EconomiX

http://economix.u-paris10.fr/

Document de Travail

Working Paper

2006-07

Stockage des permis de pollution en incertitude et règle de partage optimal de risques

Johanna ETNER
Pierre-André JOUVET

UMR 7166 CNRS

Université Paris X-Nanterre
Maison Max Weber (bâtiments K et G)
200, Avenue de la République
92001 NANTERRE CEDEX

Tél et Fax : 33.(0)1.40.97.59.07
Email : secretariat-economix@u-paris10.fr

Université Paris X Nanterre

Stockage des permis de pollution en incertitude et règle de partage optimale des risques*

Johanna Etner[†], Pierre-André Jouvet[‡]

8 octobre 2006

*Les auteurs remercient l'ensemble des participants aux Rencontres de l'Environnement qui se sont déroulées au CORE en janvier 2006 ainsi que les deux rapporteurs des DT EconomiX pour leurs suggestions.

[†]Centre d'Economie de la Sorbonne, EUREQua et GAINS, Université du Maine, avenue Olivier Messiaen, 72085 Le Mans cedex 9, France. e-mail : johanna.etner@univ-lemans.fr.

[‡]EconomiX, UMR-CNRS, Université de Paris X et CORE, Louvain-la-Neuve. e-mail : pierre-andre.jouvet@u-paris10.fr.

Résumé

Les permis de pollution sont porteurs d'incertitude à la fois sur leur prix futur mais également sur les décisions politiques aussi bien en terme de règles d'allocation entre les firmes qu'en terme de dotations globales. Ces incertitudes politiques peuvent conduire à une certaine réticence des firmes à s'engager en faveur de ce mode de régulation. Nous proposons d'établir des règles de partages optimales des risques afin de palier aux incertitudes politiques et nous montrons comment l'autorisation de stockage de permis par les firmes peut compenser ces risques.
mots-clés : Comportement des firmes, permis de pollution, incertitude politique

JEL Classification : D21, D80, Q58

Abstract

The well known economic advantage of tradable permits over command and control obviously vanish if firms do not trade because of policy uncertainty. In fact, uncertainty about changes in the permits program could make firms reluctant to invest in tradable permits. This article proposes to give optimal risk sharing rules in order to respond to policy risk. We show how banking of tradable permits can be used as a tool of policy risk control.
Key words : Firm behavior, Tradable permits, policy risk

JEL Codes : D21, D80, Q58

1 Introduction

Les permis de pollution sont généralement considérés comme un instrument performant pour obtenir une régulation de la pollution par les firmes. Leurs avantages sont nombreux et largement décrits par la littérature (Bohm and Russel (1985), Pearce and Turner (1990), Cropper and Oates (1992), Koutstaal (1997), Baumol and Oates (1998),...). Néanmoins, ils sont porteurs d'incertitude quant aux décisions politiques qu'ils impliquent. En effet, si dans le cas classique d'une taxe, l'incertitude politique porte sur le montant de la taxe, dans le cas des permis de pollution l'incertitude va porter non seulement sur le prix des permis par le jeu du marché mais également sur d'une part le montant global des permis décidé par le régulateur et d'autre part sur les règles de distribution des permis également choisies par le régulateur.

Autrement dit, l'argument informationnel (besoin de moins d'information sur les coûts de dépollution des firmes) en faveur des permis de pollution par rapport aux autres instruments classiques (taxes, subventions) est à tempérer compte tenu de l'incertitude plus grande pour les firmes au niveau des risques de variations des décisions politiques (allocation globale des permis, répartition entre les firmes). Face à ces incertitudes politiques un certain nombre de firmes expriment leur volonté de ne pas investir dans les permis de pollution et leurs craintes par rapport à un système de régulation environnementale trop soumis aux aléas politiques (Wossink et Gardebroek (2006)).

Hahn (1989) fut l'un des premiers à souligner les effets négatifs des incertitudes politiques sur les programmes de régulation environnementale par les permis de pollution. Il souligne que les avantages des permis en terme de contrôle de la pollution peuvent être annulés par les incertitudes politiques quant aux possibilités de transferts et d'échanges des permis de pollution. D'autres auteurs tels que Leston (1992), Stavins (1995) ou encore Ben-David *et al.* (1999) ont également souligné que la performance des permis de pollution était liée en grande partie à la clarté des options politiques.

