

# 8



## Modélisations de marchés de permis de pollution

Marc Germain

July 2003

# ENVIRONMENTAL ECONOMICS & MANAGEMENT MEMORANDUM



**UCL**  
Université  
catholique  
de Louvain

Chair Lhoist Berghmans  
in Environmental Economics  
and Management

Center for Operations Research  
and Econometrics (CORE)

## Environmental Economics & Management Memoranda

1. Thierry BRECHET. Entreprise et environnement : des défis complémentaires ? March 2002.
2. Olivier GODARD. Le risque climatique planétaire et la question de l'équité internationale dans l'attribution de quotas d'émission échangeable. May 2003.
3. Thierry BRECHET, Marc GERMAIN et Philippe MONTFORT. Spécialisation internationale et partage de la charge en matière de réduction de la pollution, IRES discussion paper n°2003-19.
4. Marc GERMAIN, Philippe TOINT, Henry TULKENS and Aart DE ZEEUW. Transfers to sustain dynamic core-theoretic cooperation in international stock pollutant control, *Journal of Economic Dynamics & Control*, (28) 1, 2003.
5. Marc GERMAIN and Vincent VAN STEENBERGHE. Constraining equitable allocations of tradable CO<sub>2</sub> emission quotas by acceptability, *Environmental and Resource Economics*, (26) 3, 2003.
6. Thierry BRECHET et Marc GERMAIN. Les affres de la modélisation. May 2002.
7. Marc GERMAIN. Le Mécanisme de Développement Propre : Impacts du principe d'additionnalité et du choix de la baseline. January 2003.
8. Marc GERMAIN. Modélisations de marchés de permis de pollution. July 2003.
9. Katheline SCHUBERT. Eléments sur l'actualisation et l'environnement. March 2004.
10. Vincent VAN STEENBERGHE. CO<sub>2</sub> Abatement costs and permits price : Exploring the impact of banking and the role of future commitments. CORE DP 2003/98. December 2003.
11. Axel GOSSERIES, Vincent VAN STEENBERGHE. Pourquoi des marchés de permis de polluer ? Les enjeux économiques et éthiques de Kyoto. IRES discussion paper n° 2004-21, April 2004.

# Modélisations de marchés de permis de pollution\*

Marc Germain<sup>†</sup>

Juillet 2003

## Introduction

Cette note a pour but de présenter plusieurs modèles possibles de marchés de permis de polluer. A côté du marché de permis walrasien, on envisage différentes modélisations alternatives susceptibles d'avoir des conséquences sur l'efficacité du marché en termes de minimisation des coûts de dépollution. Les modélisations alternatives qui seront abordées concerneront les thèmes suivants :

- pouvoir de marché (de l'entreprise)
- rôle de l'intermédiation financière
- coûts de transactions
- polluants multiples
- épargne de permis
- ventes aux enchères
- incertitude et produits dérivés
- coûts de contrôle (enforcement costs).

Afin de faciliter la lecture, on s'est efforcé de présenter les différents modèles dans un cadre formel simple et unifié, tout en limitant les aspects techniques à l'essentiel. Pour une approche plus complète et rigoureuse, le lecteur est renvoyé aux articles en bibliographie.

---

\*Cette recherche fait partie du projet GREENMOD financé par la Politique scientifique fédérale, dans le cadre du Deuxième Plan pluriannuel d'appui scientifique à une politique de Développement Durable (PADD II, contrat CP/11/141).

<sup>†</sup>Center for Operational Research and Econometrics (CORE), Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique.

