



CEPII

**CENTRE
D'ÉTUDES PROSPECTIVES
ET D'INFORMATIONS
INTERNATIONALES**

N° 2009 – 05
Mars

DOCUMENT DE TRAVAIL

Équivalence entre taxation et permis d'émission échangeables

Pierre Villa

TABLE DES MATIÈRES

Résumé non technique	3
Résumé	5
Non technical Summary	6
Abstract	8
Introduction	9
1. Une équivalence pour une entreprise.....	15
2. L'existence du marché des droits échangeables	19
3. L'équivalence au niveau macroéconomique.....	23
4. Coordination européenne	31
4.1. Le modèle générique simplifié	31
4.2. Équilibre non coopératif par la fiscalité	33
4.3. La coordination par la création des droits d'émission.....	34
4.4. La coopération par la fiscalité européenne.....	35
5. L'équivalence ternaire entre les taxes sur la pollution, le capital et l'énergie.....	36
Conclusion.....	40
Annexe I : Le marché européen des droits échangeables.....	42
Annexe II : Pollution locale : le principe pollueur/payeur	46
Annexe III : L'indétermination du marché des droits fondé sur une distribution gratuite.....	49
Annexe IV : Le droit d'émission comme valeur d'option du changement de technique.....	58
Annexe V : La non-équivalence entre les taxations de l'énergie et de la pollution.....	61
Bibliographie.....	70
Liste des documents de travail du CEPII	72

ÉQUIVALENCE ENTRE TAXATION ET PERMIS D'ÉMISSION ÉCHANGEABLES

RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

L'article aborde sous des angles multiples l'équivalence entre taxation et droits d'émission polluante. La pollution est traitée comme une production jointe différente de l'environnement considéré comme un facteur à l'instar de la chaleur rejetée dans la source froide dans les bilans énergétiques. La question d'une politique économique concernant les émissions de gaz à effet de serre par exemple est posée parce que, l'environnement étant un bien public, l'optimum social ne correspond pas à l'équilibre de marché. Selon Coase point n'est besoin pourtant de faire appel à l'État puisque des arrangements privés suffiraient à corriger les biais. Nous montrons qu'en fait ce n'est pas le cas, non seulement pour les raisons invoquées habituellement comme les coûts de transaction ou les équilibres multiples qui nécessitent d'ajouter un critère supplémentaire pour définir la direction des transferts et choisir un équilibre, mais aussi parce qu'un marché des droits ne peut apparaître spontanément. L'équivalence entre taxation et droits d'émission n'est possible que parce que la taxation existe au préalable. En d'autres termes la taxation est première, le marché second ; la taxation est le fait générateur, le marché des droits une modalité de mise en œuvre.

Pour une entreprise, la taxation fixe les coûts, les droits fixent les quantités. L'équivalence est complète lorsqu'il n'existe pas de droits gratuits ou que ceux-ci sont partiels et proportionnels aux émissions polluantes. Les droits sont alors des actifs financiers dont les dividendes sont proportionnels à l'écart entre la productivité marginale des services de l'environnement et le coût de la contrainte.

Au niveau macroéconomique l'équivalence entre les droits d'émission et la taxation dépend du niveau du taux de profit et se ramène à la question de la détermination du prix des droits. Celle-ci dépend de l'organisation du marché. Nous imaginons deux systèmes : soit, comme en Europe, les droits sont émis par l'État au profit des entreprises uniquement, soit, comme pour Coase, les entreprises émettent des droits achetés par les ménages et l'État. Dans les deux cas le prix des droits n'a une détermination économique que sous certaines conditions. Ils doivent pouvoir être pensés à la fois comme des valeurs d'option de changement coûteux de technique, en raison de l'irréversibilité, et comme une alternative à une pénalité payée lorsque les entreprises dépassent la norme d'émission polluante fixée par l'État (système européen), ou à une fiscalité payée sur les émissions polluantes (système coasien). Les deux systèmes sont alors équivalents. L'irréversibilité et le coût associé du changement de technique comparé à la fiscalité ou la pénalité détermine le prix des droits. La pénalité liée à la norme ou la fiscalité sur la pollution sont nécessaires. Cela nous amène à proposer un ordre temporel de la politique économique : la fiscalité initiale doit être suffisamment importante pour provoquer le fait générateur, son remplacement progressif par le marché est partiellement possible dans la mesure où on désire réduire les coûts, la valeur des droits étant égale à la pénalité multipliée par la probabilité de dépassement de la norme globale.

