce qu'ils sont dans le cas où les échanges ne sont pas restreints. Les gains de l'ex-Union Soviétique passent de 21,5 G\$90 en concurrence parfaite à 6 G\$90 avec R4 et moins de 400 M\$90 avec R2. La règle R4 pourrait néanmoins être extrêmement favorable pour la Russie dans l'hypothèse où elle pourrait effectuer un banking des droits non vendus (cette hypothèse est prévue dans le Protocole, mais uniquement pour les besoins internes du pays, « banking but not borrowing »). Les restrictions imposées sur l'offre lui permettent de vendre très peu d'air chaud (40 MtC sur les 285 MtC au total) mais à un prix très élevé (149 \$90/tC). Elle peut ainsi mettre en « banking » 245 MtC qu'elle pourrait utiliser dans le futur.

**Graphique 9 : Effet des plafonds européens sur les gains de l'échange (en M\$)**



### 3. Les propositions américaines pour une limitation des coûts par un prix plafond des permis (« trigger price »)

Dans la section précédente, nous avons donc analysé les impacts économiques de la proposition européenne d'une régulation des systèmes de PEN par les quantités. Dans cette partie nous tenterons d'explorer une seconde hypothèse, de plus en plus privilégiée aux Etats-Unis, d'une régulation par les prix.

#### 3.1. La proposition d'une régulation par les prix et les « systèmes hybrides »

L'article séminal de Weitzman (1974) sur la régulation de l'environnement par les prix ou par les quantités a exploré le rôle de l'incertitude dans le choix des instruments de politique environnementale : lorsque l'information sur les coûts et les bénéfices des actions environnementales est parfaite, le même résultat peut être obtenu soit à partir d'une régulation par les quantités, soit à partir d'une régulation par les prix. Cependant Weitzman montre qu'en situation d'incertitude, le choix de l'instrument dépend des pentes relatives de la courbe des dommages/bénéfices marginaux et de la courbe des coûts marginaux de réduction. Il est préférable d'opter pour une régulation par les prix quand la pente de la courbe des dommages est relativement plate. On devra au contraire opter pour une régulation par les quantités lorsque c'est la pente de la courbe des coûts marginaux de réduction qui est relativement plate.

A la suite des résultats initiaux de Weitzman, certains auteurs ont proposé des solutions hybrides consistant à combiner les permis et les taxes (Roberts and Spence 1976 ; Weitzman 1978)<sup>4</sup>. Un marché de permis est mis en place mais un prix plafond est instauré sur ce marché : tant que le prix du marché est inférieur au prix plafond, les producteurs achètent des permis. Dès que le prix plafond est atteint, les producteurs achètent des permis additionnels au gouvernement au prix fixé (« trigger price »). Cette solution permet de réduire l'incertitude concernant le coût du programme : en effet le coût maximum du programme, l'achat de tous les permis au prix plafonné, est connu *ex ante*. Par contre, le niveau résultant des émissions est, comme dans le cas d'une taxe, inconnu.

<sup>4</sup> Il faut souligner ici que les véritables pionniers des instruments hybrides sont bien W. J. Baumol et W. E. Oates qui dès 1971 proposaient l'utilisation combinée de standards environnementaux et de prix (ou taxes) pour la régulation de l'environnement (Baumol et Oates 1971).

McKibbin et Wilcoxon (1997) ont proposé cette solution dans le cas du changement climatique. Ils suggèrent que chaque gouvernement mette en place un marché national de permis et propose de vendre des permis additionnels aux entreprises à un prix donné, par exemple 10 \$/tC : il s'agit ainsi d'introduire un « second guichet » (*second window*) où des permis sont disponibles à prix fixe. Ce que proposaient ces auteurs n'était pas censé s'appliquer au plan international – il n'y a pas d'échanges internationaux – mais elle était conçue comme permettant une coordination des politiques nationales. Selon McKibbin et Wilcoxon, cette approche hybride permettrait de réduire le coût des programmes et les coûts de contrôle (monitoring and enforcement) et aussi d'éviter d'introduire des distorsions dans le commerce international.

A la suite de McKibbin et Wilcoxon, Pizer (1998) a testé l'idée d'un marché de permis négociable combiné avec un prix plafond, inférieur à 25 \$/tC initialement. Ces travaux montrent qu'en situation d'incertitude la politique hybride est plus efficace économiquement que chaque système pur (taxe ou permis). De plus, la combinaison des instruments permet de préserver l'une des caractéristiques les plus intéressantes des systèmes de permis : la possibilité d'agir sur la distribution des rentes associées aux droits d'émission.