## 1. Le modèle de référence (concurrence parfaite)

Le modèle de référence se caractérise par une série d'hypothèses simplificatrices:

- (i) Les firmes qui échangent des permis n'ont pas de pouvoir de marché. Elles sont donc "price-taker" au sens où elles ne peuvent pas influencer le prix des permis en jouant sur l'offre ou la demande.
- (ii) Les firmes échangent directement entre elles. Il n'y a pas d'intermédiation financière.
- (iii) Absence de coûts de transaction.
- (iv) Les permis ne concernent qu'un seul gaz à effet de serre (GES), ou de façon équivalente, tous les GES sont agrégés en équivalent-CO2.
- (v) Le modèle est statique (uni-périodique). Epargne et/ou emprunt de permis sont par définition impossibles.
- (vi) Absence d'incertitude.
- (vii) Les permis sont distribués gratuitement aux entreprises (par opposition à leur mise aux enchères).
- (viii) Les seuls agents polluants pris en considération sont les entreprises.
- (ix) Les firmes sont dissuadées d'émettre plus que ce que leur détention de permis leur permet.

Il existe  $N$  firmes indicées par  $i$ . Chaque firme est caractérisée par une fonction de production  $y_i = f_i(x_i)$ , où  $y_i$  est la production et  $x_i$  les émissions de GES exigées par cette production. Par souci de simplicité, on ne considère qu'un seul facteur de production, les émissions de GES supposées être une mesure indirecte de la consommation énergétique. La fonction de production est supposée avoir les propriétés usuelles désirables (croissance, continuité, concavité,...). Aucun producteur ne peut émettre plus de polluants que le nombre de permis qu'il détient.

La firme choisit son niveau de production  $y_i$  et sa détention de permis  $x_i$  de façon à maximiser son profit sous la forme suivants :

$$\text{Max}_{\{x_i\}} \Pi_i = f_i(x_i) + p[\bar{x}_i - x_i] \quad (1.1)$$

où  $p$  est le prix des permis et  $\bar{x}_i$  est la dotation de permis attribuée (gratuitement) à la firme  $i$ . La solution s'écrit  $f'_i(x_i) = p$ , autrement dit la firme fixe son niveau de production de façon que la productivité marginale des émissions de GES soit égale au prix des permis. La demande *nette* de permis de l'ensemble des firmes s'écrit alors  $E(p) = \sum_{i=1}^N [g_i(p) - \bar{x}_i]$ , où par définition  $g_i = (f'_i)^{-1}$ . A l'équilibre du marché des permis, cette demande nette doit être nulle, ce qui permet de calculer le prix d'équilibre :

$$p = E^{-1}(0) \quad (1.2)$$

En resubstituant ce résultat dans les équations précédentes, on peut calculer les émissions de GES et la production de chaque firme, et donc la production et la pollution agrégées.

## 2. Pouvoir de marché

Si les firmes sont peu nombreuses ou de tailles très différentes, il est possible que certaines d'entre elles aient une part du marché telle que le prix soit sensible à leur offre ou demande de permis. Hahn (1984) est le premier à avoir introduit cette idée dans le cadre d'un marché de permis de pollution. Son modèle distingue une firme (indiquée par 1) ayant un pouvoir de marché, toutes les autres (indiquées de 2 à  $N$ ) étant "price-takers", c-à-d se comportant comme ci-dessus.

La firme 1 a le pouvoir de choisir le prix qui lui permet de maximiser son profit tel que défini par (1.1) sous la contrainte que le marché des permis soit en équilibre. Formellement, le problème de la firme 1 se pose de la manière suivante :

$$\max_{\{x_1\}} \Pi_1 = f_1(x_1) + p[\bar{x}_1 - x_1]$$

$$\text{s.c.q. } x_1 = \bar{X} - \sum_{i=2}^N g_i(p)$$

où  $\bar{X}$  est la quantité totale de permis distribués aux firmes, et  $g_i(p)$  est la quantité de permis détenus par l'entreprise (price-taker)  $i$  calculée à la section 1. La condition du premier ordre associée à ce problème s'écrit :

$$-[f'_1(x_1) - p] \sum_{i=2}^N g'_i(p) + [\bar{x}_1 - x_1] = 0$$

Pour la firme 1, il n'y a plus égalité entre la productivité marginale du facteur ( $f'_1(x_1)$ ) et son prix ( $p$ ), à moins de lui attribuer exactement le nombre de permis qu'elle détiendra à l'équilibre. Sauf dans ce cas particulier, le marché sera donc inefficace, et cette inefficacité sera d'autant plus élevée que la différence  $\bar{x}_1 - x_1$  sera grande en valeur absolue. Contrairement au cas où le marché est parfait, la façon dont les permis sont répartis n'est pas sans influence sur l'efficacité du marché.