Dans cet article, nous analysons les décisions de production des firmes soumises à la mise en place d'une politique de régulation de l'environnement par l'introduction d'un marché de permis de pollution sachant que les firmes ont la possibilité de stocker des permis de pollution d'une période à l'autre. A chaque début de période, les firmes reçoivent une dotation de permis. En considérant le cas d'absence d'incertitude sur l'allocation future de permis comme référence, la firme va sans surprise lisser son utilisation de permis entre les périodes en fonction des dotations de chaque période. L'introduction d'une incertitude sur l'allocation future peut inciter les firmes à stocker des permis et donc à réduire leurs émissions. La question centrale est de savoir comment vont réagir les firmes si l'on considère une variation du niveau d'incertitude et s'il existe une règle optimale de partage des risques entre les firmes. Autrement dit, une augmentation de l'incertitude sur l'allocation future va-t-elle avoir un effet positif ou négatif sur le niveau de stockage des firmes ?

Cet article est organisé de la manière suivante. La prochaine section est consacrée à l'analyse des comportements des firmes. La troisième section s'intéresse à la mutualisation des risques et propose une règle de partage optimale des risques. Enfin, en dernière section est proposée une courte conclusion.

2 Comportement des firmes

Nous analysons le comportement des firmes prenant leurs décisions de production sur deux périodes. En première période elles obtiennent une dotation de permis $\bar{P}_t$. Cette dotation peut être utilisée pour la production mais également vendue ou stockée pour la période suivante. En seconde période les firmes obtiendront une nouvelle allocation de permis, $\bar{P}_{t+1}$.

A chaque période, chaque firme produit un bien à partir d'une technologie de production employant une quantité d'input X_t et des permis de pollution, P_t. Par conséquent, à partir de la mise en place des permis de pollution à la date t, la firme, en plus d'utiliser une quantité d'input X_t, utilise de l'environnement en quantité P_t, pour produire une quantité de bien Y_t :

$$Y_t = F(X_t, P_t) \tag{1}$$

La quantité d'environnement P_t indique tout simplement le nombre de permis de pollution demandé par la firme pour produire. Nous retenons les propriétés suivantes pour la fonction de production : elle est strictement concave en chacun de ses arguments et ses dérivées secondes non croisées sont négatives ($F_{ii} < 0$).

2.1 Comportement d'une firme en absence d'incertitude

La firme maximise son profit intertemporel en fonction de ses inputs X_t et X_{t+1} et du choix d'utilisation des permis de pollution P_t et P_{t+1}. On note $\bar{P}_t$ et $\bar{P}_{t+1}$ les allocations de permis données à la firme et S_t le stock de permis résultant de la différence entre le stock de permis alloué à la firme et le nombre de permis qu'elle utilise[1], $S_t = \bar{P}_t - P_t$. En seconde période la firme utilise en plus de sa dotation, le stock de permis constitué à la période précédente. En considérant β le facteur d'actualisation de la firme, son profit intertemporel est donc défini par :

$$\Pi_t = \pi_t + \beta\pi_{t+1}$$

avec $\pi_t = F(X_t, P_t) - R_t X_t + q_t(\bar{P}_t - P_t)$ et $\pi_{t+1} = F(X_{t+1}, P_{t+1}) - R_{t+1}X_{t+1} + q_{t+1}(\bar{P}_{t+1} + S_t - P_t)$ avec R_t et R_{t+1} les prix des inputs, q_t et q_{t+1} les prix des permis de pollution.