Afin que les Etats-Unis puissent s'engager au plus tôt dans des actions de réduction des émissions de GES, même modestes, des chercheurs de Ressources For the Future (Kopp et al. 1999a) ont récemment proposé que soit mis en place un système national de permis d'émission négociables dans le cadre d'une politique d'« action précoce » (« *early action* »). Selon eux, un tel système devrait être administré par le haut (« *upstream approach* »), de façon à couvrir l'ensemble des sources d'émission. Afin que le programme soit équitable, les permis devraient être vendus aux enchères aux producteurs et importateurs d'énergie, et les revenus occasionnés seraient dirigés en priorité en direction des ménages. Sachant que de fortes incertitudes subsistent quant aux conséquences du changement climatique, aux coûts de réduction des émissions et aux actions des autres pays, le programme devrait rester modeste et avancer graduellement. Pour cela, Kopp et al. proposent d'imposer un prix plafond des permis (« *trigger price* ») pour empêcher que le programme devienne trop coûteux. Ce prix serait de 25 \$/tC en 2002 et augmenterait de 7% par an au-delà de l'inflation jusqu'en 2007 ; il atteindrait à cette date, c'est à dire avant le début de la première période budgétaire du Protocole de Kyoto, 35 \$/tC.

Ce prix plafond des permis joue explicitement le rôle d'une « soupape de sécurité » (« *safety valve* ») : dans le cas où le prix du marché est inférieur au prix plafond, les entreprises échangent des permis de façon à réaliser leur objectif ; dans le cas où le prix des permis est supérieur au prix-plafond, le gouvernement ouvre le second guichet et offre des permis supplémentaires aux entreprises au prix plafond. Évidemment, les émissions dépassent l'objectif, ce qui est la contrepartie du fait ne pas dépasser le coût maximum d'observance (« *compliance cost* ») que l'on est prêt à supporter.

Les propositions de McKibbin et Wilcoxon et des chercheurs de RFF sont initialement formulées pour s'appliquer au niveau national, mais on pourrait toutefois imaginer, à la suite de Kopp et al., la solution de l'ouverture d'un deuxième guichet et donc d'un prix-plafond des échanges sur un marché international de permis (Kopp et al., 1999b). Il convient aussi de noter que l'analyse de cette solution permet en plus d'apprécier l'impact d'un système de pénalités qui serait appliqué aux pays ne respectant pas leur engagement de Kyoto. En effet, si une telle pénalité était instaurée, on pourrait s'attendre, d'un strict point de vue économique, à

ce que les différentes parties effectuent en interne les réductions possibles à un coût inférieur au montant de la pénalité et acceptent de payer cette pénalité pour l'écart entre les émissions et l'objectif. De ce point de vue, le système du deuxième guichet avec prix plafonné et celui de la pénalité sont strictement équivalents, même si – dans l'énoncé seulement – le premier apparaît comme une solution plus favorable pour les acheteurs.

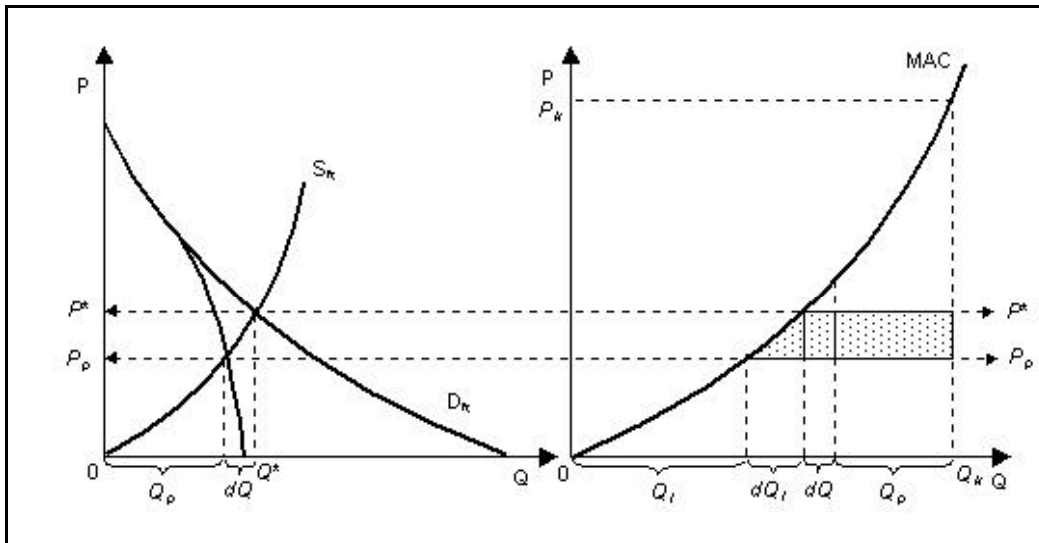
Le graphique 10 présente les effets de l'adoption d'un tel prix plafond sur le marché de permis avec contraintes, sur les coûts totaux de réduction et sur les émissions de GES. De même que dans les graphiques précédents, le graphique de gauche représente la courbe d'offre de PEN  $S_{fi}$  et la courbe de demande de PEN  $D_{fi}$  en univers parfaitement concurrentiel tandis que le graphique de droite représente la courbe de coûts marginaux de réduction des émissions pour les pays devant réaliser un effort de réduction des émissions.

Admettons que l'on impose un prix plafond des échanges  $P_p$  de façon à éviter que le programme de réduction ne devienne trop coûteux. Tant que le prix du marché  $P^*$  est inférieur à  $P_p$ , la régulation imposée sur les prix ne joue pas et les pays de l'Annexe B sont en mesure de respecter leurs engagements en minimisant le coût de réduction par le biais des échanges de permis.