Les conclusions de Hahn ont été nuancées par Chavez et Stranlund (2001) dans le cadre d'un marché de permis en concurrence imparfaite qui intègre les coûts (enforcement costs) induits par une stratégie visant à faire respecter par les entreprises la règle selon laquelle celles-ci ne peuvent polluer au-delà de leur détention de permis (compliance behaviour). Dans ce cas, le pouvoir de marché peut être exploité pour diminuer les coûts liés à la stratégie de mise en conformité.

### 3. Intermédiation financière

Le modèle de référence ne se préoccupe pas du mode d'organisation du marché (de sa microstructure). Germain, Lovo et van Steenberghe (2000) étudient (dans un contexte statique) une microstructure de marché de permis, caractérisée par la présence d'un ou plusieurs intermédiaires financiers proposant chacun un prix auquel ils sont prêts à acheter des permis (prix d'achat, ou "ask") et un prix auquel ils sont prêts à vendre ces permis (prix de vente, ou "bid").

Le premier exemple de microstructure étudiée par ces auteurs est celui d'un intermédiaire financier (dit teneur de marché) en situation de monopole. Si  $a$  et  $b$  sont respectivement son prix d'achat et son prix de vente, le problème de la firme  $i$  s'écrit :

$$\text{Max}_{\{x_i\}} \Pi_i = f_i(x_i) + \pi[\bar{x}_i - x_i]$$

où  $\pi = b$  si  $\bar{x}_i \geq x_i$  et  $\pi = a$  si  $\bar{x}_i \leq x_i$ . Les émissions optimales de la firme  $i$  vont dépendre de sa dotation en permis de la façon suivante :

$$\begin{aligned} x_i &= g_i(a) \quad \text{si } \bar{x}_i < g_i(a) && \text{(demande de permis)} \\ x_i &= \bar{x}_i \quad \text{si } g_i(a) < \bar{x}_i < g_i(b) && \text{(pas d'échange)} \\ x_i &= g_i(b) \quad \text{si } g_i(b) < \bar{x}_i && \text{(offre de permis)} \end{aligned}$$

On observe immédiatement qu'il n'y a pas égalisation des coûts marginaux entre les entreprises, sauf dans le cas très particulier où celles-ci reçoivent exactement la quantité de permis dont elles ont besoin ( $\bar{x}_i = x_i, \forall i$ ). Le nombre de permis échangés est également moindre qu'en l'absence d'intermédiation financière (cfr. section 1).

La demande totale de permis adressée au teneur de marché (TM) par les firmes s'écrit :

$$D(a) = \sum_{i=1}^N \max\{g_i(a) - \bar{x}_i, 0\}$$

tandis que l'offre totale de permis par les firmes s'écrit :

$$O(b) = \sum_{i=1}^N \max\{\bar{x}_i - g_i(b), 0\}$$

Le TM monopoleur fixe ses prix  $a$  et  $b$  de façon à maximiser son profit, sous la contrainte de pouvoir satisfaire la demande de permis qui lui est adressée. Formellement :

$$\begin{aligned} \max_{\{a,b\}} \Pi_{TM} &= aD(a) - bO(b) \\ \text{s.c.q} \quad D(a) &\leq O(b) \end{aligned}$$

La contrainte est liante car le TM n'a pas intérêt à garder des permis invendus (le modèle est à une période). La condition du premier ordre et la contrainte conduisent au système suivant

$$[a - b]D'(a) = [1 - \frac{O'(b)}{D'(a)}]D(a)$$

$$D(a) = O(b)$$

qui permet de calculer la fourchette de prix. Cette fourchette encadre le prix d'équilibre du marché walrasien décrit à la section 1, au sens où  $a > p > b$ . La situation est sous-optimale, car les coûts marginaux des offreurs de permis (égaux à  $b$ ) et ceux des demandeurs de permis (égaux à  $a$ ) ne s'égalisent pas.

