



**Bureau
d'économie
théorique
et appliquée
(BETA)**
UMR 7522

Documents de travail

« Incitation à l'adoption de technologies propres »

Auteurs

Mourad Afif

Document de Travail n° 2012 - 11

Juillet 2012

Faculté des sciences économiques et de gestion

Pôle européen de gestion et
d'économie (PEGE)
61 avenue de la Forêt Noire
F-67085 Strasbourg Cedex

Secrétariat du BETA

Géraldine Manderscheidt
Tél. : (33) 03 68 85 20 69
Fax : (33) 03 68 85 20 70
g.manderscheidt@unistra.fr
www.beta-umr7522.fr



Incitation à l'adoption de technologies propres *

Mourad AFIF[†]

Résumé

Dans un nouveau contexte économique dominé par la crise et la récession, la limitation directe des émissions des gaz à effet de serre (GES) à l'aide de la taxe ou des permis d'émission est plus que jamais difficile à mettre en place^a. Ainsi, on assiste à l'émergence des appels à l'encouragement des technologies et des procédés présentant un fort potentiel d'économie des émissions. Nous savons d'après Requate and Unold [2003] que si le régulateur est myope et connaît parfaitement les coûts de dépollution, alors la taxe fournit une incitation au changement technologique plus forte que l'échange de permis. Cependant, le régulateur est souvent appelé à concevoir la politique de régulation de pollution en situation d'incertitude sur le coût de dépollution. Dans une telle situation, Roberts and Spence [1976] montrent que l'instrument hybride taxe-permis est économiquement plus efficace à réduire les émissions de pollution que la taxe seule ou le permis seul.

Nous étudions dans ce papier l'impact de l'incertitude concernant le coût de dépollution sur l'incitation au changement technologique. Nous nous intéresserons particulièrement aux incitations engendrées par la taxe, le permis et le système hybride taxe-permis en situation d'incertitude sur le coût de dépollution. Cette incitation est mesurée par les gains additionnels réalisés sur le prix et le volume d'émission occasionnés par l'adoption de la technologie propre.

Mots clés : Adoption de technologie ; Coût de dépollution ; Permis d'émission ; Taxes d'émission ; Incertitude.

JEL Classification : D82 ; H23 ; Q52 ; L51.

a. En France, le rapport de Michel Rocard présenté à Nicolas Sarkozy, le 28/07/2009, suggère une taxe sur les GES démarant à 32 € et atteignant 100 € en 2030. Jugée lourde, notamment sur les ménages les plus modestes, cette taxe a été réduite à 17 € avant qu'elle soit abandonnée par le conseil constitutionnel (décision n° 2009-599 du 29/12/2009) avant même sa mise en application.

*Nous remercions particulièrement Sandrine Spaeter et Anne Rozan pour leurs nombreux commentaires sur ce travail.

[†]Université Mohammed V AGDAL, Av. des Nations-Unies, B.P. 721 Agdal - Rabat. É-mail : aff@unistra.fr.

1 Introduction

Pour atteindre le niveau d'émission objectif prévu par la politique environnementale, une firme peut réduire son niveau de production sans changer sa technologie et ses inputs. Elle peut également atteindre le même but tout en gardant le même niveau de production voire l'augmenter grâce à des changements technologiques. Ces changements consistent à réduire la pollution selon deux conceptions : soit en aval du processus de production à l'aide des techniques en bout de chaîne (*end of pipe*) comme le traitement des déchets industriels, soit en amont via l'intégration d'un ensemble de pratiques ou de techniques. La première conception a l'inconvénient de générer des coûts plus élevés, notamment lorsque le niveau de dépollution fixé est important. Ainsi, depuis les années 90, on s'oriente davantage vers la deuxième conception, désignée par « l'écologie industrielle » [Frosch and Gallopoulos, 1989], qui consiste à diminuer la pollution dès la phase de conception du bien.

Par ailleurs, l'incitation des politiques environnementales à adopter des technologies moins polluantes est fortement discutée ces dernières décennies. Elle constitue un critère important à prendre en considération lors de l'élaboration des politiques environnementales comme l'a souligné Kneese and Schulze [1975]. Ainsi, une littérature importante, dont par exemple Milliman and Prince [1989], Jung et al. [1996], Downing and White [1986], soutient que les taxes et les permis incitent différemment à adopter une technologie propre, malgré la capacité de ces instruments à atteindre le même niveau de dépollution lorsque le régulateur connaît parfaitement le coût de dépollution des firmes.

Selon Milliman and Prince [1989], la régulation des émissions par des permis vendus aux enchères incite le plus au changement technologique, suivie respectivement par celles basée sur les taxes, les subventions et les permis gratuitement distribués si la firme innovatrice peut s'approprier la totalité des gains de l'innovation. Ce classement des instruments selon le degré d'incitation au changement technologique a été vérifié aussi lorsqu'on considère des firmes hétérogènes Jung et al. [1996]. Cependant, des études ultérieures ont remis en cause ce classement [Keohane, 1999, Fischer et al., 2003, Requate and Unold, 2003]. Ainsi, [Fischer et al., 2003] montrent que, au contraire, les taxes fournissent plus d'incitation relativement aux permis si on suppose que toutes les firmes peuvent innover et aucune firme ne peut s'emparer de la totalité du gain dû à la baisse du prix des permis.

Dans un cadre proche où les firmes sont en concurrence de telle sorte qu'elles ne peuvent pas influencer sur le prix de leur bien produit et où le régulateur est myope,

c'est-à-dire n'anticipe pas l'apparition de la nouvelle technologie, Requate and Unold [2003] montrent que la taxe incite plus à l'innovation que les permis négociables. Cela nous amène à poser la question de la validité de ce résultat lorsque le régulateur ne connaît pas parfaitement le coût de dépollution. Dans le même contexte d'incertitude sur le coût de dépollution nous vérifions également si un système hybride taxe-permis ne serait pas plus incitatif à l'adoption de technologies propres qu'un système taxe seule ou permis seul.

Pour répondre à ces questions, nous dépassons dans ce papier le cadre d'analyse de Requate and Unold [2003] pour étudier l'incitation au changement technologique procurée par les taxes et les permis ; lorsque l'information sur le coût de dépollution n'est pas parfaitement connue du régulateur. Ainsi, nous étendons le choix d'instrument de régulation des émissions à une combinaison taxe-permis (section 4) car nous pensons que le système hybride est plus efficace en situation d'incertitude qui nous préoccupe. En outre, nous supposons que le régulateur est myope. Cette hypothèse peut être justifiée en pratique par la longueur et la complexité du processus législatif.

Notons que, contrairement à Fischer et al. [2003] qui supposent qu'une firme innove et développe une technologie quelconque pour le compte d'autres firmes moyennant des rentes sous formes de licences, nous proposons ici un modèle atemporel, comme Requate and Unold [2003], que toute firme peut inventer ou adopter une technologie par investissement à un coût fixe et aucune rente n'est prévue. Ainsi, une baisse du prix des permis peut conduire certaines firmes à acheter des permis et ne pas adopter de technologie propre.

En outre, nous savons que lorsque les coûts marginaux de dépollution des firmes sont parfaitement connus du régulateur, taxes¹ et permis d'émission négociables

1. Dans ce papier, la taxe peut être positive ou négative (subvention). À long terme, certains arguments sont souvent évoqués pour remettre en question l'équivalence de la taxe et de la subvention. Cette dernière encourage l'entrée d'un grand nombre de firmes en rendant profitables des activités qui ne le seraient pas si celles-ci étaient frappées d'une taxe, risquant d'augmenter les émissions globales[Baumol and Oates, 1988, Ch. 14]. Par ailleurs, contrairement à une taxe payée pour toute pollution émise, une subvention est versée pour toute pollution évitée. Ainsi, la mise en place d'une subvention suppose la définition d'un niveau de référence auquel les émissions futures seront comparées. À ce stade, les firmes peuvent se comporter stratégiquement en augmentant leurs émissions afin d'assurer des subventions ultérieures importantes [Kamien et al., 1966]. Pour rendre la subvention aussi efficace que la taxe, Polinsky [1979]

sont équivalents quant à leur capacité d'atteindre l'objectif d'émission désiré [Montgomery, 1972, Tietenberg, Spulber, 1985, Baumol and Oates, 1988, Cropper and Oates, 1992, Tietenberg, 1995]. Toutefois, en situation d'information imparfaite sur les coûts de dépollution, chacun de ces instruments ne permet pas d'atteindre le niveau d'émission objectif fixé *ex-ante* avec la même efficacité que les autres. En effet, les permis d'émission permettent de garantir l'objectif quantitatif d'émission mais sans prévoir le coût de dépollution permettant d'atteindre cet objectif. Au contraire, la taxe permet de maîtriser le coût de dépollution mais sans garantir l'obtention du niveau d'émission fixé. Ainsi, dans le contexte d'incertitude sur le coût de dépollution, la régulation des émissions par un système hybride est économiquement plus efficace que celle reposant sur des taxes et des permis appliqués seuls [Roberts and Spence, 1976, Courneade and Gastaldo, 2002].

Après avoir exposé le cadre général du modèle dans la section 2, la section 3 fait l'objet d'une étude graphique à la manière de Requate and Unold [2003] sur l'incitation à adopter une technologie propre. Les auteurs supposent que le régulateur est myope et dispose d'information parfaite sur le coût de dépollution des firmes. Dans les sections 4 et 5, nous supposons, en revanche, que le régulateur connaît mal les coûts de dépollution et ne dispose que d'une estimation. Ainsi, l'introduction d'un autre instrument de régulation de la pollution combinant taxe et permis s'avère utile dans ce contexte. Nous prévoyons une taxe payée par les firmes sur les unités d'émission qui dépassent le niveau d'émission autorisé par les permis ainsi qu'une subvention versée aux firmes sur l'excédant de permis d'émission non utilisés. Indépendamment de son effet sur le changement technologique que nous traitons dans ce papier, nous savons qu'un instrument hybride taxe-permis est plus efficace que la taxe ou les permis [Roberts and Spence, 1976, Courneade and Gastaldo, 2002, Afif and Spaeter, 2009].