En revanche, lorsque le prix plafond a été dépassé ( $P_p < P^*$ ), la quantité de permis échangés est limitée à  $Q_p$  (sur le graphique de gauche) tandis que l'effort de réduction interne ne dépasse pas  $Q_i$  (graphique de droite). Dans ces conditions, le coût total pour les pays devant réduire leurs émissions comprend trois composantes (graphique de gauche) : le coût de l'effort de réduction interne  $Q_i$  ; le coût de l'achat d'une quantité de permis  $Q_p$  pour un coût total égal à  $Q_p * P_p$  ; l'achat de permis additionnels (« second guichet ») liés à l'insuffisance des réductions réalisées en interne ( $dQ_i$ ) et à l'insuffisance de l'offre de permis au prix plafond ( $dQ$ ) pour un coût total égal à  $(dQ_i + dQ) * P_p$ .

Dans ce cas de figure, les émissions ne correspondent pas aux quantités de permis distribuées initialement : l'objectif de réduction est dépassé d'une quantité  $dQ_i + dQ$ . Par rapport à la situation parfaitement concurrentielle, les pays acheteurs de permis réalisent un gain net équivalent à la surface hachurée sur le graphique de gauche.

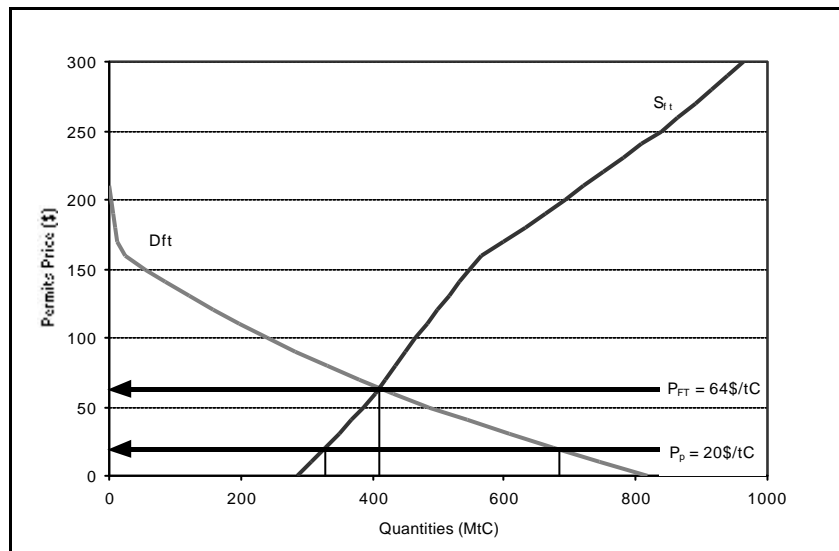
**Graphique 10 : Effets d'un prix plafond international sur le marché de permis et sur les coûts totaux de réduction des émissions**



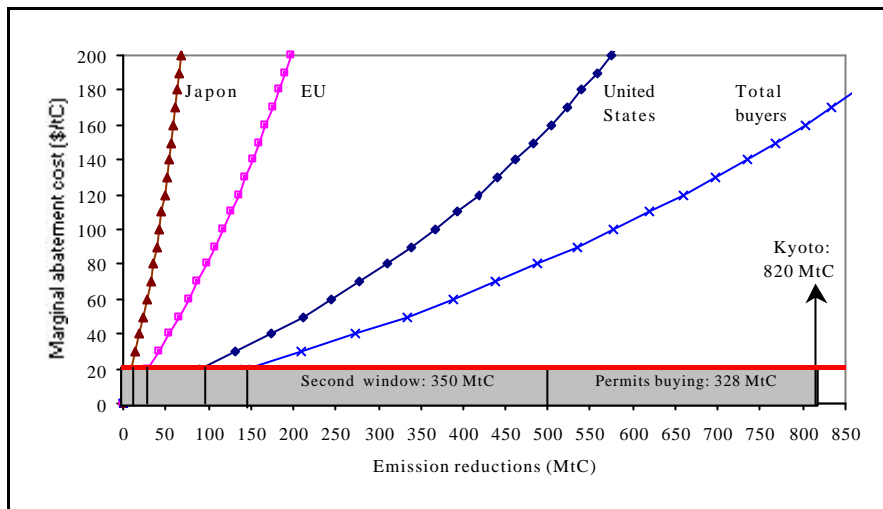
### 3.2. Une évaluation du système du prix-plafond avec le modèle POLES

Un prix plafond des permis à 25 \$/tC correspondrait à une valeur de 20 \$/tC aux prix de 1990. A 20 \$/tC, l'offre de permis est limitée à 328 MtC tandis que la demande de permis est égale à 675 MtC (cf. graphique 11).

**Graphique 11 : Effets d'un prix plafond sur le marché de PEN Annexe B**



A 20 \$/tC, les réductions internes réalisées par les pays de l'Annexe B ayant pris des engagements sont limitées à 143 MtC (cf. graphique 12), soit 90 MtC pour les Etats-Unis, 28 MtC pour l'Union Européenne et 10 MtC pour le Japon. Sachant que l'offre de permis ne dépasse pas 328 MtC, pour un prix du permis de 20 \$/tC, les pays de l'Annexe B sont donc contraints d'avoir recours à des permis additionnels (second guichet) pour un montant égal à 350 MtC. L'objectif environnemental n'est donc pas atteint dans ce cas de figure car les réductions effectives s'élèvent à 470 MtC, soit seulement 57% de l'objectif Kyoto.