Germain, Lovo et van Steenberghe (2000) envisagent également une microstructure sous la forme d'un duopole de teneurs de marché. A la manière d'un duopole de Bertrand, les TM concourent par les prix. Chaque TM propose deux prix (l'un de vente, l'autre d'achat) de façon à maximiser son profit compte tenu du comportement de l'autre TM et des offres et demandes des entreprises. Celles-ci adressent leur demande (offre) de permis au TM qui propose le prix de vente (d'achat) le plus faible (élevé). La concurrence entre les intermédiaires financiers conduit à un équilibre où leurs profits sont nuls et où  $a = p = b$ . On retrouve l'équilibre walrasien de la première section.

En présence de coûts d'entrée, les résultats du paragraphe précédent ne sont plus valables. L'équilibre du jeu correspond à une situation où l'un des TM entre et l'autre pas. On se retrouve alors dans le cas du monopoleur. Les auteurs précités obtiennent également une fourchette de prix dans le cas où les TM sont confrontés à une certaine incertitude quant à l'offre et à la demande de permis par les firmes, même en l'absence de coûts d'entrée.

#### 4. Coûts de transaction

L'efficacité d'un marché de permis de polluer peut aussi être affectée par des coûts de transaction. Pour une firme en excès de demande, ceux-ci peuvent prendre par exemple la forme de coûts liés à recherche de permis à vendre. A la manière de Stavins (1995), les coûts de transaction peuvent être modélisés de la façon suivante.

Soit  $\theta$  le coût pour la firme induit par l'échange d'un permis, que celui-ci soit acheté ou vendu. Ce coût est supposé identique pour toutes les firmes. Alors  $\theta |\bar{x}_i - x_i|$  est le total des coûts de transaction pour la firme  $i$ , et l'objectif de cette firme devient :

$$Max_{\{x_i\}} \Pi_i = f_i(x_i) + p[\bar{x}_i - x_i] - \theta |\bar{x}_i - x_i|$$

La solution est similaire à celle obtenue dans le cas où il y a intermédiation financière :

$$\begin{aligned} x_i &= g_i(p - \theta) \quad \text{si } \bar{x}_i < g_i(p - \theta) && \text{(demande de permis)} \\ x_i &= \bar{x}_i \quad \text{si } g_i(p - \theta) < \bar{x}_i < g_i(p + \theta) && \text{(pas d'échange)} \\ x_i &= g_i(p + \theta) \quad \text{si } g_i(p + \theta) < \bar{x}_i && \text{(offre de permis)} \end{aligned}$$

A nouveau, on observe qu'il n'y a pas égalisation des coûts marginaux entre les entreprises, et que le nombre de permis échangés est moindre qu'en l'absence de coûts de transaction.

La demande et l'offre totale de permis s'écrivent respectivement :

$$D(p) = \sum_{i=1}^N \max\{g_i(p - \theta) - \bar{x}_i, 0\}$$

et

$$O(p) = \sum_{i=1}^N \max\{\bar{x}_i - g_i(p + \theta), 0\}$$

Le prix d'équilibre du marché  $p$  découle de la condition  $D(p) = O(p)$ .