Avec $S_t = \bar{P}_t - P_t$, le programme de la firme s'écrit :

$$\max_{X_t, X_{t+1}, S_t, P_{t+1}} \left\{ \begin{array}{c} F(X_t, \bar{P}_t - S_t) - R_t X_t + q_t S_t \\ +\beta \left\{ F(X_{t+1}, P_{t+1}) - R_{t+1}X_{t+1} + q_{t+1}(\bar{P}_{t+1} + S_t - P_{t+1}) \right\} \end{array} \right\}$$

Les conditions de premier ordre sont :

$$F_{X_t}(X_t, P_t) = R_t \tag{2}$$

$$F_{X_{t+1}}(X_{t+1}, P_{t+1}) = R_{t+1} \tag{3}$$

$$F_{P_t}(X_t, P_t) - q_t - \beta q_{t+1} = 0 \tag{4}$$

$$F_{P_{t+1}}(X_{t+1}, P_{t+1}) - q_{t+1} = 0 \tag{5}$$

[1] Le stock S_t est réalisé après les échanges. Le cas $S_t < 0$ correspond à une dette en permis de la part de la firme.

En combinant les relations (4) et (5), nous obtenons,

$$F_{P_t}(X_t, P_t) = q_t + \beta F_{P_{t+1}}(X_{t+1}, P_{t+1}) \tag{6}$$

Cette relation indique que le choix d'utilisation des permis à la période t dépend non seulement de leur valeur en t mais également de la productivité actualisée des permis à la période suivante. Le dernier terme de cette relation est, en fait, directement lié à la possibilité de stockage des permis par la firme. En différenciant les relations (2), (3) et (6), nous obtenons les effets d'une variation du nombre de permis alloué en première période ou seconde période sur la décision de stockage de la firme. Nous obtenons que le stockage est une fonction croissante de l'allocation de première période, $dS_t/d\bar{P}_t > 0$ et décroissante de l'allocation de seconde période, $dS_t/d\bar{P}_{t+1} < 0$.
Maintenant que nous avons présenté le modèle de base de notre analyse nous pouvons introduire une incertitude sur l'allocation des permis en seconde période.

2.2 Comportement d'une firme en présence d'incertitude

Nous supposons à présent que l'allocation de seconde période est aléatoire, $\tilde{P}_{t+1}$. L'aspect aléatoire peut-être lié au fait que les règles d'allocation des permis peuvent être modifiées à la marge par le régulateur ou simplement au fait que la dotation totale de permis de seconde période subit un aléa à la marge. Plus précisément, l'allocation de permis en seconde période ne sera connue par la firme qu'en début de seconde période. Aussi, à la date $t+1$, la firme connaîtra le montant $\hat{P}_{t+1}$ de permis qui lui sera alloué et pourra effectuer son choix d'utilisation des inputs de production. Néanmoins à la date t, ce montant n'est pas connu avec certitude. On suppose que la firme anticipe un montant moyen de permis égal à $\bar{P}_{t+1}$,

$$\tilde{P}_{t+1} = \bar{P}_{t+1} + a\tilde{\epsilon}$$

avec $\tilde{\epsilon}$ un bruit blanc centré qui suit une distribution de probabilité $G(.)$ et $a > 0$ un paramètre. Le risque lié à la dotation intitiale de permis en seconde période peut être mesuré par la variance $var(\tilde{P}_{t+1}) = a^2 var(\tilde{\epsilon})$. En situation d'incertitude sur l'allocation de seconde période le profit intertemporel, $E\Pi_t = \pi_t + \beta E\pi_{t+1}$ s'écrit

$$\Pi_t = \left\{ \begin{array}{c} F(X_t, \bar{P}_t - S_t) - R_t X_t + q_t S_t \\ +\beta E \left\{ F(X_{t+1}, P_{t+1}) - R_{t+1} X_{t+1} + q_{t+1}(\tilde{P}_{t+1} + S_t - P_{t+1}) \right\} \end{array} \right\}$$

Le choix de la firme se fait alors en deux temps. Dans un premier temps, la firme choisit S_t et X_t en considérant une incertitude sur le montant des permis futurs. Dans un second temps, elle choisit X_{t+1} et P_{t+1} étant donnés ses choix de première période.

Ce programme se résout en deux étapes.