**Graphique 12 : Coût total du programme avec un prix du permis plafonné à 20 \$90/tC**

L'imposition d'un prix plafond de 20 \$90/tC à tout d'abord pour effet de diminuer très fortement les taux de réduction internes des pays ayant pris des engagements de lutte contre les émissions. Alors qu'ils étaient en moyenne de 50% pour les Etats-Unis, l'UE et le Japon dans le cas d'un marché concurrentiel, les taux de réduction internes sont maintenant compris entre 16% et 18% pour ces régions (cf. tableau 2). Cette proposition d'un prix plafond des échanges pose donc clairement le problème du respect du principe de « complémentarité » retenu dans le Protocole de Kyoto.

Avec cette mesure, le coût total du programme n'est plus que de 8,5 G\$90 pour l'ensemble de la bulle Annexe B, soit un coût inférieur de 49,6 G\$90 à ce qu'il est en l'absence de flexibilité et de 7,6 G\$90 au coût supporté avec un marché parfaitement concurrentiel.

La solution d'un marché de permis à un prix plafonné à 20 \$90/tC a aussi pour avantage de conduire à une répartition des gains apparemment plus acceptable qu'un marché parfaitement concurrentiel ou qu'un marché régulé par la règle européenne R2. En concurrence parfaite se poserait en effet le problème des gains très élevés pour les pays en transition qui recevraient 51% des gains totaux de la flexibilité, contre seulement 28% pour les Etats-Unis et 11% pour l'UE. Inversement dans le cas de R2, ce seraient les Etats-Unis qui se trouveraient fortement avantagés : 67% des gains totaux seraient réalisés par les Etats-Unis, contre 22% pour l'UE et seulement 1% pour les pays en transition – qui vendraient pourtant tout leur air chaud. Avec un prix plafond de 20 \$90/tC, les Etats-Unis représenteraient 54% des gains contre 20% pour l'UE et 13% pour l'Ex-URSS.

**Tableau 2 : Impacts d'un prix plafond sur les coûts de réduction**

	Taux de réduction interne (%)	Réductions internes (MtC)	Coûts internes (M\$)	Achat de permis (MtC)	Coût des permis (M\$)	Coût total (M\$)	Gains / no trade (M\$)	Gains / FT (M\$)
Etats-Unis	17,9	90	887	413	8260	9147	24882	14286
Canada	17,3	6	58	27	540	598	2129	972
Union Européenne	16,3	28	281	146	2920	3201	9779	5215
4 PECO	508,7	8	93	-8	-160	-67	71	-725
Autres PECO	147,9	1	26	-1	-20	6	6	-148
Ex-URSS annexe B		319		-319	-6380	-6380	6380	-15122
Japon	14,7	10	103	61	1220	1323	5001	2230
Australie + NZ	22,2	8	82	29	580	662	1319	923
Total Annexe B	53,5	470	1 530	348	6960	8490	49567	7630

#### 4. Un système hybride avec « concrete ceilings » et « trigger price » : combiner les avantages des deux instruments ?

Chacun des systèmes de régulation des marchés proposés – concrete ceilings d'une part, trigger price d'autre part – présente donc des avantages mais aussi des inconvénients importants :

- la solution d'une régulation du système de permis par les prix – un prix plafond de 20\$90/tC – permet de s'assurer que les coûts ne seront pas trop élevés et assure une répartition des gains relativement équitable ; en revanche, elle pose le double problème du non-respect de la supplémentarité comme des engagements globaux de réduction des émissions des pays de l'Annexe B ;
- la solution des contrainte aux échange par une régulation par les quantités apporte la garantie que l'objectif environnemental est réalisé dans le respect du principe de supplémentarité ; toutefois, cette solution pose également un double problème de coût total et d'équité dans la répartition des gains de l'échange.

La question posée est donc de savoir si la combinaison de ces deux types de régulation est susceptible d'aboutir à un meilleur résultat du point de vue économique, environnemental et de l'équité internationale. Nous montrerons dans ce qui suit que la combinaison d'un système de ceilings sur les échanges – permettant de garantir un niveau minimum de supplémentarité – et d'un prix plafond des permis – permettant de limiter les coûts d'observance – présenterait des caractéristiques intéressantes pour toutes les Parties de l'Annexe B et pourrait donc constituer la base d'un accord sur la régulation des marchés de droits d'émission à l'horizon 2010.