## 5. GES multiples

En présence de plusieurs GES, deux attitudes sont possibles. Si l'objectif du pays est exprimé en termes d'équivalents-CO2, l'organisation d'un seul marché de permis de polluer suffit en théorie pour atteindre l'objectif au moindre coût. Le modèle de la section 1 s'applique dans un contexte où tous les GES sont eux-mêmes exprimés en équivalents-CO2 et considérés comme formant un seul gaz. L'équilibre du marché conduit alors à une égalisation des coûts marginaux de réduction entre firmes *et entre gaz*.

Si le pays est confronté à un objectif par GES, alors il est nécessaire d'organiser autant de marchés que de GES. Dans ce cas, chaque firme égalisera (via une fonction de production multi-facteurs) la productivité marginale de chaque GES au prix du permis relatif à ce GES. Sauf cas particulier, il n'y aura pas égalisation de la productivité marginale des différents gaz, ce qui est a priori sous-optimal par rapport à la 1ère situation. Ce cas particulier serait celui où l'autorité serait parfaitement informée quant aux coûts et bénéfices liés à la réduction de la pollution.

Au moyen d'un modèle assez sophistiqué faisant intervenir information imparfaite et stratégie de mise en conformité incomplète (incomplete enforcement; cfr. section 9), Montero (2001) montre que l'intégration des marchés n'est pas toujours souhaitable et que son intérêt dépend des pentes des fonctions de coûts et de dommages.



## 6. Epargne de permis

La prise en compte de la possibilité pour les firmes d'épargner des permis suppose un modèle à plusieurs périodes. Dans le cadre du modèle de la première section étendu à 2 périodes, le problème de la firme  $i$  devient :

$$\text{Max}_{\{x_{i1}, x_{i2}, b_i\}} \Pi_i = f_i(x_{i1}) + p_1[\bar{x}_{i1} - x_{i1} - b_i] + f_i(x_{i2}) + p_2[\bar{x}_{i2} - x_{i2} + b_i]$$

où  $x_{it}$ ,  $\bar{x}_{it}$  sont respectivement les émissions et la dotation en permis de la firme  $i$  à la date  $t$ , et  $p_t$  le prix des permis à la date  $t$  ( $t = 1, 2$ ).  $b_i$  est la quantité de permis que la firme  $i$  décide d'épargner en  $t = 1$  pour les utiliser en  $t = 2$ . Dans le cas où l'emprunt n'est pas autorisé,  $b_i$  doit être positif ou nul. Par souci de simplicité, le taux d'actualisation est supposé nul.

Si  $p_1 < p_2$ , la demande de permis est infinie en  $t = 1$ . L'excès de demande fait alors remonter  $p_1$  jusque  $p_2$ . A l'équilibre, le marché des permis ne peut être caractérisé que par  $p_1 \geq p_2$ . Si les quantités totales de permis distribuées aux entreprises sont telles que  $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$ , alors on aura  $p_1 > p_2$  (dans ce modèle simple, la seule quantité susceptible de changer entre les deux périodes est l'objectif total en termes d'émission). L'épargne des firmes est alors nulle, et la solution se caractérise par  $f'_i(x_{it}) = p_t = E_t^{-1}(0)$ , où par définition  $E_t(p) = \sum_{i=1}^N [g_i(p_t) - \bar{x}_{it}]$ . La solution pour chaque période est à l'image de celle de la section 1.

En revanche, si  $\bar{X}_1 > \bar{X}_2$ , alors à l'équilibre, on a  $p_1 = p_2 = p$ . En conséquence, la production et le niveau d'émission des entreprises sont constants ( $x_{i1} = x_{i2} = g_i(p)$ ,  $\forall i$ ), et il en va de même au niveau agrégé ( $X_1 = X_2 = \sum_{i=1}^N g_i(p)$ ). Comme  $\bar{X}_1 > \bar{X}_2$ , l'excès de permis en première période est épargné pour être utilisé en période 2. L'épargne totale s'écrit :  $B = \bar{X}_1 - X_1$ . Par ailleurs, comme  $\bar{X}_1 + \bar{X}_2 = X_1 + X_2$ , il en découle que

$$X_1 = X_2 = \sum_{i=1}^N g_i(p) = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2}{2}$$

Cette équation permet de calculer le prix d'équilibre observé pour les deux périodes. La présence d'épargne implique que les émissions totales ne coïncident pas avec les dotations totales. Si celles-ci correspondent à des niveaux d'émissions optimaux obtenus suite à un calcul d'optimisation intertemporel de la part des pouvoirs publics, alors la possibilité d'épargner conduit à des niveaux d'émissions sous-optimaux du point de vue collectif.