Toutefois nous montrons que, dans le système européen, seules les émissions par adjudications discriminantes sans droits gratuits ne sont pas manipulables. Avec les autres formes de distribution, le tâtonnement walrasien et la manipulation rendent possible une évolution sans détermination économique réelle, qui peut être cyclique, ergodique, erratique. Cela provient du fait qu'il existe de nombreux équilibres pour une même norme globale et du fait que le marché des droits n'est qu'un pseudo-marché, comme celui de la monnaie, où l'offre n'est pas indépendante de la demande, mais s'ajuste à la demande. La manipulation peut intervenir ex ante lors de l'attribution des droits gratuits ou ex post grâce aux interventions sur le marché au cours de la période de conformité.

L'antériorité de la taxation et des subventions associées est utilisée comme fait générateur logique et historique du choix entre les équilibres où on produit uniquement avec des entreprises polluantes sans coûts fixes et les équilibres où on produit aussi avec des entreprises moins polluantes avec coûts fixes. En Europe où les pays ont fait des choix différents parmi ces équilibres correspondant à différentes spécialisations, la taxation au niveau européen ou le marché des droits européens sont équivalents mais différents du système de taxation national. Le coût des subventions qui servent à payer les coûts fixes n'est plus supporté par chaque État mais réparti entre eux selon les émissions. Ce coût correspond au maintien des productions à coûts fixes non polluantes. Vis à vis du reste du monde qui n'adopte pas de fiscalité environnementale ni de système de droits d'émission, et risque ainsi de jouer le rôle de passager clandestin, le coût peut être réduit voir annulé par une dévaluation.

Une règle d'affectation est proposée : la taxation sert à gérer les émissions polluantes moyennes, le marché des droits est dévolu aux réductions marginales d'émission.

Le rôle crucial joué par le coût du changement de technique dans les développements précédents et la question de la compétitivité de l'Europe importatrice de ressources dites naturelles amène tout naturellement à poser la question du rôle comparé des taxes sur la pollution et l'énergie d'une part et des subventions aux innovations dépolluantes d'autre part. Cette question des doubles dividendes et de la complémentarité entre consommation énergétique et pollution est abordée dans un modèle global de croissance avec progrès technique industriel exogène mais où sont distingués les secteurs d'innovations techniques antipolluantes et de production d'énergie primaire qui sont rémunérés par des rentes. On montre alors que les subventions aux innovations doivent être supérieures à la fiscalité sur la pollution afin de financer aussi les revenus des autres facteurs investis dans le secteur de recherche et développement. Or ces subventions sont nécessaires pour que les facteurs se déplacent de l'industrie vers l'innovation car ce mouvement n'est pas spontané du fait que le prix que les entreprises sont prêtes à payer pour la dépollution est nul s'il n'y a pas de taxation. Comme par ailleurs la taxation du capital et de l'énergie provoque une substitution entre ces facteurs, la neutralité de l'imposition est une relation ternaire entre les taxes sur la pollution, le capital et l'énergie.

La limitation des émissions polluantes passe nécessairement par l'imposition d'un coût alors que les avantages sont non marchands. Ce coût ne peut être accepté spontanément puisqu'il est sans contrepartie marchande.

RÉSUMÉ

L'article aborde sous des angles multiples l'équivalence entre taxation et droits d'émission polluante : la première fixe les prix, les seconds les quantités. L'équivalence est plus formelle que substantielle. La fiscalité est le fait générateur. Le marché des droits n'existe pas spontanément et le prix y est instable parce que l'offre n'est pas indépendante de la demande. Il est manipulable aussi bien lors de la distribution des droits gratuits que lors des interventions au cours de la période de conformité. Il ne peut exister qu'accompagné d'une fiscalité sur les émissions. Pour éviter ces inconvénients les droits doivent être distribués par adjudication discriminante sans droits gratuits. La fiscalité ou le prix des droits sont une valeur réelle d'option correspondant au coût du changement de technique réduisant la pollution. Pour que ce coût conduise à une réduction de la pollution, il est nécessaire de financer les activités d'innovation d'un montant supérieur à la fiscalité environnementale afin de déplacer les facteurs de production vers cette activité. Comme la question de l'innovation est du même ordre que pour l'extraction des énergies fossiles, l'équivalence fiscale entre les taxes sur la pollution et l'énergie est médiatisée par les taxes sur le capital qui opèrent les transferts de facteurs vers le secteur de la recherche qui peut être non marchand. La décentralisation par le marché impose que la dépollution ait un coût marchand.