Nous montrons finalement qu'en présence d'incertitude sur les coûts d'abattement des firmes, celles-ci sont plus incitées à adopter des technologies propres lorsque la pollution est régulée par un instrument hybride que par une taxe ou des permis seulement. Par ailleurs, nous montrons que contrairement au cas d'information parfaite, en situation d'information imparfaite, la taxe incite moins au changement technologique que les autres instruments. Toutefois, le système des permis (resp. le

propose alors de limiter la subvention uniquement aux nouvelles firmes entrants sur le marché.

système hybride) est plus incitatif que les autres instruments lorsque le coût marginal de la technologie propre est supérieur (resp. inférieur) au coût marginal estimé. La dernière section conclut le papier par un résumé des incitations d'adoption de technologies propres fournies par les différents instruments traités.

2 Cadre général du modèle et quantité optimale de pollution

Considérons des firmes émettrices d'un polluant en nombre suffisamment grand pour qu'elles soient en concurrence. Soit un processus modélisé en trois étapes. Dans la première étape, le régulateur impose la politique environnementale définie par $P(x_0, p_0, s_0, t_0)$ où x_0 est le niveau d'émission global autorisé, p_0 , s_0 et t_0 représentent le prix des émissions qui peut prendre respectivement la forme d'un prix de permis p_0 , d'une subvention s_0 ou d'une taxe t_0 .

Le régulateur a souvent une incertitude sur le coût de dépollution des firmes (dans le sens où le coût de dépollution est une information privée et peut être caché au régulateur). Il n'en connaît qu'une estimation sous forme d'une loi de probabilité. Dans ce papier, un système hybride est considéré afin de s'approcher le plus possible de l'objectif de dépollution optimal [Roberts and Spence, 1976]. Concrètement, si le coût de dépollution de la firme s'avère plus élevé que celui estimé par le régulateur, celle-ci est autorisée à polluer au-delà de sa dotation initiale en contrepartie d'une taxe t_0 . Au contraire, si le coût est plus faible que prévu, le régulateur intervient pour éviter l'effondrement du prix des permis en achetant le surplus de dépollution en échange d'une subvention s_0 .

À la deuxième étape, toute firme peut investir ou adopter une technologie propre. Nous utilisons le terme « propre » pour désigner tout procédé susceptible de réduire les émissions plus que la technologie conventionnelle (usuelle ou classique). En outre, nous supposons, à l'instar de Downing and White [1986], Milliman and Prince [1989], Requate and Unold [2003], Jung et al. [1996], que le régulateur est myope. Selon cette hypothèse, le régulateur fixe le niveau d'émission x_0 qui égalise le coût de la technologie conventionnelle et le dommage provoqué par la pollution. Ce niveau de pollution ne prend pas en compte l'adoption d'une technologie propre par les firmes. La politique environnementale est établie *ex-ante* à cette étape. Ainsi, le prix des permis diminuera au fur et à mesure de l'adoption de la technologie propre.

Dans la troisième étape, en application de la politique environnementale, chaque firme acquiert une technologie propre et choisit le niveau d'émission qui minimise son coût de dépollution au prix d'émission donné p_0 ou t_0 .

Rappelons ici les hypothèses de base de la modélisation de notre problème. Si les firmes sont en concurrence et n'influencent pas sur le prix de l'output, nous n'avons pas besoin de prêter explicitement attention au marché de l'output². Nous nous intéressons à la dépollution et ignorons l'aspect productif de la firme en normalisant la fonction de production à zéro. Nous avons n firmes de coûts de dépollution différents, la dépollution de la firme i a un coût noté $C_i(x_i)$ qui représente le coût de dépollution d'un niveau maximum \bar{x}_i (obtenu sans réglementation) à un niveau d'émission plus faible $x_i \in [0, \bar{x}_i]$. Ce coût vérifie les propriétés suivantes : $C_i(x_i) > 0$, $-C_{x_i} > 0$, et $C_{x_i x_i} > 0$ pour tout $x_i < \bar{x}_i$ et $C_i(x_i) = 0$ pour tout $x_i \geq \bar{x}_i$. En outre, le régulateur observe le niveau d'émission des firmes dans la section 3, mais ne l'observe pas dans les sections 4 et 5 puisque celui-ci ne connaît pas parfaitement les coûts de dépollution. Ainsi, le niveau de dépollution à atteindre est fixé sur la base d'une estimation des coûts de dépollution des firmes.

Nous considérons, par ailleurs, que l'imperfection de l'information supposée dans les sections 4 et 5 favorise l'adoption d'un système mixte qui se révèle plus efficace pour réguler la pollution que la taxe ou les permis adoptés séparément [Roberts and Spence, 1976].

Nous supposons encore que les émissions sont réparties entre les firmes de façon à minimiser le coût agrégé de dépollution, c'est-à-dire de façon à égaliser les coûts marginaux de toutes les firmes³.

De ce fait, nous pouvons représenter toutes les firmes du secteur polluant par une firme représentative⁴ et désormais, les i en indice ou en exposant disparaissent.

2. Kolstad [2000, p.119], Requate [2005, note de bas de page 3, p.177]

3. L'explication est dans l'annexe I.

4. Le problème de l'agrégation peut être résolu par application d'une approche par convergence [Theil, 1971, Kempf and Henocq, 1984]. D'après cette approche, on peut supposer que les fonctions de coûts des firmes $C^i(x_i)$ sont différentes mais qu'elles sont distribuées autour d'une fonction représentative linéaire $C(x)$ quelconque. En faisant tendre le nombre de firmes vers l'infini, on a $\sum_{i=1}^n C^i(x_i) \approx nC(x)$, l'erreur est quasiment nulle et peut être négligée.

L'émission du polluant provoque un dommage environnemental représenté par une fonction décroissante et convexe des émissions.

$$D = D(x), D_x > 0, D_{xx} > 0$$

est une connaissance commune.

La fonction objectif du régulateur est une fonction de coût social de dépollution, notée C^s , définie comme la somme des coûts de dépollution privés des firmes et du dommage agrégé. Elle s'écrit de la façon suivante :

$$C^s(x) = C(x) + D(x) \tag{1}$$

La convexité de $C^s(x)$ est une conséquence de la convexité de $C(x)$ et de $D(x)$, d'où l'existence d'un niveau d'émission qui minimise le coût social. Ce niveau vérifie :

$$x^* = \operatorname{argmin} C^s(x) \Leftrightarrow -C_x(x) = D_x(x) \tag{2}$$

L'équation (2) montre que le régulateur choisit le niveau de dépollution qui égalise le bénéfice marginal de dépollution social et le dommage marginal social.

Supposons qu'avant l'investissement, la firme représentative dispose d'une technologie conventionnelle représentée par le coût total de dépollution $-C^0(x)$, avec $C_x^0(x)$ son coût marginal de dépollution⁵. L'adoption d'une technologie propre, représentée par le coût total $C^1(x)$ et le coût marginal $C_x^1(x)$, permet à la firme de réduire son coût marginal de $C^0(x)$ à $C^1(x)$ pour un niveau d'émission donné x avec :

$$-C_x^1(x) < -C_x^0(x) \quad \text{pour tout } x < \bar{x}_0$$

En outre, l'adoption de la technologie propre entraîne un coût fixe $F > 0$ (le coût d'installation par exemple). Nous nous limitons ici à l'adoption de la technologie. Cette question est traitée dans le cadre d'un modèle d'équilibre partiel. L'incitation au changement technologique est modélisée par le gain additionnel quant au prix et au volume d'émission occasionnés par le passage de la technologie conventionnelle à la technologie propre. Pour un prix de marché d'émission q qui peut être un prix de permis ou une taxe, l'incitation exprimée en ce qui concerne le bénéfice net de dépollution s'écrit :

5. ou $-C_x^0(x)$ si on raisonne en terme de bénéfice ou d'économie marginale de dépollution

$$\mathfrak{B} = - \left(\underbrace{\int_{x_0(q)}^{\bar{x}_0} C_x^0(x) dx + \int_{x_1(q)}^{x_0(q)} q dx}_{\text{Coût dépol. avec tech. 0}} - \underbrace{\int_{x_1(q)}^{\bar{x}_1} C_x^1(x) dx}_{\text{Coût dépol. avec tech. 1}} - F \right) \quad (3)$$

Ainsi, la firme n'a intérêt à investir pour adopter la nouvelle technologie que si $\mathfrak{B} > 0$.

En l'absence de réglementation des activités polluantes, il est raisonnable d'affirmer que les firmes ne cherchent pas à changer leur technologie à moins que ce changement augmente leur productivité. Nous avons étudié plusieurs instruments de régulation de la pollution, notamment les instruments économiques. Nous savons en particulier que lorsque l'information est parfaite, les systèmes de taxe et de permis sont équivalents. Dans la section suivante, nous discutons la capacité de la taxe et du permis à inciter au changement technologique.

3 Information parfaite du coût de dépollution

Le but de cette section est de montrer, à l'aide d'une analyse graphique, comme Requate and Unold [2003], que d'une part l'adoption de la technologie propre permet à la firme de réduire à la fois ses émissions polluantes et ses paiements pour se conformer aux exigences de la politique de réglementation de la pollution et de comparer, d'autre part, l'incitation à adopter la technologie propre lorsque la pollution est régulée par une taxe ou par un permis. Nous supposons ici que le régulateur est en mesure de connaître parfaitement le coût de dépollution de la firme. Par conséquent, la régulation par la taxe ou par les permis aboutit au même niveau de dépollution qui correspond à l'optimum social.