## 7. Ventes aux enchères

Les permis peuvent être distribués gratuitement aux entreprises ou vendus aux enchères (VE) par les pouvoirs publics. Si le fait de faire payer les pollueurs n'est pas considéré comme un problème ou fait partie des buts de la politique environnementale, certaines formes de ventes méritent d'être prises en considération, en particulier si elles permettent d'éviter des comportements stratégiques de la part des firmes. En revanche, si l'accent est plutôt mis sur une réduction de la pollution tout en minimisant l'impact sur les entreprises, la distribution gratuite semble préférable (Lyon, 1982). Dans le cadre d'un modèle où les permis ont une influence sur les décisions d'entrée et de sortie des firmes, Kling et Zhao (2000) montrent qu'il est préférable de vendre tous les permis aux enchères dans le cas d'un polluant global (p.ex les GES).

Il existe différentes façons d'organiser une VE, qui ne seront pas sans conséquence sur le ou les prix auxquels les permis seront vendus (cfr. van Steenberghe (2000) pour une revue de différentes formes de ventes envisageables). L'une des plus simples est la VE statique avec prix uniforme (uniform-pricing) où le commissaire priseur collecte tous les ordres d'achat des firmes, les cumule pour chaque niveau de prix, et fixe le prix de façon à égaliser offres d'achats cumulées et nombre total de permis à allouer. Ce type de VE se prête à des comportements stratégiques de la part des firmes pour influencer le prix en leur faveur, mais si les permis et les pollueurs sont très nombreux, ces comportements sont moins susceptibles de se produire. Dans ce cas, on retrouve la solution de la section 1, dans le cas où  $\bar{x}_i = 0, \forall i$ .

De façon similaire à la taxation et par opposition à la distribution gratuite, la VE des permis pose la question de l'affectation des recettes de la vente. Cette question est particulièrement importante à traiter dans le cadre d'un modèle d'équilibre général. Une utilisation possible de ces recettes consiste à réduire la taxe sur d'autres facteurs, par exemple sur le travail. Nous renvoyons à van Steenberghe (2000) pour d'autres idées d'utilisation du revenu d'une VE de permis.

## 8. Incertitude et produits dérivés

Dans les modèles précédents, une firme peut, pour remplir ses engagements environnementaux ( $\bar{x}_i \geq x_i$ ), soit réduire ses émissions, soit acheter des permis. En pratique, si les mesures de réduction prennent du temps, il est possible que l'entreprise doive décider de l'ampleur de ces mesures avant de connaître le prix des permis. Dans le cas le plus simple, le problème de la firme  $i$  peut alors se réécrire :

$$\text{Max}_{\{x_i\}} E(\Pi_i) = f_i(x_i) + E(p)[\bar{x}_i - x_i]$$

où  $E(\cdot)$  est l'opérateur espérance mathématique. Dans l'objectif ci-dessus, la firme  $i$  est supposée neutre par rapport au risque et connaître la distribution de probabilité de  $p$ . Si la firme a de l'aversion pour le risque, elle maximise un objectif du type  $E(U(\Pi_i))$ , où  $U$  est une fonction concave telle que  $E(U(\Pi_i)) < U(E(\Pi_i))$  (l'utilité du profit moyen est supérieure à l'espérance des utilités obtenues pour chacune des différentes réalisations possibles du prix).