Première étape : choix de X_{t+1} et P_{t+1} à S_t et $\hat{P}_{t+1}$ donnés

$$\max_{X_{t+1}, P_{t+1}} \left\{ \pi_{t+1} = \beta \left\{ F(X_{t+1}, P_{t+1}) - R_{t+1} X_{t+1} + q_{t+1}(\hat{P}_{t+1} + S_t - P_{t+1}) \right\} \right\}$$

Les conditions de premier ordre sont

$$F_{X_{t+1}} - R_{t+1} = 0 \tag{7}$$

et

$$F_{P_{t+1}} - q_{t+1} = 0 \tag{8}$$

Nous obtenons alors un niveau de profit de seconde période, $\tilde{\pi}^{\star}_{t+1}$ fonction de la dotation en permis $\hat{P}_{t+1}$ et du stock S_t,

$$\begin{aligned}\tilde{\pi}^{\star}_{t+1}(\hat{P}_{t+1}) = F(X^{\star}_{t+1}(\hat{P}_{t+1}, S_t), P^{\star}_{t+1}(\hat{P}_{t+1}, S_t)) - R_{t+1}X^{\star}_{t+1}(\hat{P}_{t+1}, S_t)\\ +q_{t+1}(\hat{P}_{t+1} + S_t - P^{\star}_{t+1}(\hat{P}_{t+1}, S_t))\end{aligned}$$

Deuxième étape : choix de X_t et S_t en présence d'une dotation aléatoire de permis, $\tilde{P}_{t+1}$

$$\max_{X_t, S_t} \left\{ \; F(X_t, \bar{P}_t - S_t) - R_t X_t + q_t S_t + \beta E \left\{ \tilde{\pi}^{\star}_{t+1}(\tilde{P}_{t+1}) \right\} \; \right\}$$

Les conditions d'optimalité sont,

$$F_{X_t} = R_t \tag{9}$$

$$F_{P_t} - q_t - \beta E q_{t+1} = 0 \tag{10}$$

En combinant les relations (8) et (10), nous obtenons en espérance une condition similaire au cas sans incertitude à savoir,

$$F_{P_t}(X_t, \bar{P}_t - S_t) = q_t + \beta E F_{P_{t+1}}(X^{\star}_{t+1}(\tilde{P}_{t+1}, S_t), P^{\star}_{t+1}(\tilde{P}_{t+1}, S_t)) \tag{11}$$

Sans variation du niveau d'incertitude, le comportement de la firme est simplement basé sur son espérance de profit et nous retrouvons des résultats similaires à ceux de la section précédente (la relation (11) est donc similaire à la relation (6)). Nous devons en fait nous interroger sur les conséquences d'un changement du niveau de risque quant à l'allocation de seconde période des permis de pollution. Pour ce faire, nous allons considérer les effets d'une variation du paramètre a sur les choix de stockage et d'inputs de la firme. En utilisant les conditions (9) et (11), les effets d'une variation du niveau d'incertitude sont déterminés à partir du système suivant :

$$F_{X_tX_t}dX_t - F_{X_tP_t}dS_t = 0 \tag{12}$$

$$F_{P_tX_t}dX_t - F_{P_tP_t}dS_t = \beta EF_{P_{t+1}P_{t+1}}dS_{t+1} + \beta E\tilde{\epsilon}F_{P_{t+1}P_{t+1}}da \tag{13}$$

L'effet d'une variation du niveau de risque sur le choix de stockage des firmes, dS/da, est alors donné par le signe de $E\tilde{\epsilon}F_{PP}(X^\star, S^\star + a\tilde{\epsilon})$. Ce signe est donné par l'analyse de la monotonie de la fonction $h(\epsilon) = F_{PP}(X, S + a\epsilon)$. Nous obtenons alors la caractérisation suivante des effets d'une variation de risque sur la variable de stock S,

Proposition 1 *Le stockage des permis de pollution par la firme est une fonction croissante (décroissante) du risque si et seulement si la dérivée tierce de la fonction de production par rapport aux émissions, F_{PPP} est positive (négative).*

Les conditions sur la dérivée tierce de la fonction de production par rapport aux émissions renvoient en définitive à l'étude de la concavité de cette fonction. Nous pouvons en terme d'interprétation établir un parallèle avec les analyses des comportements des agents dans le risque utilisant la notion de prudence introduite par Kimball (1990).