3.1 Régulation de la pollution par une taxe

Sur la figure 1, la courbe C_x^0 représente le coût marginal de la firme lorsqu'elle utilise une technologie conventionnelle. Sans aucune régulation, il est moins coûteux pour la firme de ne rien dépenser pour dépolluer. Autrement dit la firme choisit le niveau d'émission \bar{x}_0 .

Le régulateur connaît parfaitement le coût de dépollution de la firme sur la base de la technologie conventionnelle. Ainsi, en application de sa politique de régulation, celui-ci annonce une taxe t_0 afin d'implémenter le niveau d'émission optimal x_0^* .

Dans la suite, nous noterons $x_0^*(t_0)$: le niveau choisi par la firme lorsque le prix des émissions est t_0 . Ce niveau égalise le coût marginal social $C_x^0(x)$ au dommage marginal social de dépollution, $D_x(x)$. Le régulateur souhaite que la firme représentative dépollue la quantité $(\bar{x}_0 - x_0^*(t_0))$.

L'adoption de la technologie propre, à quantité de sortant inchangée, est suivie par la baisse du coût marginal de dépollution qui devient $C_x^1(x)$. Cette baisse se traduit par un déplacement horizontal de la courbe vers l'origine, une baisse du niveau de dépollution maximal et du niveau de dépollution socialement optimal qui deviennent respectivement \bar{x}_1 et $x_1^*(t_1)$. Sachant que le niveau de dépollution imposé à la firme ne change pas, puisqu'il est supposé que le régulateur est myope, l'adoption de la technologie propre a pour effet de permettre simultanément deux économies. La première d'entre elles correspond à une économie en coût de dépollution résultant de la baisse des émissions indépendamment de la politique de régulation mise en place. Cette économie est le résultat direct de l'acquisition de la technologie propre et correspond à l'aire hachurée A . La seconde correspond à une économie en prix de dépollution résultant de la baisse du coût marginal de dépollution et qui, au contraire, dépend de l'instrument de régulation mis en place. Elle est représentée par l'aire hachurée B comme le montre la figure 1.

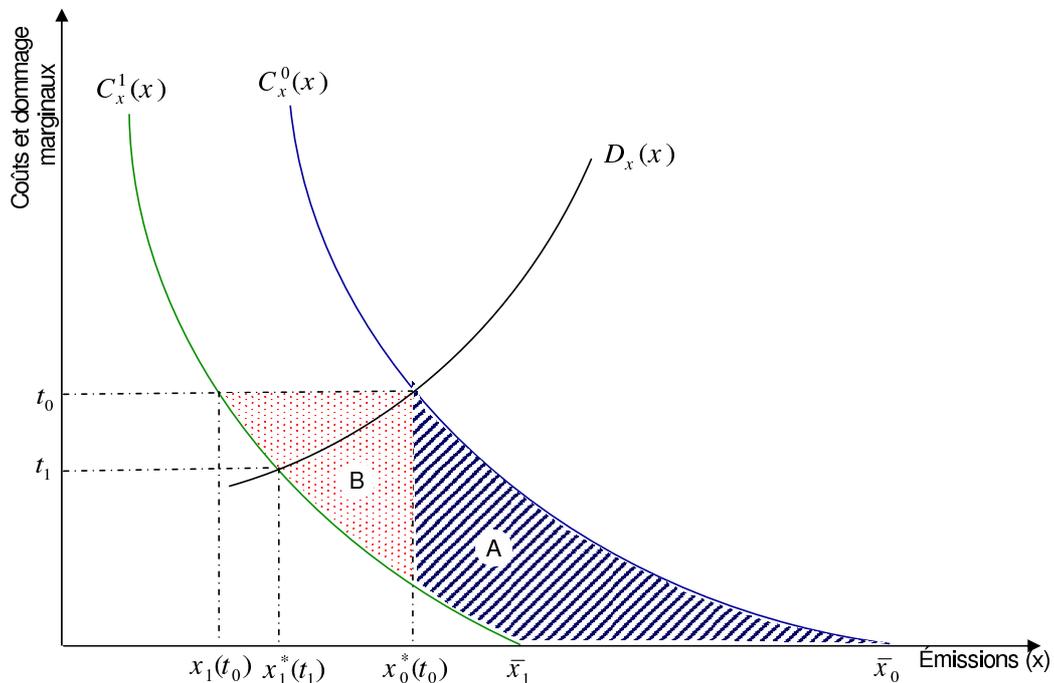


FIGURE 1 – Incitation à l'adoption de la technologie propre lorsque la pollution est régulée par la taxe

Finalement, suite à l'adoption de la technologie propre, la firme réalise une éco-

nomie totale équivalente à l'aire $A + B$, tandis que le coût de l'acquisition de la technologie propre est égal à F par hypothèse. Ainsi, il est rationnel que la firme adopte la technologie propre si $A + B > F$.

Notons que sans l'hypothèse de myopie du régulateur, la taxe à payer devient t_1 et correspond au prix qui égalise le coût marginal de dépollution sur la base de la technologie propre, tandis que le dommage marginal de dépollution reste inchangé. Par conséquent, l'incitation à acquérir la technologie propre devra baisser.

3.2 Régulation de la pollution par des permis

Nous étudions maintenant l'incitation à l'adoption de la technologie propre lorsque la pollution est régulée par des permis. Comme dans le cas de la dépollution par une taxe, et toujours dans l'esprit de Requate and Unold [2003], nous reprenons l'analyse dans cette sous section en retenant l'hypothèse de connaissance parfaite du coût de dépollution de la firme représentative.

En adoptant la technologie propre, un déplacement de la courbe de coût marginal similaire à ce qui a été décrit dans le cas de la taxe peut être constaté. Par conséquent le prix des permis d'émission devrait fournir la même incitation à la baisse de x . Mais ici, la firme est autorisée à échanger (vendre ou acheter) l'équivalent de la quantité dépolluée des émissions sur le marché de permis. Ainsi, l'incitation au changement technologique ne sera pas équivalente à celle générée par la taxe.

Comme nous pouvons le voir sur les figures 2 et 3, le prix des permis p_0 est déterminé sur le marché par égalisation du coût marginal de dépollution de la technologie conventionnelle $C_x^0(x)$ au dommage marginal $D_x(x)$, soit $x_0(p_0)$. En réponse à ce prix, les firmes demandent la quantité de permis qui dépend de l'adoption de la technologie et du degré de sa diffusion. Ainsi, nous pouvons distinguer trois cas :

- i) Si aucune firme n'adopte la technologie propre, la demande des permis correspond exactement au niveau de dépollution socialement optimal (tout en supposant que le régulateur est myope) $x_0(p_0)$, ce cas ne fait pas l'objet de ce papier puisque nous supposons un changement technologique.
- ii) Si la technologie propre est partiellement diffusée, c'est-à-dire adoptée uniquement par certaines firmes, la demande en permis est inférieure à l'offre et correspond au niveau d'émission $x_1(p_1)$ vendue par le régulateur au prix p_1 . Cette demande en permis devrait baisser, ainsi que le prix du permis,

au fur et à mesure que les firmes adoptent la technologie jusqu'à la diffusion complète de la technologie. L'étude de la diffusion partielle n'est compatible avec la firme représentative que pour une technologie propre qui ne fonctionne pas à pleine capacité dès l'installation. Ce cas est illustré par la figure 2 où l'économie procurée par le changement technologique est équivalente à l'aire $A_1 + A_2 + B_1 + B_2 + B_3$, pendant que le coût d'acquisition de la technologie propre est toujours égale à F . Il en découle que la demande en permis correspond à $x_1(p_1)$, le reste des émissions est régularisé à l'aide d'une taxe au taux $t_0 = p_0$. Constituant un cas particulier, ce cas est traité à titre de remarque et ne fait pas l'objet de ce papier. Ainsi, nous nous limitons au cas où la diffusion de la technologie propre est complète.

- iii) Lorsque la diffusion de la technologie est complète, c'est-à-dire qu'elle est adoptée par toutes les firmes, la capacité de dépollution des firmes ($x_1^*(p^*)$) excède le niveau de dépollution exigé par le régulateur ($x_0(p_0)$). Cette situation est décrite dans la figure 3 et a pour effet de baisser le prix des permis à p^* . Par conséquent, l'économie nette du coût d'acquisition est égale à $A_1 + B_1 - F < A + B - F$.