Un moyen pour un agent averse au risque de se couvrir contre l'incertitude est de recourir à des produits dérivés, qui peuvent être des contrats à *livraison différée* (forward), à *terme ferme* (future) ou à *terme optionnel* (option) (cfr. van Steenberghe (2000) pour plus de détails). Dans le cas où un marché de *futures* existe par exemple, une entreprise peut décider d'acheter ou vendre un permis à un certain prix à une certaine date future. Pour remplir ses engagements environnementaux ( $\bar{x}_i \geq x_i$ ), une firme a alors le choix entre réduire ses émissions, acheter des permis ou acheter des *futures*. Replacé dans le cadre du paragraphe précédent, le problème de la firme s'écrit :

$$\text{Max}_{\{x_i, \sigma_i\}} E(U(\Pi_i)) = E(U(f_i(x_i) + [p\sigma_i + q[1 - \sigma_i]][\bar{x}_i - x_i]))$$

$p$  est le prix aléatoire d'un permis,  $q$  celui d'un permis à terme et  $\sigma_i$  la part de l'excès de demande  $x_i - \bar{x}_i$  (qui peut être négative) couverte par les permis ( $1 - \sigma_i$  étant la part couverte par les *futures*). La firme choisit maintenant non seulement le niveau de ses émissions, mais aussi la composition optimale de son portefeuille entre permis ordinaires et à terme. Les conditions du premier ordre conduisent à :

$$E\left(\frac{\partial U}{\partial \Pi} [f'_i(x_i) - p\sigma_i + q[1 - \sigma_i]]\right) = 0$$

$$E\left(\frac{\partial U}{\partial \Pi} [p - q][\bar{x}_i - x_i]\right) = 0$$

Ces conditions permettent de calculer  $x_i$  et  $\sigma_i$ . Le prix des *futures*  $q$  s'établit de façon à égaliser l'offre et la demande de ce type de permis par l'ensemble des firmes. Il en va de même pour le prix des permis ordinaires dans chacun des états possibles de la nature.

Dans une contribution récente, Unold et Requate (2001) proposent un mécanisme couplant marché de permis et vente aux enchères d'une série d'options pour des permis supplémentaires permettant de contourner la présence d'incertitude sur les fonctions de coûts de dépollution des entreprises.

## 9. Coûts de contrôle (enforcement costs)

En l'absence de contrôle de la part des pouvoirs publics, une entreprise pourrait être tentée de ne pas respecter la règle selon laquelle ses émissions doivent être inférieures ou égales à sa détention de permis (compliance behaviour). Pour réduire les risques de non-conformité, les pouvoirs publics peuvent mettre en place un système de contrôle et de sanction. Cependant, un contrôle approfondi de toutes les firmes est susceptible d'être très coûteux, aussi celui-ci risque-t-il d'être partiel. Dans un tel contexte, la firme est placée devant le choix de se conformer sans risque de pénalité, ou d'émettre plus que la quantité permise, avec une probabilité (inférieure à 1) d'être prise en défaut et sanctionnée.

S'inspirant de Strandlund et Dhanda (1999), le problème de la firme  $i$  s'écrit :

$$\text{Max}_{\{x_i, \hat{x}_i\}} \Pi_i = f_i(x_i) + p[\bar{x}_i - \hat{x}_i] - \pi A [\max\{0, x_i - \hat{x}_i\} + [\max\{0, x_i - \hat{x}_i\}]^2]$$

Par rapport au modèle de référence de la section 1, il n'y a plus nécessairement identité entre les émissions  $x_i$  et la détention effective de permis  $\hat{x}_i$  (rappelons que  $\bar{x}_i$  est la dotation initiale). D'où la présence de deux variables de décision.  $\pi$  ( $< 1$ ) est la probabilité qu'une firme soit contrôlée. En cas de contrôle et d'infraction, la firme paye une amende  $A[\max\{0, x_i - \hat{x}_i\} + [\max\{0, x_i - \hat{x}_i\}]^2]$  (où  $A$  est un paramètre positif qui mesure à excès donné l'intensité de la pénalité). L'amende est donc une fonction quadratique de l'excès de pollution.