Classement JEL : E61, E62

Mots Clés : équivalence, droits d'émission échangeable, fiscalité de l'environnement

EQUIVALENCE BETWEEN TAXATION AND TRADABLE EMISSION PERMITS**NON TECHNICAL SUMMARY**

The article deals with the equivalence between taxation and the tradable emission permits according to different points of view. Pollution is a linked production separate from environment, which is a factor, as heat is discharged into the cold source according to energy balances. An economic policy concerning the emission of greenhouse gas for instance is raised because, environment being a public good, the social optimum does not coincide with the market equilibrium. According to Coase there is no need for invoking the government because private agreements were sufficient to rectify bias. It is shown that this is not true, not only because of the usual invoked reasons as transaction costs or multiple equilibria that require to add an additional criterion in order to define the direction of rights and to choose the equilibrium, but also because a market of emissions permits is only feasible when taxation exists previously. In other words taxation comes first, market is second ; taxation is the generating fact, the market of permits is a mode of implementation.

At a firm's level, taxation sets prices, rights set quantities. Equivalence is complete when there is no free emission permits or when they only cover partly the pollution quotas and when they are proportional to effective emissions. The emission permits are thus financial assets with dividends proportional to the discrepancy between the marginal productivity of environment and the cost of the constraint.

At the macroeconomic level the equivalence between emission permits and taxation depends on the rate of profits and is a question of determining the price level of permits, which depends on the scheme of the market.

Two systems are imagined here: first, as in Europe, permits are issued by the government and owned by firms only, second, as for Coase, permits are issued by firms and bought by households or the government. In the two cases, the price of permits is economically determined only under conditions. They must be thought as real option values of costly changes of techniques, because of irreversibility, and as an alternative to the penalty paid when firms overstep the quotas fixed by the government in the European system or to the unit taxes levied on polluting emissions in the Coasian scheme. The two systems are thus equivalent. As changing techniques is costly and irreversible, unit taxes or penalties linked to quotas determine the price of permits. The penalty or the unit taxes are necessary. This leads to propose a temporal order in implementing policy : the initial taxation must be sufficient to engage the generating fact, it can then be gradually and partly replaced by permits to a certain extent to reduce costs, the value of permits being equal to the penalty multiplied by the probability that the global emissions exceed the norm.

We show that, in the European scheme, only pay-as-bid auctions without free allowances cannot be manipulated. With other types of allocations, Walrasian tatonnement and manipulation allow for dynamics without real economic determination that can be cyclical, ergodic or erratic. It comes from the fact that equilibria are numerous with the same global quotas and because the market of permits is a pseudo market where supply is not independent of demand as the pseudo market of money is. Manipulation arises either from the ex ante allocation of free allowances or from the ex post interventions during the compliance period.

The anteriority of taxation and subvention explains why some countries have chosen equilibria with polluting firms without fixed costs and other equilibria with also firms producing with fixed costs but less polluting simultaneously.

In Europe, where these two types of country coexist, a common taxation or a common market of permits are equivalent but differ from the national tax systems from the Paretian point of view. In that case the cost of subsidies, which are used to finance fixed costs, is not borne by each country but shared among them according to emissions. This cost corresponds to the cost of maintaining no polluting productions with fixed costs and positive common externalities. Free riding by the rest of the world can be avoided by devaluation.

There is an assignment rule. Taxation must be assigned to average emission abatements and permits to marginal ones.

The cost of changing techniques, expounded in the preceding exposition, and the cost of producing raw materials raise the question of the comparative taxes on pollution and energy related to subsidies to the innovation for depolluting, because research and development as the discovery of new natural resources are paid for with rents. Double dividends and the complementarity between energy consumption and pollution are tackled in a growth model, where research and development and primary fossil fuels sectors are characterised by their rents. It is shown that subsidies to innovations must be larger than the taxes on emissions in order to finance the other incomes of the other factors, which are invested in research and development.

These subsidies are necessary in order for the factors to move from industry to the sector of research and development. This movement cannot be spontaneous, because the price that the industry is willing to pay for decreasing pollution is nil when there is no taxation and no more than the taxes on environment. Because taxation of capital and energy induces a substitution between capital and energy, neutrality of taxation is a ternary relation between taxes on pollution, capital and energy.

Limitation of pollution is costly and the benefits are non marketable, but costs can be reduced if innovation rents are not paid when publicly produced.