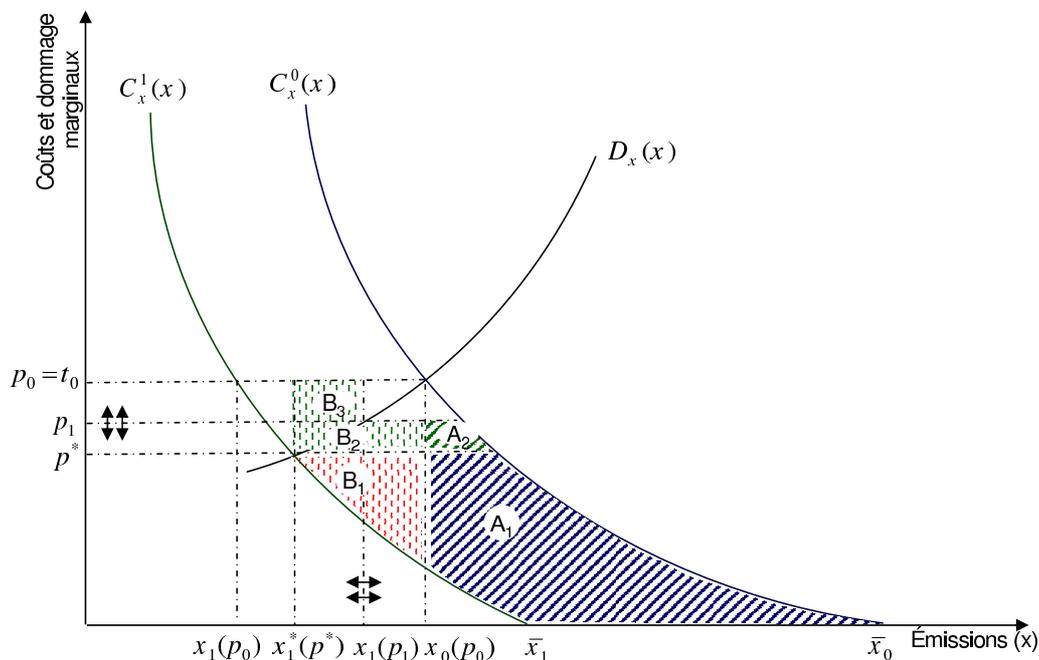


FIGURE 2 – Incitation à adopter la technologie propre lorsque la pollution est régulée par des permis : diffusion partielle de la technologie

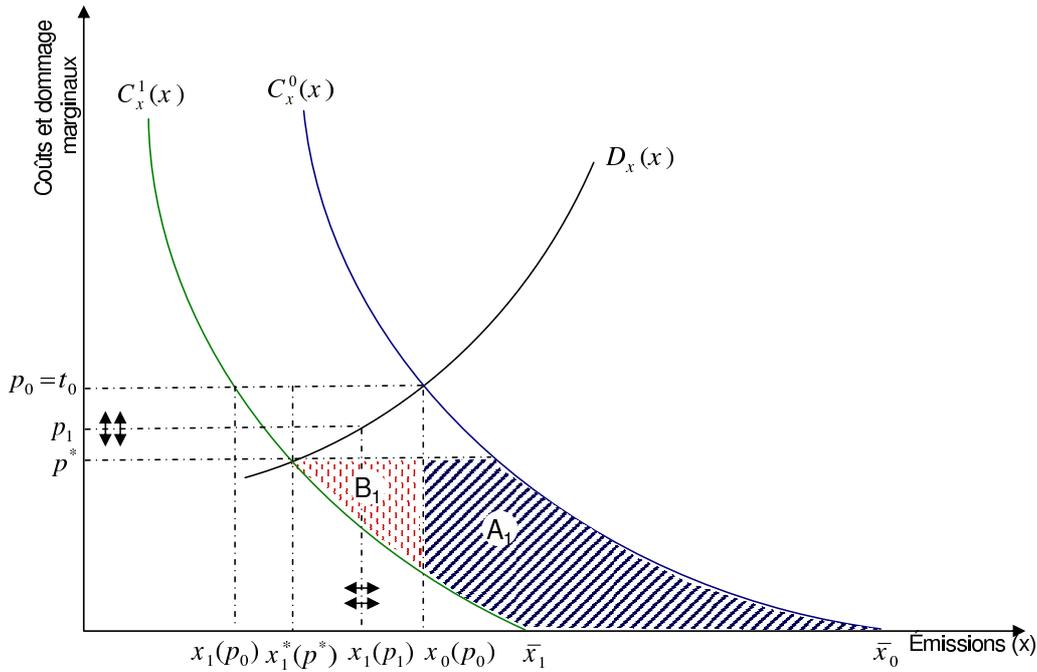


FIGURE 3 – Incitation à adopter la technologie propre lorsque la pollution est régulée par des permis : diffusion complète de la technologie

Dans la proposition 3.1, nous retrouvons le résultat de Requate and Unold [2003], Requate [2005] :

Proposition 3.1 (Résultat de Requate and Unold [2003])

En situation d'information parfaite, les firmes sont plus incitées à adopter la technologie propre lorsque la pollution est régulée par une taxe plutôt que par des permis.

Dans cette section, il est démontré qu'en situation d'information parfaite sur le coût de dépollution, la régulation par taxe est plus incitative au changement technologique que par permis. Ce résultat constitue un argument supplémentaire en faveur de l'utilisation de la taxe par rapport aux permis dans le contrôle de la pollution. Mais, ce résultat tient-il encore si l'information est imparfaite? Dans la section suivante, qui fait l'objet de l'apport essentiel de ce papier, nous étendons le travail de Requate and Unold [2003] au cas d'imperfection de l'information concernant le coût de dépollution tout en envisageant une régulation de la pollution par l'instrument hybride.

4 Surestimation du coût marginal de dépollution

En présence d'incertitude sur le coût de dépollution des firmes, le régulateur peut commettre des erreurs d'estimation du coût agrégé de dépollution. Cette erreur influe négativement sur l'efficacité économique et environnementale des outils mis en place pour réguler la pollution. Pour remédier au problème d'incertitude sur le coût de dépollution, nous optons ici pour un système hybride qui permet d'approcher la solution optimale (section 2). Concrètement, pour éviter l'effondrement du prix des permis suite à une surestimation du coût marginal de dépollution, le régulateur rachète les permis qui ne sont pas utilisés moyennant une subvention s . À l'inverse, les firmes sont autorisées à émettre plus que ce que leur permet leur allocation en permis en contrepartie d'une taxe t . Nous retenons dans cette section que le régulateur est myope, et surestime le coût marginal de la firme utilisant la technologie conventionnelle. Cela correspond au cas où le coût surestimé est supérieur au coût marginal de dépollution de la firme lorsqu'elle utilise la technologie propre.

Considérons \hat{C}_x^0 une estimation qui se révèle plus élevée que le coût réel de la firme C_x^0 . D'abord, le régulateur propose d'échanger les permis à un prix qui égalise le coût marginal de dépollution surestimé et le dommage marginal parfaitement connu du régulateur. Sachant que la firme réagit en fonction de son coût et non pas en fonction de celui estimé par le régulateur, l'adoption de la technologie propre fait apparaître un effet d'augmentation ou de diminution, selon le cas, des économies A et B avancées dans la section 3. Nous étudions dans la section suivante l'incitation au changement technologique lorsque la pollution est régulée par une taxe.

4.1 Taxe

Sur la figure 4, nous pouvons constater qu'en surestimant le coût d'abattement des firmes, le régulateur fixe l'objectif d'émission à un niveau plus faible que prévu c'est-à-dire $x(\hat{t})$. Ce niveau correspond à un niveau de dépollution plus laxiste au regard de la capacité de dépollution de la technologie conventionnelle qui permet de l'atteindre au coût $C_x^0(x(\hat{t}))$. En outre, l'adoption de la technologie propre permet de réduire davantage le coût de dépollution qui est égal à $C_x^1(x(\hat{t}))$. Cependant, l'écart constaté entre le niveau de dépollution objectif et le potentiel à dépolluer de

la technologie propre ne peut pas être monnayé par la firme car la régulation de la pollution par la taxe ne lui permet pas de valoriser toutes les économies engendrées par la technologie propre. Ainsi, seule l'économie en coût de dépollution peut être constatée. Cette dernière résulte de la baisse des émissions indépendamment de la politique de régulation et est représentée par l'aire A_1 sur la figure 4.

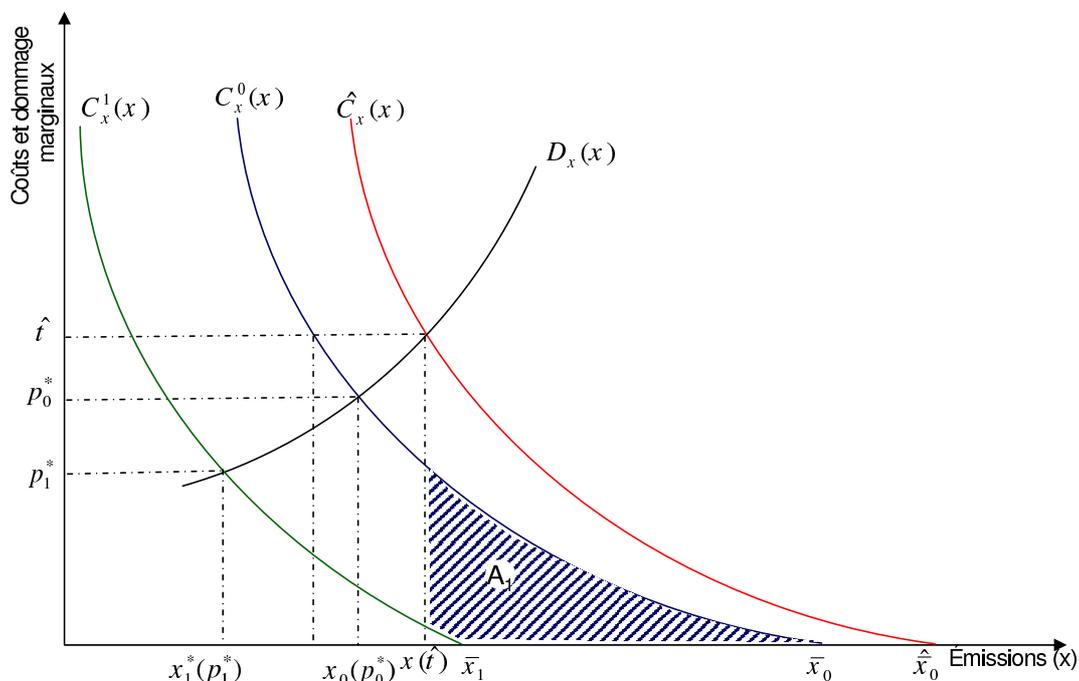


FIGURE 4 – Incitation à l'adoption de la technologie propre lorsque la pollution est régulée par la taxe

L'incitation à l'adoption de la technologie propre se limite dans l'économie en coût de dépollution représentée par l'aire A_1 diminuée du coût d'installation fixe de la technologie propre, F . Cette incitation est inférieure à celle fournie lorsque la pollution est régulée par le même instrument mais en connaissance parfaite du coût de dépollution.