#### 4.1. Concrete ceilings + trigger price : des quantités maximum à un prix maximum (QM-PM)

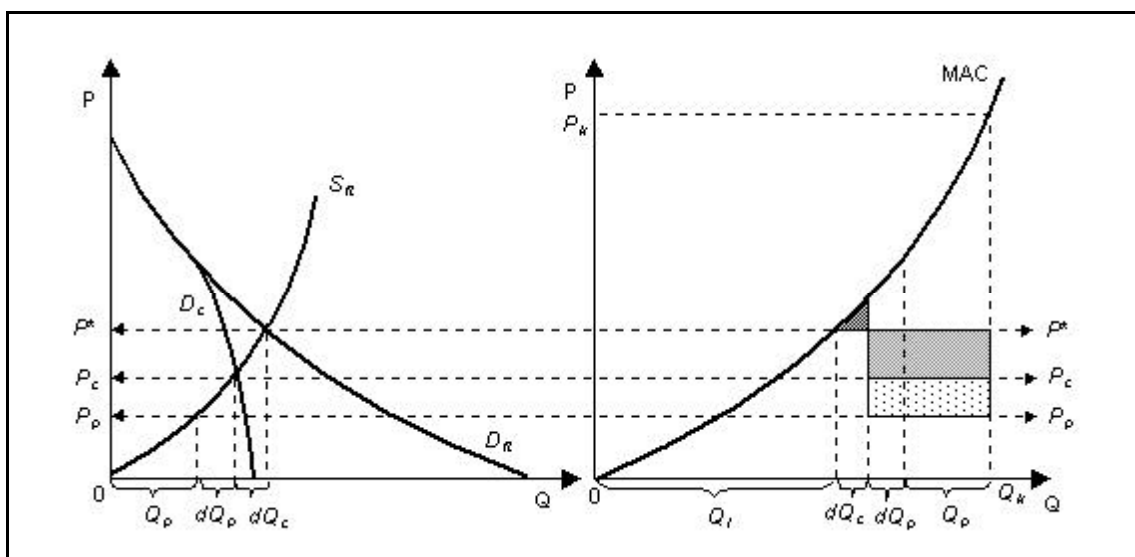
En reprenant le type de graphiques utilisés dans les sections précédentes (cf. graphique 13), il est possible de représenter l'équilibre du marché et d'analyser les différentes composantes du coût total de réduction des émissions. Admettons que l'on impose une contrainte sur les échanges de telle sorte que la courbe de demande de permis passe de  $D_t$  à  $D_c$ . Nous avons expliqué que, dans ce cas, la quantité de permis échangés est réduite de  $dQ_c$  et que le prix d'équilibre n'est plus  $P^*$  mais  $P_c$ . L'effort de réduction interne est alors augmenté de la

quantité  $dQ_c$  sur le graphique de droite, ce qui se traduit par un accroissement du coût total de réduction égal au triangle hachuré. La réduction du prix du permis consécutive à la baisse de la demande permet un gain sur le marché correspondant au rectangle foncé.

Supposons maintenant que le prix du permis soit plafonné au niveau  $P_p$  tel que  $P_p < P_c$ . A ce prix  $P_p$ , l'offre de permis n'est plus égale à la demande de permis. La quantité de permis échangés est réduite de  $dQ_p$  par rapport à la situation précédente (R2). Les pays de l'Annexe B sont alors obligés de réduire leurs émissions nationales d'une quantité  $Q_i + Q_c$ , d'importer des permis en quantité  $Q_p$  au prix plafonné  $P_p$  et d'avoir recours au «second guichet» pour une quantité  $dQ_p$ . Par rapport à la situation concurrentielle, les pays de l'Annexe B supportent un surcoût en interne équivalent à la surface triangulaire hachurée mais bénéficient d'un gain net, lié à la contrainte imposée sur les prix, égal à l'ensemble de la surface rectangulaire hachurée.

Comme on le voit, cette solution permet de respecter le principe de complémentarité tout en réduisant l'incertitude sur les coûts totaux de réduction. Elle permet aussi de prendre en compte l'objectif de maîtrise des coûts de réduction sans trop s'éloigner de l'objectif environnemental – les quantités achetées sur le second guichet sont mieux contrôlées que dans un marché uniquement régulé par les prix.

**Graphique 13 : Effets de la règle R2 combinée à un prix plafond international sur le marché de permis et sur les coûts totaux de réduction des émissions**



#### 4.2. QM-PM : les résultats du modèle POLES

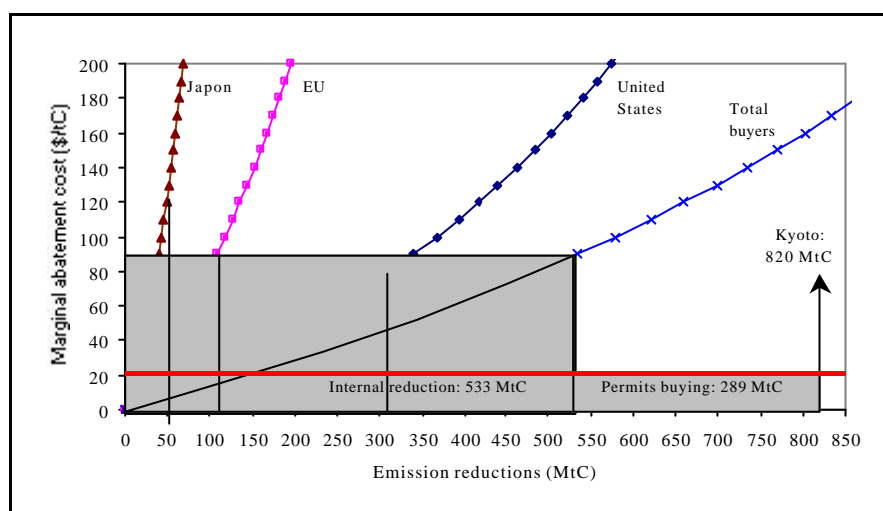
L'application de la règle R2, c'est à dire la «règle du Conseil» sans contrainte sur les vendeurs – conduirait les pays de l'Annexe B à réduire leurs émissions en interne de 533 MtC, soit en moyenne un effort de 65% de l'objectif contre seulement 50% dans le cas d'un marché parfaitement concurrentiel (cf. graphique 14 et tableau 3). Le coût total de ces réductions internes est estimé à 22,3 G\$90 et le prix des permis descendrait, comme nous l'avons montré plus haut, à 1,4 \$90/tC.