La firme n'a jamais intérêt dans ce contexte statique à détenir des permis inutilisés, et donc  $x_i \geq \hat{x}_i$ . Deux cas se présentent par conséquent selon que  $x_i = \hat{x}_i$  ou  $x_i > \hat{x}_i$ . Dans le 1er cas ( $x_i = \hat{x}_i$ ), qui survient quand

$$\frac{\partial \Pi_i}{\partial \hat{x}_i} \Big|_{x_i = \hat{x}_i} = -p + \pi A > 0$$

on retrouve la solution du modèle de référence, c-à-d  $x_i = \hat{x}_i = g_i(p)$ . Dans le 2ème cas ( $x_i > \hat{x}_i$ ), les conditions du premier ordre conduisent à :

$$x_i = g_i(p)$$

$$\hat{x}_i = g_i(p) - \frac{p - \pi A}{2\pi A}$$

Plus la probabilité  $\pi$  d'un contrôle et/ou l'intensité  $A$  de l'amende sont importantes, plus l'excès de la pollution est faible.

Au même titre que les coûts de transaction, la possibilité de fraude (parce qu'un contrôle parfait par les pouvoirs publics serait financièrement prohibitif par exemple) est susceptible de d'affecter les propriétés d'efficacité du marché des permis (Malik, 1990).

## Bibliographie

Chavez C. et J. Strandlund (2001). Enforcing transferable permit systems in the presence of market power. Miméo, [www.econ.ucsb.edu/~erewkshp/papers/MarketPowerRevise.doc](http://www.econ.ucsb.edu/~erewkshp/papers/MarketPowerRevise.doc), avril 2001.

Germain M., S. Lovo et V. van Steenberghe (2000). De l'importance de la microstructure d'un marché de permis de polluer sur la politique environnementale. CLIMNEG working paper n°24, Université catholique de Louvain, mars 2001.

Hahn R. (1984). Market power and transferable property rights. *Quarterly Journal of Economics*, 99(4), 753-765.

Kling C. et J. Zhao (2000). On the long-run efficiency of auctioned vs. free permits. *Economics Letters*, 69(2), 235-238.

Lyon R. (1982). Equilibrium properties of auctions and alternative procedures for allocation transferable permits. *Journal of Environmental Economics and Management*, 13(2), 129-152.

Malik A. (1990). Markets for pollution control when firms are noncompliant. *Journal of Environmental Economics and Management*, 18(2), 97-106.

Montero J.-P. (2001). Multipollutant markets. *RAND Journal of Economics*, 32(4), 762-774.

Stavins R. (1995). Transaction costs and tradeable permits. *Journal of Environmental Economics and Management*, 29(2), 133-148.

Strandlund J. et K. Dhanda (1999). Endogenous monitoring and enforcement of a transferable emissions permit system. *Journal of Environmental Economics and Management*, 38(3), 267-282.

Unold W. et T. Requate (2001). Pollution control by options trading. *Economics Letters*, 73, 253-358.

van Steenberghe V. (2000). Concevoir un marché domestique de droits d'émission de gaz à effet de serre. Analyses économiques et prévisions, Université catholique de Louvain, juin 2000, 71-93.

## Environmental Economics & Management Memorandum

Chair Lhoist Berghmans in Environmental Economics and Management  
Center for Operations Research & Econometrics (CORE)  
Université catholique de Louvain (UCL)  
Voie du Roman Pays 34  
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

Hard copies are available upon request : [env@core.ucl.ac.be](mailto:env@core.ucl.ac.be)

Papers are available in pdf format on line : [www.core.ucl.ac.be/chlhoist](http://www.core.ucl.ac.be/chlhoist)