4.2 Permis

La nouveauté par rapport au cas de la régulation par la taxe est que les firmes dont le coût de dépollution est faible, peuvent transformer en permis leur capacité à dépolluer au-delà de la quantité exigée par le régulateur. À l'inverse, les firmes dont le coût de dépollution est élevé doivent acheter des permis en contrepartie des émissions excédant le niveau d'émission fixé. Les permis s'échangent sur un marché où le régulateur offre l'équivalent de l'objectif de dépollution en permis. Sur la figure 5, nous pouvons lire le niveau de pollution $x(\hat{p})$ qui égalise le coût

marginal de dépollution estimé et le dommage marginal de dépollution. En cherchant à implémenter ce niveau de pollution, le régulateur émet l'équivalent de la quantité d'émission à dépolluer en permis. Or, le niveau d'émission optimal atteint par la technologie conventionnelle est $x_0(p_0^*)$. Ainsi, l'objectif fixé par le régulateur peut être atteint à un coût inférieur au prix prévu par celui-ci, soit \hat{p} , en utilisant la technologie conventionnelle. Ce coût diminue à mesure que les firmes adoptent la technologie propre. L'objectif d'émission peut être atteint à l'équilibre uniquement au prix $p_1(x(\hat{p}))$.

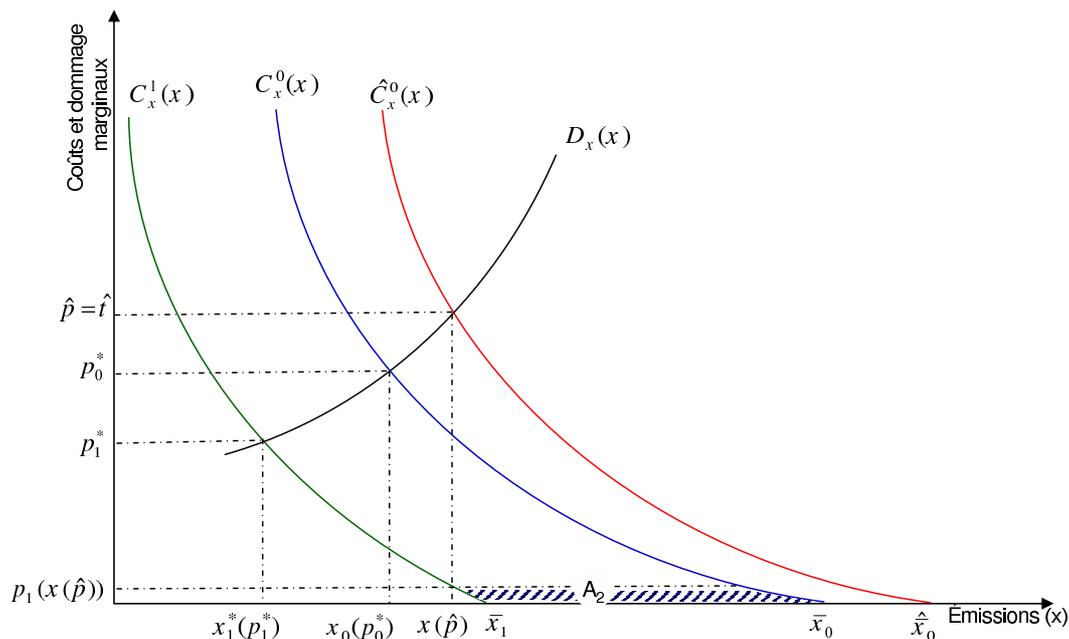


FIGURE 5 – Incitation à l'adoption de la technologie

propre lorsque la pollution est régulée par des permis

En adoptant la technologie propre, la firme permet de réaliser une économie correspondant à la partie hachurée $A_2 < A_1$. Par conséquent, l'incitation au changement technologique est égale à $A_2 - F$. Nous constatons que l'incitation procurée ici est plus faible que si le coût de dépollution est parfaitement connu (figure 3).

4.3 Combinaison permis-taxe

Nous savons que la régulation par taxe ou par permis, seuls, ne permet pas d'atteindre le niveau de dépollution socialement efficace. Une combinaison des deux instruments permet de l'approcher. Ainsi, dans cette sous-section, le régulateur prévoit de verser une subvention (ou d'imposer une taxe négative) pour les firmes qui émettent moins que le niveau d'émission à atteindre, soit $x(\hat{p})$. Nous suivons Roberts and Spence [1976] pour fixer cette subvention de telle sorte qu'à l'équilibre

Proposition 4.1

- i) *La régulation de la pollution par un système de taxe ou de permis se révèle plus incitative au changement technologique si le coût est parfaitement connu que s'il est surestimé.*
- ii) *Que le coût soit parfaitement connu ou surestimé par le régulateur, l'incitation est plus forte lorsque la pollution est régulée par une taxe que si elle est régulée par des permis.*
- iii) *Si le coût de dépollution est surestimé, les firmes sont prêtes à dépenser plus pour acquérir la technologie propre lorsque la pollution est régulée par une combinaison permis-subsidation que lorsqu'elle est régulée par une taxe. La régulation de la pollution par des permis entraîne l'incitation au changement technologique la plus faible relativement aux deux autres instruments.*

5 Sous estimation du coût marginal de dépollution : cas d'une innovation radicale

Nous étudions dans cette section le cas où le coût de dépollution $C_x^0(x)$ est sous estimé par le régulateur, particulièrement lorsque la baisse du coût, provoquée par l'adoption de la nouvelle technologie, est suffisante pour annuler l'erreur de sous estimation du coût commise par le régulateur. Cela pourrait être le cas, par exemple, d'une invention radicale permettant de réduire intensément les émissions tandis que la politique de régulation de la pollution s'est basée sur une dépollution par une technologie conventionnelle peu efficace.

5.1 Taxe

En supposant maintenant que le régulateur sous-estime le coût de dépollution des firmes, celui-ci fixe la taxe \check{t} telle que le coût marginal de dépollution estimé $\check{C}_x(x)$ égale le dommage marginal $D_x(x)$ et prévoit l'implémentation du niveau d'émission à atteindre $x(\check{t})$ (figure 7). Toutefois, l'émission de ce niveau en utilisant la technologie propre ne coûte (à la marge) que $p_1(x(\check{t}))$.

La régulation par la taxe a la particularité de dépolluer au prix fixé par erreur au $x(\check{t})$ et non au prix du marché $p_1(x(\check{t}))$. Ainsi, l'économie entraînée suite à l'adoption

de la technologie propre est équivalente à la réunion des aires A_1 et A_2 diminuée du coût d'installation fixe de la technologie propre, F .

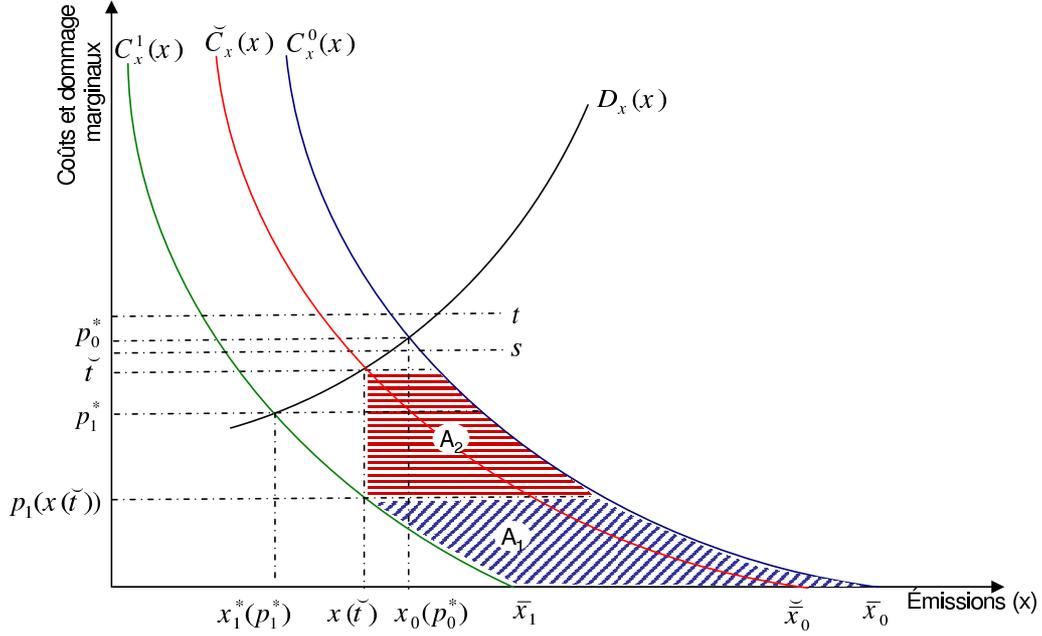


FIGURE 7 – Incitation à adopter la technologie propre

lorsque la pollution est régulée par la taxe

Proposition 5.1

La régulation de la pollution par une taxe est plus incitative au changement technologique si l'information est parfaite que si l'information est imparfaite.

5.2 Permis

Ici, la régulation de la pollution se fait à l'aide des permis. Ainsi, au lieu d'imposer une taxe, le régulateur fixe le prix d'émission \check{p} en s'attendant au niveau d'émission $x(\check{p})$. Or, d'après la figure 8, ce niveau peut être atteint seulement au prix $p_1(x(\check{p}))$ si la technologie propre a été adoptée.