Si on ajoute un prix plafond de 20 \$90/tC, l'offre de permis est supérieure à la demande de permis sur le marché : les vendeurs sont en mesure de mettre sur le marché 328 MtC à moins de 20 \$90/tC tandis que la demande est restreinte à 289 MtC par la règle R2.

Le prix plafond a alors toutes les chances de devenir le prix du marché ou du moins de constituer un prix de référence sur ce marché (« benchmark »). En effet, sachant que la Russie se trouve en situation de quasi-monopole sur le marché des permis, elle aurait, sur un marché non régulé, la possibilité d'adopter des comportements stratégiques : elle peut notamment choisir de ne mettre qu'une partie de son air chaud sur le marché, de façon à augmenter le prix d'équilibre. L'imposition d'un prix plafond de 20 \$90/tC sur le marché permettrait alors de limiter considérablement les possibilités de comportement stratégiques du côté des offreurs. Cette mesure empêcherait notamment que ne se forme un véritable cartel de l'offre et que l'on se retrouve dans une situation comparable à celle obtenue dans le cas de la règle R4 avec contrainte sur l'offre « auto-imposée » par les acheteurs.

Dans notre cas d'application et avec les résultats du modèle POLES, il n'est pas nécessaire de recourir au « second guichet » : l'objectif environnemental peut être réalisé sans que les gouvernements ne soient obligés de vendre des permis additionnels aux acheteurs. Le coût total des permis importés est alors de 5,8 G\$90.

**Graphique 14 : Coût total du programme avec un marché régulé par R2 et par un prix plafond de 20 \$90/tC**



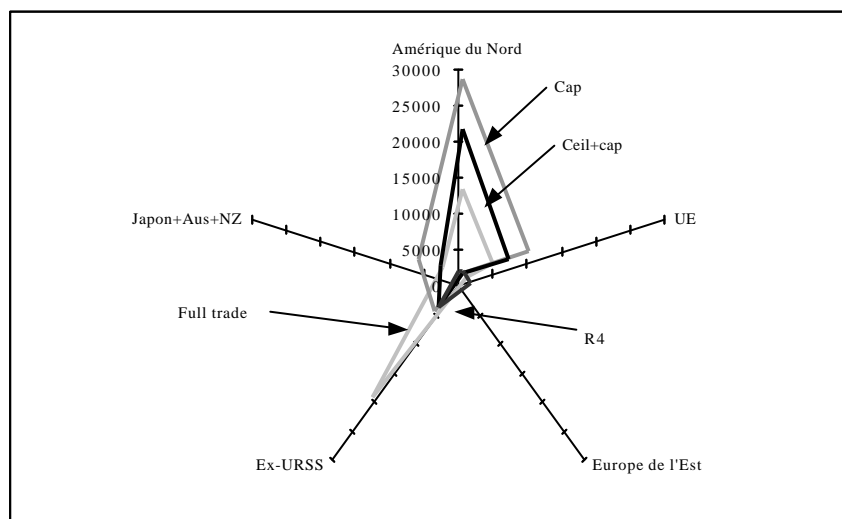
**Tableau 3 : Impacts d'un prix plafond combiné aux concrete ceilings sur les coûts de réduction**

	Taux de réduction interne (%)	Réductions internes (MtC)	Coûts internes (M\$)	Achat de permis (MtC)	Coût des permis (M\$)	Coût total (M\$)	Gains / no trade (M\$)	Gains / FT (M\$)
Etats-Unis	63,0	317,0	12 042	-185	3700	15742	18287	7690
Canada	57,0	18,8	689	-14	280	969	1758	600
Union Européenne	66,0	114,8	5 164	-60	1200	6364	6616	2052
4 PECO	41,4	0,8	1	-1	22	22	-19	-815
Autres PECO	12,1	0,2	0	-2	32	32	-20	-174
Ex-URSS annexe B			2	289	-5773	-5772	5772	-15730
Japon	77,0	54,7	3 438	-17	340	3778	2547	-225
Australie + NZ	74,0	27,4	1 007	-10	200	1207	774	378
Total Annexe B	65,1	533,7	22 343	(289)	(5773)	22343	35714	-6223

La combinaison d'une contrainte sur les acheteurs seuls, de type R2, avec un prix plafond de 20 \$90/tC assurerait une répartition des gains proche de celle que l'on avait dans le cas d'un prix plafond de 20 \$90/tC sans limitation quantitative (Cf. graphique 15). Cette solution permettrait par construction de respecter le principe de supplémentarité tout en limitant le coût total d'observance de l'objectif Kyoto. Enfin elle créerait, avec le prix plafonné du second guichet – qui, rappelons-le, serait aussi équivalent à une pénalité – un niveau de prix de référence sur le marché des permis permettant sans doute de réduire les risques de comportement stratégique des vendeurs comme des acheteurs.