Concernant les effets d'une variation de risque sur le choix des inputs, nous avons,

$$dX_t = \frac{F_{XP}}{F_{XX}} dS_t \tag{14}$$

Par conséquent, le sens de variation de la quantité d'input X_t dépend du signe de la dérivée croisée de la fonction de production (sous l'hypothèse $F_{XX} < 0$). Les effets d'une variation de risque sur la quantité d'input X utilisée par la firme sont déterminés par le signe de $-F_{XP}dS/da$. Ce signe dépend donc à la fois du signe de la dérivée croisée de la fonction de production et du signe de la dérivée tierce. Nous obtenons alors la proposition suivante,

Proposition 2 *Dans le cas où le stockage est une fonction croissante du risque, si la fonction de production est à facteurs de production complémentaire (substituables), $F_{XP} > 0$ ($F_{XP} < 0$), alors la firme diminue (augmente) l'utilisation de son input, X, en réponse à une augmentation du risque.*

Nous venons de voir que les variations en terme d'input et de stock de permis pour la firme dépendent en fait des caractéristiques de sa fonction de production en terme de concavité. Des firmes ayant des caractéristiques différentes sur leurs dérivées tierces vont alors avoir des comportements oppposés en terme de stockage de permis. La question est de savoir, si des firmes différentes peuvent mutualiser leur risque par l'intermédiaire d'une agence de gestion des permis ? Et dans l'affirmative, quelle va être la règle de partage optimale des risques ?

3 La gestion des risques

3.1 La mutualisation des risques

Pour étudier la règle de partage des risques, nous allons supposer qu'il existe N firmes dans l'économie et Θ états de la nature. On note $\bar{P}_{t+1}^{i\theta}$ la dotation en permis que perçoit la firme i dans l'état de la nature θ, $0 \leq \theta \leq \Theta$, qui se réalise avec la probabilité μ_θ. Le programme d'une firme de type i s'écrit alors

$$\max_{X_t, X_{t+1}, S_t, P_{t+1}} \left\{ \begin{array}{c} F^i(X_t^i, \bar{P}_t^i - S_t^i) - R_t X_t^i + q_t S_t^i \\ +\beta \sum_{\theta=0}^{\Theta} \mu_\theta \left\{ F^i(X_{t+1}^i, P_{t+1}) - R_{t+1} X_{t+1}^i + q_{t+1}(\bar{P}_{t+1}^{i\theta} + S_t^i - P_{t+1}^i) \right\} \end{array} \right\}$$

Une mutualisation des risques implique la mise en place d'une agence de coopération[2] entre les firmes chargée de maximiser la somme des profits des firmes quels que soient les états de la nature. Cette agence va donc prendre en compte la somme des dotations des firmes sur les deux périodes :

$$\sum_i^N \bar{P}_t^i = \sum_i P_t^i + S \tag{15}$$

et

$$\sum_i \bar{P}_{t+1}^{i\theta} + S = \sum_i P_{t+1}^{i\theta}, \ \forall \theta \in [0, \Theta] \tag{16}$$

[2]Cette agence peut correspondre soit à une "maison mère" avec N filiales soit en définitive à une centralisation des décisions de production. En fait, cette forme de mutualisation correspond à celle couramment utilisée dans le cadre des mutuelles d'assurance pour les consommateurs (voir Gollier (2001)).

En substituant S dans les contraintes (15) et (16), nous obtenons la contrainte suivante pour l'agence,

$$\sum_i [\bar{P}_t^i + \bar{P}_{t+1}^{i\theta}] = \sum_i P_t^i + \sum_i P_{t+1}^{i\theta} \equiv \bar{P}^\theta,\ \forall \theta \in [0, \Theta] \tag{17}$$