ABSTRACT

The paper deals with the equivalence between taxation and emission permits according to different viewpoints: the first one sets prices, the second one quantities. But equivalence is more formal than substantial: taxation is the generating fact, the market of permits does not exist spontaneously. Its price is unstable because supply is not independent from demand. It is manipulatable either ex ante when free allowances are allocated or ex post during the period of compliance through Walrasian tatonnement.

A real economic determination of prices exists only when there are unit taxes or penalties on emissions exceeding the quotas. In order to avoid these drawbacks, pay-as-bid auctions must be used and free allowances avoided. Taxation or the price of emission permits are the real option value of changing techniques.

An assignment rule is proposed : taxes are assigned to reduce average emissions and permits to reduce marginal emissions.

In order to transform the cost into a real change of techniques, it is necessary to finance the sector of research and development of an amount greater than the taxes levied on pollution, which serve at paying the rent of innovation. These extra subsidies are used to move factors of production as capital from industry towards the innovation sector.

The tax equivalence is ternary and concerns the taxes on pollution, capital and energy, because extracting fossil fuels is similar as innovation.

Decentralization through market schemes induces that depollution has a marketable cost.

Key words: equivalence, tradable emission permits, environmental taxation.

JEL classification: E61, E62.

ÉQUIVALENCE ENTRE TAXATION ET PERMIS D'ÉMISSION ÉCHANGEABLES

Pierre Villa*

« Le monde se divise en deux. Quand vous dites à quelqu'un : « it's written in the book », il y a ceux qui vont compulsent leur bible et ceux qui vont consulter l'annuaire téléphonique. », un palimpseste sur un texte de Mark Twain.

INTRODUCTION

L'équivalence entre les politiques économiques est un thème récurrent de la macroéconomie. Elle est fondée sur la contrainte budgétaire des agents et la conservation instantanée ou intertemporelle de la valeur des biens ou des actifs au cours des échanges sur un marché, la valeur étant créée auparavant au moment de la production. L'équivalence ricardienne entre fiscalité et endettement public est basée sur l'hypothèse d'efficacité intertemporelle des marchés et sur la contrainte budgétaire des agents qui impliquent que la fiscalité en valeur présente peut être répartie de manière équivalente en impôts sur toutes les périodes. Elle ne fait pas intervenir les conditions de production. L'équivalence entre cotisations sociales (impôt direct) et TVA (impôt indirect) est de nature différente car elle ne fait pas intervenir la dimension temporelle. Les deux types de prélèvement ont les mêmes effets sur le coût du travail et ainsi sur les coûts de tous les facteurs de production. Leur substitution est neutre sur les conditions de l'offre, la neutralité sur les revenus et les dépenses est une condition supplémentaire. Il s'agit d'une neutralité plus générale dans la mesure où elle est indépendante du régime de l'économie (classique ou keynésien), du régime de concurrence et de l'efficacité intertemporelle des marchés.

La pollution globale par effet de serre modifie la disponibilité d'un bien public non exclusif et sans congestion comme l'environnement. Elle pose ainsi la question des effets externes qui introduisent une distorsion entre les coûts privés de production et les coûts sociaux qui incluent les coûts collectifs. La recherche de l'optimalité est celle d'un mécanisme qui implique la prise en compte des coûts des effets externes dans le calcul économique des agents privés. Deux approches sont proposées pour introduire ces coûts ; le point de vue étatique propose la création d'une fiscalité qui rende coûteux les effets externes, le point de vue décentralisé propose la création de droits privés. Dès lors se pose la question de l'équivalence entre les deux approches. Celle-ci a pris historiquement la forme du théorème

* Pierre Villa est économiste au CEPII, pierre.villa@cepii.fr. Il remercie Nina Kousnetzoff pour ses remarques lors d'une précédente version de cet article.

d'équivalence (ou invariance proposition) de Coase (1960). Il n'est pas nécessaire d'avoir recours à l'intervention publique, à la création d'entreprises publiques ou à la fiscalité centrale pour corriger les effets externes. L'échange de droits privés (ou des transferts privés) est suffisante. En outre, la distribution de ces droits privés entre les agents privés n'affecte pas les décisions de production tout au moins tant que les mécanismes de marché (c'est-à-dire l'échange) fonctionnent sans coûts. Les exemples proposés par Coase concernent les rapports entre les éleveurs et les agriculteurs ou les sociétés de chemin de fer et les agriculteurs. Dans les deux cas la production des premiers provoque une nuisance aux seconds, le bétail errant mangeant les récoltes et les étincelles provoquées par les locomotives y mettant le feu. Coase montre alors que la correction de l'effet externe nécessite un transfert mais que ce dernier peut avoir lieu dans un sens ou dans l'autre. La dimension de ce transfert est le coût marginal social de l'élevage (ou des transports), que celui-ci soit payé par l'agriculteur ou l'éleveur (ou la compagnie).