Cette option politique aurait aussi pour avantage une grande efficacité environnementale. La contrainte sur les échanges R2 augmente les chances que l'offre de permis soit supérieure à la demande au prix plafond. Dans le cas précis étudié et à partir des résultats de POLES, l'efficacité environnementale est totale : l'offre de permis est suffisante pour répondre à la demande sans que des permis additionnels aient besoin d'être introduits. Pour que l'on soit obligé de recourir au second guichet, il faudrait que la contrainte sur la demande soit très faible et/ou que l'offre soit beaucoup plus faible que dans le modèle POLES (par exemple si le volume de l'air chaud n'était en réalité que de 100 MtC au lieu de 300 MtC dans POLES).

**Graphique 15 : Répartition des gains de l'échange pour les différentes règles du marché (en M\$)**



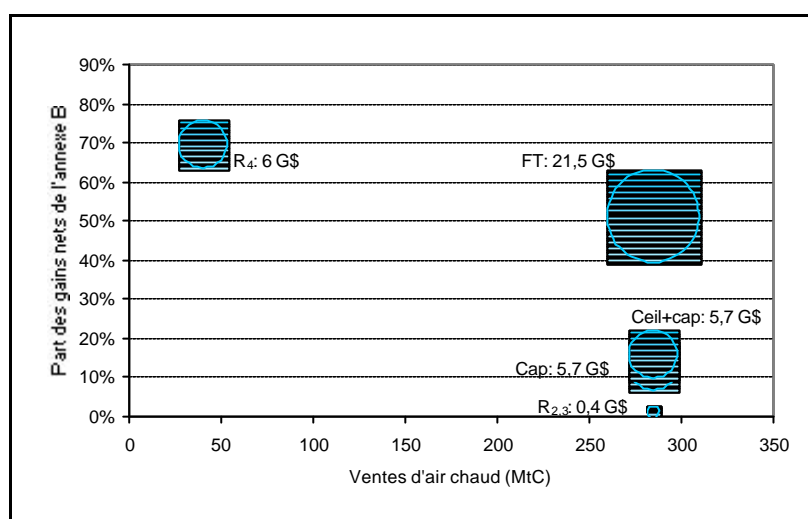
Comme nous l'avons souligné en introduction, un système de permis limité aux pays de l'Annexe B et non régulé pourrait être jugé inacceptable aussi bien par les Etats-Unis que par l'Union Européenne. Il se traduirait par un transfert massif de ressources vers les pays en transition et la Russie, liés à la vente d'« air chaud » : 21,5 G\$90 représentant environ 50% des gains de l'ensemble des pays de l'Annexe B (cf. graphique 16).

Les propositions européennes ne permettent pas de traiter cette question de façon satisfaisante. Dans le cas de la règle R2, les pays en transition seraient amenés à vendre la totalité de leur air chaud à 1,4 \$90/tC. Il est difficile d'imaginer qu'ils acceptent alors de « brader » leur air chaud et de réaliser un gain limité à 0,4 G\$90. Dans le cas de la règle R4, la situation est opposée : ces pays vendent très peu de permis à un prix très élevé. Leurs gains sont alors de 6 G\$90, ce qui représente près de 70% des gains de l'Annexe B.

Les propositions américaines de réguler le marché par les prix conduit les pays en transition et la Russie à vendre la totalité de leur air chaud à 20 \$/tC. Cette solution permettrait de « liquider » le problème de l'air chaud en première période pour un montant total de 5,7 G\$90 (soit 13% des gains de l'Annexe B). D'autre part, ce montant paraîtrait plus raisonnable que les 21,5 G\$90 obtenus en concurrence parfaite ou que les 0,4 G\$90 obtenus avec la règle européenne R4.

Du point de vue des ventes d'air chaud et des recettes des pays en transition, la solution hybride que nous proposons permettrait d'atteindre un résultat très proche de celui obtenu avec uniquement un prix plafond.

**Graphique 16 : Gains de la Russie liés à la vente de l'air chaud en fonction des ceilings**



## 5. Conclusion

Plusieurs approches peuvent donc être envisagées pour réguler le futur système international de permis d'émission négociables. L'Union Européenne a proposé une régulation par les quantités permettant de respecter le principe de « suppléantarité ». Cette approche a des inconvénients. Elle aurait en particulier des effets redistributifs inopportuns et créerait une indétermination sur le coût de la réalisation des objectifs de réduction des émissions, ainsi qu'une grande instabilité potentielle du prix des permis.