Contrairement à la régulation par taxe, la régulation par des permis a l'avantage de permettre aux firmes dont le coût de dépollution est faible de transformer l'équivalent des émissions réduites en permis échangeables sur le marché au même titre que les permis proposés par le régulateur. Ainsi, à l'équilibre, l'adoption de la technologie propre entraîne une baisse du prix des permis à $p_1(x(\check{t}))$ et fait apparaître une économie représentée par l'aire A_1 .

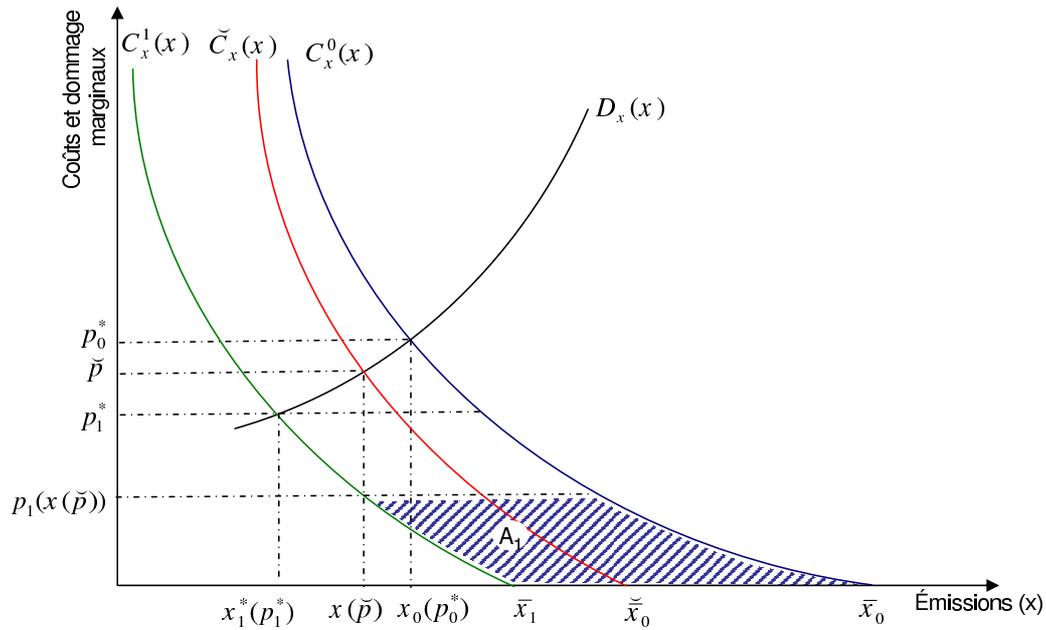


FIGURE 8 – Incitation à adopter la technologie propre

lorsque la pollution est régulée par des permis

Finalement, l'incitation à l'adoption de technologie propre est équivalente à $A_1 - F$.

5.3 Combinaison permis-taxe

Concrètement, ici le régulateur propose une subvention pour pallier à une baisse du prix du permis lorsqu'il s'avère qu'il a sous estimé le coût de dépollution. Comme montré sur la figure 9, l'objectif est le même que dans les deux dernières sous-sections, soit atteindre le niveau d'émission $x(\check{p})$, et les permis nécessaires pour atteindre ce niveau s'échangent au prix $p_1(x(\check{p}))$. Toutefois, ici le régulateur propose une subvention s sur toutes les unités de pollution dépolluées au-delà de l'objectif d'émission.

Ainsi, on distingue trois types d'économie :

- (i) Une économie sur le coût de dépollution représentée sur la figure par A_1 ,
- (ii) Une économie sur le prix d'émission réalisée sur le niveau d'émission à atteindre (A_2),
- (iii) Une économie sur le prix d'émission réalisée sur les unités d'émission dépolluées au-delà de l'objectif exigé par le régulateur (A_3).

Finalement, l'incitation à adopter la technologie propre est équivalente à l'ensemble des aires auquel on déduit le coût d'installation de la technologie propre, soit

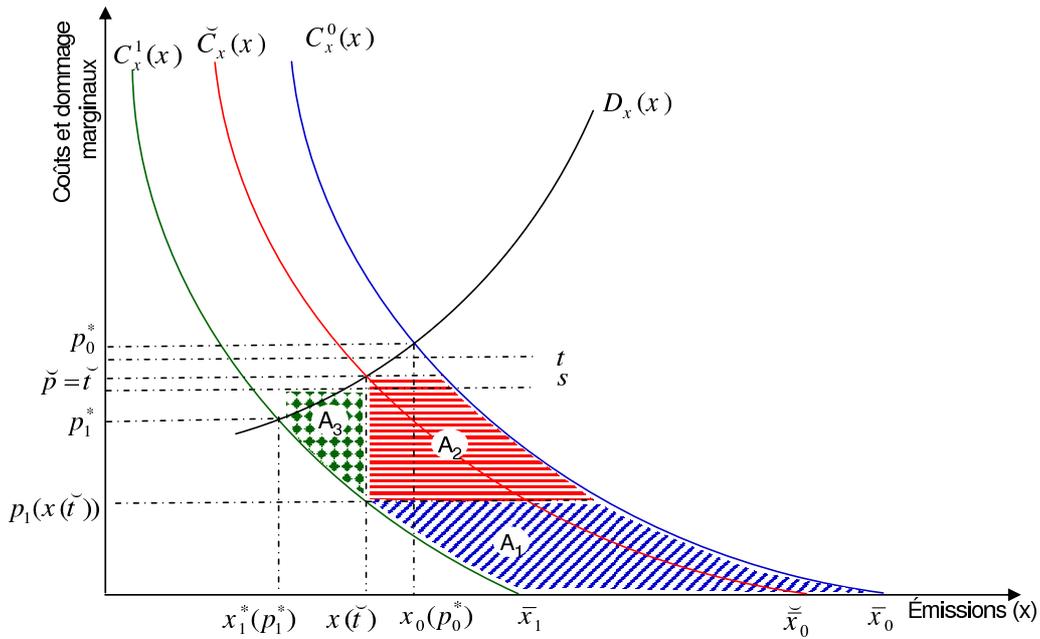


FIGURE 9 – Incitation à adopter la technologie propre lorsque la pollution est régulée par une combinaison permis-subsvention

$$A_1 + A_2 + A_3 - F.$$

Une comparaison des trois figures 7, 8 et 9 montre que l'incitation au changement technologique est plus forte si la pollution est régulée par une combinaison que si elle est régulée par une taxe. Les permis fournissent l'incitation la plus faible à l'adoption de la technologie propre.

Ce résultat est identique à celui observé lorsque le coût est surestimé. Cela s'explique par le fait que même si le régulateur sous-estime le coût de dépollution de la technologie conventionnelle, l'erreur d'estimation reste inférieure à l'effet positif de l'adoption de la technologie propre sur le coût de dépollution. Nous pouvons ainsi généraliser le résultat des deux sections par la proposition suivante :

Proposition 5.2

- i) *La régulation de la pollution par un système de taxe ou de permis est plus incitative au changement technologique si le coût est parfaitement connu que s'il est surestimé.*
- ii) *Si la baisse du coût de dépollution marginal entraînée par l'adoption de la technologie propre l'emporte sur l'erreur d'estimation du coût marginal de dépollution, alors les firmes sont prêtes à dépenser plus pour acquérir la technologie*

propre lorsque la pollution est régulée par un système hybride que lorsqu'elle est régulée par une subvention. La régulation de la pollution par des permis engendre l'incitation au changement technologique la plus faible relativement aux autres instruments.

En conclusion, nous proposons un tableau récapitulant notre contribution proprement dit dans ce papier :

	L'effet du changement technologique l'emporte sur l'erreur d'estimation
Système de taxe	+
Système de permis	++
Système hybride	+++

FIGURE 10 – Incitation au changement technologique lorsque l'effet du changement technologique l'emporte sur l'erreur d'estimation

Par souci d'exhaustivité, nous étudions dans l'annexe II un cas peu réaliste où nous supposons que le coût de dépollution, en utilisant la technologie propre, reste supérieur au coût de dépollution malgré qu'il est sous estimé. Une taxe est envisagée pour pouvoir émettre des quantités supplémentaires de pollution.

6 Conclusion

La lutte contre la dépollution ne doit pas se limiter à réduire la pollution par la réduction de la production avec toutes les conséquences négatives que cela peut avoir sur la compétitivité des firmes, particulièrement dans un contexte où la question environnementale ne constitue pas une priorité pour beaucoup de pays. Ainsi, nous avons étudié dans ce papier l'incitation à adopter des technologies propres fournie par différents instruments de régulation de pollution.

En situation d'information parfaite, plusieurs travaux (Milliman and Prince [1989], Jung et al. [1996], Laffont and Tirole [1996]) montrent que les instruments de régu-

lation de la pollution incitent différemment à changer de technologie. En particulier, les firmes sont plus incitées à changer leur technologie si la pollution est régulée par la taxe plutôt que par les permis [Requate and Unold, 2003, Requate, 2005]. Nous avons montré à l'aide d'une analyse graphique que ces résultats sont aussi vérifiés en situation d'incertitude sur les coûts des firmes. Toutefois, la régulation de pollution entraîne une incitation au changement technologique plus faible qu'en situation d'information parfaite.

En pratique, le régulateur n'est pas en mesure de connaître parfaitement les coûts. Nous avons, ainsi, prolongé cette démarche pour traiter l'incitation au changement technologique lorsque la pollution est régulée par un instrument hybride, dès lors que celui-ci semble plus efficace en situation d'incertitude. Dans ces conditions, nous concluons que le degré d'incitation à changer la technologie dépend à la fois de la qualité de l'estimation du coût de dépollution par le régulateur et de l'importance de la technologie. Ainsi, lorsque le régulateur prévoit un progrès fondamental des technologies de dépollution, le risque que le régulateur fasse une erreur d'estimation du coût de dépollution est vite contrebalancé par l'effet du changement technologique. En fait, en raison de sa capacité à valoriser les émissions réduites, le système hybride permis-subsidation incite davantage au changement technologique que la taxe et permis appliqués seuls. En revanche, si l'erreur de sous estimation du coût de dépollution est supérieure de façon que l'effet du progrès technologique sur le coût ne suffit pas pour gommer l'erreur, alors le système de permis incite à réduire le coût de dépollution plus que les autres instruments. La régulation par un système des permis procure la plus forte incitation au changement technologique, tandis que la taxe fournit l'incitation la plus faible.