Le programme de l'agence est donc de maximiser la somme des profits en choisissant les niveaux d'input des firmes (X_t^i et $X_{t+1}^{i\theta}$) ainsi que les niveaux d'utilisation des permis de pollution (P_t^i et $P_{t+1}^{i\theta}$) pour tous les états de la nature. L'agence prenant en compte l'ensemble des profits des firmes et sachant que l'ensemble des ventes des permis doit être égal à l'ensemble des achats, le programme de l'agence est le suivant :

$$\max_{\{X_t^i, X_{t+1}^{i\theta}, P_t^i, P_{t+1}^{i\theta}\}_{i,\theta}} \sum_i \left\{ \begin{array}{c} F^i(X_t^i, P_t^i) - R_t X_t^i \\ +\beta \sum_{\theta=0}^{\Theta} \mu_\theta \left\{ F^i(X_{t+1}^{i\theta}, P_{t+1}^{i\theta}) - R_{t+1} X_{t+1}^{i\theta} \right\} \end{array} \right\}$$

sous la contrainte (17). En notant λ_θ le multiplicateur de Lagrange de la contrainte dans l'état θ, nous obtenons les conditions de premier ordre suivantes pour tout i et quel que soit $\theta \in [0, \Theta]$:

$$F^i_{X_t^i}(X_t^i, P_t^i) = R_t \tag{18}$$

$$F^i_{X_{t+1}^{i\theta}}(X_{t+1}^{i\theta}, P_{t+1}^{i\theta}) = R_{t+1} \tag{19}$$

$$F^i_{P_t^i}(X_t^i, P_t^i) = \sum_\theta \lambda_\theta \tag{20}$$

$$\beta \mu_\theta F^i_{P_{t+1}^{i\theta}}(X_{t+1}^{i\theta}, P_{t+1}^{i\theta}) = \lambda_\theta \tag{21}$$

et

$$\lambda_\theta \left\{ \sum_i [\bar{P}_t^i + \bar{P}_{t+1}^{i\theta}] - \sum_i P_t^i - \sum_i P_{t+1}^{i\theta} \right\} = 0 \tag{22}$$

Nous pouvons alors déterminer la condition de Borch appliquée aux firmes et retrouver le principe de mutualité. A l'optimum, les taux marginaux de substitution technique des firmes i et j entre deux états de la nature, θ_1 et θ_2, sont égaux :

$$\frac{F^i_{P^{i\theta_1}_{t+1}}(X^{i\theta_1}_{t+1}, P^{i\theta_1}_{t+1})}{F^i_{P^{i\theta_2}_{t+1}}(X^{i\theta_2}_{t+1}, P^{i\theta_2}_{t+1})} = \frac{F^j_{P^{j\theta_1}_{t+1}}(X^{j\theta_1}_{t+1}, P^{j\theta_1}_{t+1})}{F^j_{P^{i\theta_2}_{t+1}}(X^{j\theta_2}_{t+1}, P^{j\theta_2}_{t+1})} \ \forall i, j, \theta_1, \theta_2 \tag{23}$$

Cette condition est l'analogue de celle de Borch (1962) sur les taux marginaux de substitution des agents entre deux états de la nature.
A partir de l'ensemble des conditions d'optimalités ((18) à (22)), nous obtenons le principe de mutualité suivant,

$$P^{i\theta}_{t+1} = \Gamma^{i\theta}(\bar{P}^1, \bar{P}^2, ..., \bar{P}^\theta, ..., \bar{P}^\Theta) \tag{24}$$

Cette relation exprime le fait que les permis distribués par l'agence dépendent de la somme agrégée de l'ensemble des permis disponibles dans l'économie sur les deux périodes.
En cas d'une modification des règles d'allocation des permis entre les firmes sans incertitude sur le montant total des permis dans l'économie en seconde période, nous obtenons le principe suivant,
Quelles que soient les décisions du régulateur en terme de critère d'allocations de permis aux firmes en seconde période, la ré-allocation par l'agence est Pareto optimale pour les firmes.

L'espérance de profit des firmes est identique au cas d'absence d'incertitude à partir du moment où c'est l'agence qui redistribue l'ensemble des permis dans l'économie. En effet, en connaissant simplement le montant global de permis à chaque période, $\bar{\bar{P}}_t = \sum\limits_i \bar{P}_t^i$ et $\bar{\bar{P}}_{t+1} = \sum\limits_i \bar{P}_{t+1}^i$, l'agence va pouvoir redistribuer l'ensemble des permis, $\bar{\bar{P}}_t + \bar{\bar{P}}_{t+1}$, sur chaque période quelles que soient les modifications de règle d'allocation souhaitées par le régulateur. Dans ce cas, l'agence peut effectuer un lissage des permis sur les deux périodes en lieu et place des firmes. En respectant la condition de Borch, cette allocation est Pareto optimale.