Certains experts américains, prenant en compte les contraintes économiques et politiques à la ratification du Protocole opteraient plutôt pour une régulation par les prix, c'est-à-dire pour l'imposition d'un prix plafond des permis permettant, en situation de forte incertitude sur les coûts, de définir *ex ante* le coût maximum des programmes de réduction. Notre analyse a montré que cette approche avait pour avantage d'aboutir à une répartition plus satisfaisante des gains de l'échange et de traiter plus efficacement le problème de l'air chaud des pays en transition. En revanche, elle conduit les pays de l'Annexe B à réaliser un effort de réduction très inférieur aux engagements pris à Kyoto et donc à en réduire considérablement l'efficacité environnementale.

L'approche hybride « Quantités Maximum à un Prix Maximum » (QM-PM) que nous avons proposée dans ce papier combine la régulation par les quantités et la régulation par les prix. Elle étend au plan international certaines des propositions étudiées par les économistes

américains pour les Etats-Unis, tout en conservant le soucis de l'efficacité environnementale. D'après nos premières analyses, cette solution de *second best* permettrait en effet de profiter largement des principaux avantages et de la régulation par les quantités et de la régulation par les prix. En particulier elle permettrait de mieux concilier les objectifs d'efficacité économique, d'efficacité environnementale et d'équité internationale que chacune des solutions précédentes prise séparément. Elle pourrait par conséquent constituer une base plus acceptable pour la poursuite des négociations sur la question de la régulation des marchés de droits d'émission pour l'horizon 2008 à 2012, celui de la première période budgétaire envisagée dans le Protocole de Kyoto.

## References

- Bernstein P., Montgomery W. D., Rutherford T. F., Yang G., (1999), "Effects of Restrictions on International Permit Trading: The MS-MRT Model", Special Issue of *The Energy Journal*, pp. 221-256.
- Baumol W. J., Oates W. E. (1971), "The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment", *The Swedish Journal of Economics*, n° 3, pp. 42-54.
- Criqui P., Mima S., Viguier L., (1999), " Marginal Abatement Costs of CO<sub>2</sub> Emission Reductions, Geographical Flexibility and Concrete Ceilings: an Assessment Using the POLES Model", *Energy Policy*, vol. 27, n° 10, pp. 585-601.
- Criqui, P., Cattier F., Kouvaritakis N., Thonet C., (1998), Technological scenarios, climate change and emission trading: EC-IEA study on energy technology and climate change simulations using the POLES world model. IPTS, Sevilla.
- Ellerman A. D., Wing I. S., (1999), "Supplementarity: An Invitation to Monopsony?", Joint Program on the Science and Policy of Global Change, MIT, Cambridge MA, mimeo.
- European Union (1999), "Community Strategy on Climate Change – Council Conclusions", *Information Note*, 8346/99, General Secretariat, Brussels.
- Grubb M. J., Chapuis T., Ha-Duong M. (1995), "The Economics of Changing Course: Implications of Adaptability and Inertia for Optimal Climate Policy", *Energy Policy*, vol. 23, n° 4/5, pp. 417-32.
- Ha-Duong M., Grubb M. J., Hourcade J.-C. (1997), "Influence of Socioeconomic Inertia and Uncertainty on Optimal CO<sub>2</sub>-Emission Abatement", *Nature*, vol. 390, pp. 270-73.
- Hourcade J.-C., Robinson J. (1996), "Mitigating Factors: Assessing the Costs of Reducing GHG Emissions", *Energy Policy*, vol. 24, n° 10/11, pp. 863-73.
- Kopp R., Morgenstern R., Pizer W., Toman M., (1999a), "A Proposal for Credible Early Action in U.S. Climate Policy", Resources For the Future, Washington D.C. ([www.weathervane.rff.org/features/feature060.html](http://www.weathervane.rff.org/features/feature060.html))
- Kopp R., Morgenstern R., Pizer W., Toman M., (1999b), "Domestic Trading: A credible Early Action", Conférence pour le Séminaire OÏKIA du 15 novembre sur les "Mécanismes de coordination internationale des politiques climatiques", CIRED, Paris.
- McKibbin W. J., Wilcoxon P. J. (1997), "A Better Way to Slow Global Climate Change", *Policy Brief*, n° 17, The Brookings Institution, Washington D.C.
- Pizer W. A., (1998), "Prices vs Quantities Revisited: The Case of Climate Change", *Discussion Paper*, 98-02, Resources for the Future, Washington D.C.
- Roberts M. J., Spence M., (1976), "Effluent Charges and Licenses Under Uncertainty", *Journal of Environmental Economics and Management*, 5, pp. 193-208.
- Victor D. G. (1998), "Kyoto Shell Game", *Washington Post*, 20 novembre (available on internet [www.weathervane.rff.org/soundoff/messages/115.html](http://www.weathervane.rff.org/soundoff/messages/115.html))
- Weitzman M. L., (1974), "Prices vs Quantities", *Review of Economic Studies*, vol. 41, n° 4, pp. 477-491.
- Weitzman M. L., (1978), "Optimal Rewards for Economic Regulation", *American Economic Review*, vol. 68, n° 4, pp. 683-691.