Dans ce papier, nous avons supposé que le régulateur est myope. Un modèle plus fin pourrait s'intéresser à l'incitation au changement technologique entraînée par les instruments de la politique environnementale lorsque le régulateur peut anticiper et réagir aux technologies adoptées par les firmes.

Annexe I

Pour illustrer notre propos, supposons que le régulateur cherche à atteindre une quantité de pollution totale x . De plus, supposons que le régulateur distribue l'effort de dépollution entre deux firmes de telle façon qu'une firme ait un coût marginal de dépollution plus élevé que l'autre. Cette situation n'est pas efficace car le coût agrégé de dépollution peut être réduit davantage sans réduire la quantité de dépollution totale. En fait, ce coût peut être réduit uniquement en diminuant d'une unité la quantité dépolluée par la firme qui a un coût de dépollution élevé tout en augmentant d'une unité la quantité dépolluée par la firme qui a le coût de dépollution bas. Ainsi, en étendant ce raisonnement pour toutes les firmes, cette action peut être répétée autant de fois que nécessaire jusqu'à l'égalisation des coûts marginaux de dépollution des deux firmes, on a alors :

$$C_{x_i}^i(x_i) = C_{x_j}^j(x_j) \quad \forall i, j \quad (4)$$

Preuve : La minimisation du coût agrégé est équivalente à l'équimarginalité :

Pour atteindre un niveau de pollution $x > 0$ quelconque, le programme de minimisation du coût agrégé s'écrit :

$$\min_{x_1, x_2, \dots, x_n} \sum_{i=1}^n C^i(x_i) \quad \text{s.c.} \quad x = \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

Le lagrangien de ce programme s'écrit :

$$\min \sum_{i=1}^n C^i(x_i) - \lambda \left(x - \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (6)$$

Les conditions de premier ordre de ce programme correspondent à l'égalisation des coûts marginaux de dépollution :

$$-C_{x_1}^1(x_1) = \dots = -C_{x_i}^i(x_i) = \dots = -C_{x_n}^n(x_n) = \lambda \quad \blacklozenge$$

Annexe II

A Sous estimation du coût marginal de dépollution : cas d'une innovation incrémentale

Dans cette section, le régulateur sous-estime le coût de dépollution, mais cette erreur d'estimation n'est pas entièrement compensée par la baisse du coût de dépollution marginale suite à l'adoption de la technologie propre : l'exemple d'une innovation incrémentale. Dans ce cas, les firmes sont autorisées à payer une taxe t sur les unités d'émission qui ne peuvent être couvertes par l'achat de permis.

A.1 Taxe

Sur la figure (11), nous pouvons constater que le niveau d'émission optimal atteint avec la technologie propre correspond à $x_1^*(p_1^*)$. Or, le régulateur anticipe le coût $\check{C}_x(x)$, qui est une sous estimation du coût réel $C_x^0(x)$, puis propose la taxe \check{t} et s'attend au niveau de pollution $x(\check{t})$.

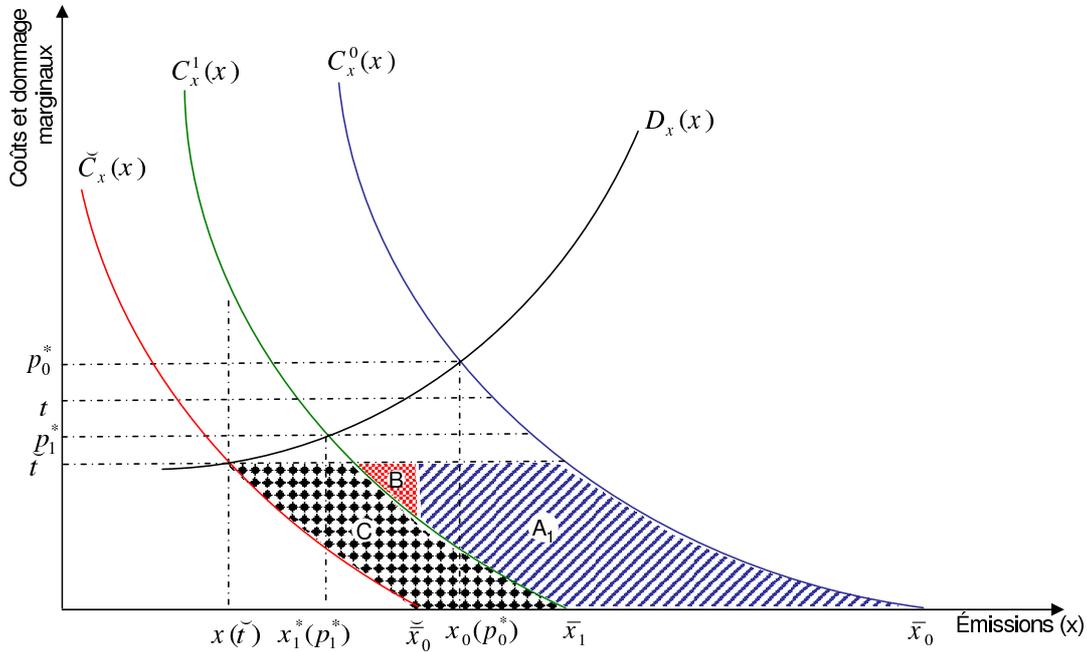


FIGURE 11 — Incitation à l'adoption de la technologie propre lorsque la pollution est régulée par la taxe

En adoptant la technologie propre, les firmes réalisent une économie équivalente

aux aires A_1 et B . À cette économie s'ajoute une autre réalisée indépendamment de la technologie utilisée et représentée par l'aire C . Celle-ci ne peut pas être attribuée au changement technologique et est donc ignorée dans le contexte qui nous préoccupe. Ainsi, l'incitation à l'adoption de la technologie propre est équivalente à $A_1 + B - F$.

A.2 Permis

Le niveau d'émission optimal atteint avec la technologie propre correspond à $x_1^*(p_1^*)$ (figure 11). Or, le régulateur anticipe le coût $\check{C}_x(x)$ qui est une sous estimation du coût réel $C_x^0(x)$.

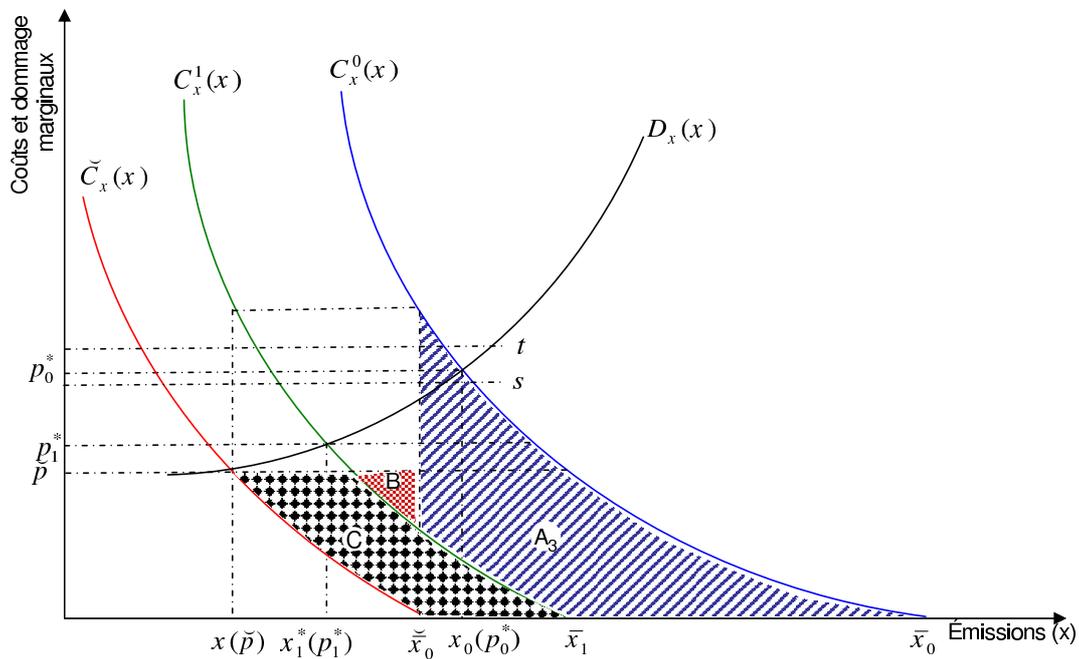


FIGURE 12 – Incitation à l'adoption de nouvelle technologie lorsque la pollution est régulée par les permis

Soit \check{p} le taux de la taxe qui permet d'atteindre le niveau de pollution $x(\check{p})$ correspondant au coût estimé $\check{C}_x(x)$ par le régulateur (figure 12). Cette erreur d'estimation a l'effet de réduire l'offre en permis à la quantité nécessaire pour couvrir $(\check{x}_0 - x(\check{p}))$ alors que les firmes ont besoin d'une quantité de permis équivalente à $(\bar{x}_1 - x(\check{p}))$. Ainsi, celles-ci augmentent leur capacité de dépollution après avoir acheté tous les permis.

En adoptant la technologie propre, les firmes réalisent une économie équivalente aux aires B et A_3 . Ainsi, l'incitation à l'adoption de la technologie propre est égale

à $B + A_3 - F$.