En revanche, comme nous allons le voir dans la section suivante, si l'aléa porte sur le montant total de permis alloués en seconde période, alors l'agence de mutalisation va pouvoir proposer une règle de partage optimale des risques liée aux permis.

3.2 Règle de partage optimale des risques

Pour un état de la nature donné, θ, nous pouvons déduire des conditions d'optimalité, l'égalité des productivités marginales des permis entre les firmes,

$$F^i_{P^{i\theta}_{t+1}}(X^{i\theta}_{t+1}, P^{i\theta}_{t+1}) = F^j_{P^{j\theta}_{t+1}}(X^{j\theta}_{t+1}, P^{j\theta}_{t+1}) \tag{25}$$

En utilisant la relation (19), les inputs X de seconde période peuvent être exprimés comme des fonctions des permis de seconde période,

$$X^{i\theta}_{t+1} = \Phi^i(P^{i\theta}_{t+1}) \tag{26}$$

En introduisant ces fonctions dans la relation (25), nous obtenons une relation entre les dotations finales des permis des firmes prises deux à deux,

$$F^i_{P^{i\theta}_{t+1}}(\Phi^i(P^{i\theta}_{t+1}), P^{i\theta}_{t+1}) - F^j_{P^{j\theta}_{t+1}}(\Phi^j(P^{j\theta}_{t+1}), P^{j\theta}_{t+1}) = 0 \tag{27}$$

Afin de préciser la règle de partage optimale des risques, nous allons étudier les variations d'allocation des permis aux différentes firmes en fonction des variations du stock de permis de seconde période. Pour ce faire nous devons considérer la contrainte (17) d'allocation des permis selon deux états de la nature θ_1 et θ_2

$$\sum_i [\bar{P}^i_t + \bar{P}^{i\theta_1}_{t+1}] = \sum_i P^i_t + \sum_i P^{i\theta_1}_{t+1} \tag{28}$$

et

$$\sum_i [\bar{P}^i_t + \bar{P}^{i\theta_2}_{t+1}] = \sum_i P^i_t + \sum_i P^{i\theta_2}_{t+1} \tag{29}$$

Avec $\bar{\bar{P}}^{\theta_1}_{t+1} = \sum_i \bar{P}^{i\theta_1}_{t+1}$ et $\bar{\bar{P}}^{\theta_2}_{t+1} = \sum_i \bar{P}^{i\theta_2}_{t+1}$, les dotations totales dans chaque état de la nature, nous obtenons

$$\bar{\bar{P}}^{\theta_1}_{t+1} - \bar{\bar{P}}^{\theta_2}_{t+1} = \sum_i P^{i\theta_1}_{t+1} - \sum_i P^{i\theta_2}_{t+1} \tag{30}$$

En utilisant la relation (27) et le théorème des fonctions implicites nous pouvons définir pour tout état de la nature une relation entre les allocations des permis de seconde période des firmes,

$$P^{i\theta}_{t+1} = g^{\theta}_{ij}(P^{j\theta}_{t+1}) \tag{31}$$

En utilisant les relations (30) et (31), nous obtenons

$$\frac{dP_{t+1}^{j\theta}}{d\bar{\bar{P}}_{t+1}^{\theta}} = \frac{1}{\sum_i g_{ij}'^{\theta}(P_{t+1}^{j\theta})} \tag{32}$$

avec

$$g_{ij}'^{\theta}(P_{t+1}^{j\theta}) = \frac{\partial F_P^j/\partial P}{\partial F_P^i/\partial P}$$

En notant σ_j^θ l'élasticité de la productivité marginale de la variable environnementale de la fonction de production d'une firme i par rapport à une variation du nombre de permis

$$\sigma_j^\theta = P \times \frac{\partial F_P^j/\partial P}{\partial F^j/\partial P}$$

nous obtenons la proposition suivante,

Proposition 3 *Si le stock total de permis de seconde période est aléatoire, toutes les règles de partage optimales des risques entre les firmes vérifient*

$$\frac{dP_{t+1}^{j\theta}}{d\bar{\bar{P}}_{t+1}^{\theta}} = \frac{\sigma_j^\theta/P_{t+1}^{j\theta}}{\sum_i \sigma_i^\theta/P_{t+1}^{i\theta}}$$

Par conséquent, lorsque la dotation initiale globale des permis dans l'état θ augmente, la dotation finale de permis de seconde période dans cet état augmente proportionnellement à l'élasticité de la productivité marginale vis-à-vis de la variable environnement. Cette condition de partage tient ainsi compte de la sensibilité de la productivité marginale de la firme au nombre de permis.

4 Conclusion

Dans cet article nous avons montré que l'existence d'une incertitude sur la dotation de permis peut inciter les firmes à adopter un comportement de stockage des permis de pollution afin de se prémunir contre ce risque. La condition sous laquelle des firmes neutres au risque se prémunissent contre le risque en stockant des permis de pollution porte sur la dérivée tierce de la fonction de production. Cette condition est analogue à la condition sous laquelle les agents sont dits prudents (dérivée tierce de la fonction d'utilité positive).

De plus, nous avons caractérisé les règles de partage optimales des risques en réponse à une incertitude qui peut porter soit sur la répartition des permis entre les firmes soit sur la dotation globale des permis. Ces règles dépendent des caractéristiques technologique des firmes et plus précisément de la concavité de la fonction de production vis-à-vis de l'environnement.

D'un point de vue politique, il semble alors que l'acceptation d'une gestion de l'environnement par la mise en place de permis de pollution implique que les firmes aient la possibilité d'effectuer du stockage afin de pouvoir palier aux risques liés aux décisions politiques. Le stockage des permis n'est pas ici justifié par de simples problèmes d'adaptation aux contraintes environnementale mais apparaît comme un élément de réponse face aux risques politiques engendrés par cet instrument de régulation de l'environnement.

Références

[1] Baumol W. et W. E. Oates, (1998), The theory of environmental policy, Cambridge, Cambridge University Press.

[2] Ben-David S., D.S. Brookshire, S. Burness, M. McHee et C. Smidt,(1999), Heterogeneity, irreversible production choice, and efficiency in emission permits markets, Journal of Environmental Economics and Management, 38, pp. 176-194.

[3] Bohm P. et C. S. Russel,(1985), Comparative analysis of alternative policy instruments , in Handbook of Natural Resources and Energy Economics, A.V. Kneese and J.L. Sweeny (eds), New-York, North-Holland, pp. 395-455.

[4] Borch K. (1962), Equilibrium in a reinssurance market, Econometrica, 30, pp 424-444.

[5] Cropper M. L. et W. E. Oates,(1992), Environmental economics : a survey , Journal of Economics Literature, 30, pp. 675-740.

[6] Gollier Ch., (2001), The economics of risk and time, The MIT Press, Massachusetts Institute of Technology.

[7] Hahn R.,(1989), Economics prescription for economic problems : How the patiant followed the Doctor's orders, Jounal of Economic Perspectives, 3, pp 252-262.

[8] Kimball M. S., (1990), Precautionary savings in the small and in the large, *E*conometrica, **58**, 53-73.

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

[10] Leston D., (1992), Investment decisions and transferable discharge permits : an empirical study of water quality management under policy uncertainty, Environmental and Resource Economics, 2, pp. 441-458.

[11] Pearce D.W. et R.K. Turner, (1990), Economic of natural resources and the environment, Harvester Wheatsheaf.

[12] Stavins R.N., (1995), Transaction costs and tradable permits, Journal of Environmental Economics and Management, 29, pp. 133-148.

[13] Wossink A. et C. Gardebroek, (2006), Environmental policy uncertainty and marketable permit systems : the dutch phophate quota program, American JOurnal of Agricultural Economics, 88, pp 16-27.