Proposition A.1

Lorsque le coût marginal d'abattement de dépollution estimé est inférieur au coût marginal de dépollution de la technologie propre, l'incitation au changement technologique est plus forte si la pollution est régulée par des permis que par une taxe.

A.3 Combinaison permis-taxe

Dans cette sous-section, le régulateur sous-estime beaucoup le coût de la firme à tel point que même avec l'adoption de la technologie, le coût marginal réel est toujours au dessus du coût estimé de dépollution. Ainsi, l'offre du régulateur en permis ne suffit que pour couvrir la quantité des émissions ($\bar{x}_0 - x(\bar{p})$), le reste d'émission sera couvert par une taxe t payée par la firme sur chaque unité de pollution émise, comme il est montré sur la figure 13.

En adoptant la technologie propre, la firme réalise une économie représentée par les aires A_2 et B . Par conséquent, l'incitation à l'adoption de la technologie propre est équivalente à $A_2 + B - F$

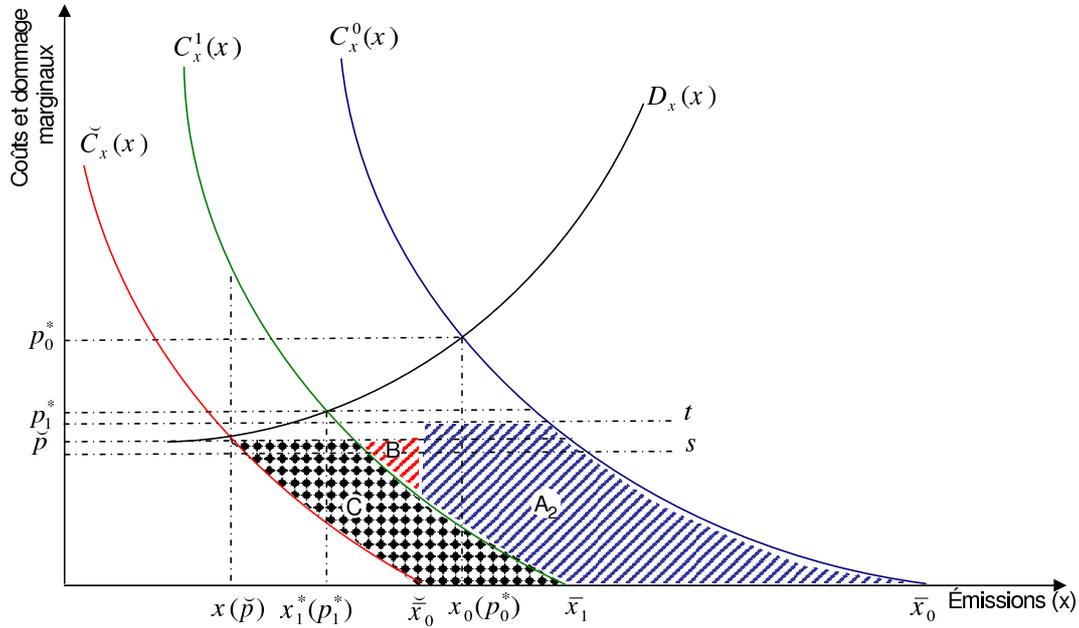


FIGURE 13 — Incitation à l'adoption de la technologie propre lorsque la pollution est régulée par une combinaison permis-subsvention

La comparaison de l'incitation à l'adoption de la technologie propre lorsque la pollution est régulée par la taxe, les permis ou une combinaison taxe-permis conclut

que le moyen qui incite plus à la dépollution par la technologie de la firme est le plus incitatif à l'adoption de la technologie propre. Ce résultat nous amène à énoncer la proposition suivante :

Proposition A.2

Contrairement au cas étudié dans la section 5, si l'erreur d'estimation du coût marginal de dépollution est supérieure à la baisse du coût de dépollution marginal entraînée par l'adoption de la technologie propre, alors les firmes sont prêtes à dépenser plus pour acquérir la technologie propre lorsque la pollution est régulée par des permis que lorsqu'elle est régulée par une combinaison permis-taxe. La régulation de la pollution par une taxe fournit l'incitation au changement technologique la plus faible relativement aux autres instruments.

Le tableau suivant résume ce cas :

	L'erreur d'estimation l'emporte sur l'effet du changement technologique
Système de taxe	+
Système de permis	+++
Système hybride	++

FIGURE 14 – Incitation au changement technologique lorsque l'erreur d'estimation l'emporte sur l'effet du changement technologique

Références

- M. Afif and S. Spaeter. Contrôle des émissions polluantes et combinaison optimale transferts-permis. *Working Paper BETA n ° 2009-20, Université de Strasbourg*, 2009.
- W.J. Baumol and W.E. Oates. *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press, 2nd edition edition, 1988.
- B. Courneade and S. Gastaldo. Combinaison des instruments prix et quantités dans le cas de l'effet de serre. *Économie et Prévision*, 5(156) :51–62, 2002.
- M. Cropper and W.E. Oates. Environmental economics : A survey. *Journal of Economic Literature*, 30 :675–740, 1992.
- P. B. Downing and L. J. White. Innovation in pollution control. *Journal of Environmental Economics and Management*, 13 :18–29, 1986.
- C. Fischer, I.W.H. Parry, and W.A. Pizer. Instrument choice for environmental protection when technological innovation is endogenous. *Journal of Environmental Economics and Management*, (55) :523–545, 2003.
- R. A. Frosch and N. E. Gallopoulos. Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261(3) :144–152, 1989.
- Ch. Jung, K. Krutilla, and R. Boyd. Pollution abatement technology at the industry level : an evaluation of policy alternatives. *Journal of Environmental Economics and Management*, (30) :95–111, 1996.
- M.I. Kamien, N.L. Schwartz, and F.T. Dolbear. Asymmetry between bribes and charges. *Water Resources Research*, 2(1) :147–157, 1966.
- H. Kempf and C. Henocq. Agrégation quasi parfaite par convergence. *Revue Économique*, 35(5) :911–928, 1984.
- N. O. Keohane. Policy instruments and the diffusion of pollution abatement technology. *Discussion paper*, 1999.
- A Kneese and C. Schulze. *Pollution, Prices and Public Policy*. Brookings Institution, Washington, D.C., 1975.
- C.D. Kolstad. *Environmental Economics*. Oxford University Press, Oxford, 2000.

- J. J. Laffont and J. Tirole. Pollution permits and compliance strategies. *Journal of Public Economics*, 62(1-2) :85–125, 1996.
- S.R. Milliman and R. Prince. Firm incentives to promote technological change in pollution control. *Journal of Environmental Economics and Management*, 17 : 247–265, 1989.
- W. D. Montgomery. Markets in licences and efficient pollution control programs. *Journal Of Economic Theory*, 5(3) :395–418, 1972.
- A. M. Polinsky. Notes on the symmetry of taxes and subsidies in pollution control. *Canadian Journal of Economics*, 12(1) :75–83, 1979.
- T. Requate. Dynamic incentives by environmental policy instruments—a survey. *Ecological Economics*, 54 :175–195, 2005.
- T. Requate and W. Unold. Environmental policy incentives to adopt advanced abatement technology : Will the true ranking please stand up. *European Economic Review*, 47 :125–146, 2003.
- M. Roberts and M. Spence. Effluent charges and licenses under uncertainty. *Journal of Public Economics*, 5 :193–208, 1976.
- D. Spulber. Effluent regulation and long run optimality. *Journal of Environmental Economics And Management*, 12 :103–116, 1985.
- H. Theil. Principles of econometrics. 1971.
- T. H. Tietenberg. *Resources for the Future*.
- T. H. Tietenberg. Tradeable permits for pollution control when emission location matters : What have we learned? *Environmental and Resource Economics*, 5 : 95–113, 1995.

Documents de travail du BETA

- 2012-01 *Unanticipated vs. Anticipated Tax Reforms in a Two-Sector Open Economy*
Olivier CARDI, Romain RESTOUT, janvier 2012.
- 2012-02 *University Technology Transfer: How (in-)efficient are French universities?*
Claudia CURTI, Cinzia DARAIO, Patrick LLERENA, janvier 2012.
- 2012-03 *L'autorité de la concurrence doit-elle, dans le cadre de sa fonction consultative disposer de toutes les libertés ?*
Marc DESCHAMPS, juin 2012.
- 2012-04 *Currency devaluation with dual labor market : Which perspectives for the Euro Zone?*
Amélie BARBIER-GAUCHARD, Francesco DE PALMA, Giuseppe DIANA, juin 2012.
- 2012-05 *The Routinization of Creativity: Lessons from the Case of a video-game Creative Powerhouse.*
Patrick COHENDET, Patrick LLERENA, Laurent SIMON, juin 2012.
- 2012-06 *Status-seeking and economic growth: the Barro model revisited.*
Thi Kim Cuong PHAM, juin 2012.
- 2012-07 *Considerations on partially identified regression models.*
David CERQUERA, François LAISNEY, Hannes ULLRICH, juillet 2012.
- 2012-08 *Static and Dynamic Effects of Central Bank Transparency*
Meixing DAI, juillet 2012.
- 2012-09 *La taxe Tobin : une synthèse des travaux basés sur la théorie des jeux et l'économétrie*
Francis BISMANS, Olivier DAMETTE, juillet 2012.
- 2012-10 *Do husbands and wives pool their incomes? Experimental evidence.*
Miriam BEBLO, Denis BENINGER, juillet 2012.
- 2012-11 *Incitation à l'adoption de technologies propres.*
Mourad AFIF, juillet 2012.

La présente liste ne comprend que les Documents de Travail publiés à partir du 1^{er} janvier 2012. La liste complète peut être donnée sur demande.

This list contains the Working Papers written after January 2012, 1st. The complet list is available upon request.