Supposons que le profit de l'agriculteur vaille $\pi(x, y) - c(x)$ où x sont les intrants et $c(x)$ la fonction de coût tandis que y est la nuisance du cheptel. La décision de production de l'agriculteur consiste à fixer l'indemnité telle que : $\pi(x, y) + [\pi(x, 0) - \pi(x, y)] = \pi(x, 0)$ sous la contrainte $\pi(x, y) \geq c(x)$. Le terme entre crochets représente la dette de l'éleveur. Il est clair que la décision de production de l'agriculteur ne dépend pas du bétail si $\pi(x, y) > c(x)$. Dans le cas contraire le fermier doit cesser la production et recevoir un paiement p tel que $0 < \pi(x, 0) - c(x) \leq p \leq \pi(x, 0) - \pi(x, y)$.

Il y a donc deux régimes dans l'économie, selon que les agriculteurs et les éleveurs cohabitent ou que les éleveurs sont les seuls producteurs. Ces deux régimes ne sont pas comparables. Si on choisit le premier équilibre, il n'est pas nécessaire de choisir qui paie. Supposons que le bétail z produit une nuisance $y(z)$, le paiement maximal pour réduire la nuisance de y_1 à y_2 est $p = \pi(x, y_2(z_2)) - \pi(x, y_1(z_1))$.

Dans une première configuration le fermier se voit attribué un droit correspondant à la nuisance. Il peut soit l'interdire en obligeant l'éleveur à supporter les coûts du cheptel vagabond, soit en vendre le droit à l'éleveur qui l'achète si son prix est inférieur au coût. Dans la seconde configuration le fermier paie à l'éleveur les coûts de réduction du cheptel vagabond. Tout se passe comme si lui-même entreprenait les travaux de clôture. Le point de vue juridique (et en fait moral) consiste à imposer un droit, à désigner un coupable, c'est-à-dire à identifier une causalité et à appliquer le principe pollueur-payeur par exemple¹. Le point de vue économique pur de Coase refuse toute causalité et considère que le problème est réciproque. Il en résulte l'équivalence.

¹ Le principe pollueur-payeur est un principe d'équité parmi d'autres qui fixe l'orientation des transferts que l'économie pure ne peut décider. D'autres principes existent. Au niveau macroéconomique, selon le principe égalitaire les droits sont fixés par personne, selon la capacité de paiement ils dépendent des revenus, selon la règle de souveraineté ils dépendent du droit du grand-père.

Cette équivalence ne tient que s'il n'y a pas de coûts de transaction γ . Sinon le prix que paiera l'agriculteur est $p + \gamma$ et celui qu'il recevra en vendant son droit $p - \gamma$. Il y a alors indétermination du prix du transfert dans un intervalle de largeur 2γ . Les droits de propriété ne sont pas bien définis.

Un deuxième problème apparaît avec la détermination de la taille des unités productives, ce que nous avons déjà vu en notant qu'il y avait deux équilibres. La taille des unités est celle qui minimise les coûts moyens. Elle est fixée par exemple par les coûts fixes, non attribuables à un facteur. En situation de concurrence parfaite, cela n'a pas d'importance. Si la taille des unités de production diminue, l'ajustement global est réalisé par variation du nombre d'unités. En situation de concurrence monopoliste la taille importe car le nombre d'unités est fixé ou varie peu en raison des coûts d'entrée élevés. Si c'est l'éleveur qui paie, la production de bétail diminuera (et vice versa). Les équilibres dépendent de la richesse et sont différents, l'équivalence tombe à moins que l'endettement puisse compenser les transferts. Cela suppose que les capacités d'endettement soit indépendantes de la richesse. Dans ce cas la valeur de l'endettement correspond au gain de richesse provenant de la réduction de l'effet externe négatif.

De plus rien ne garantit que le cheptel vagabond a été réduit. Si c'est le cas la valeur des droits devient nulle comme rançon du succès, sinon un prix a été fixé à une nuisance dont personne n'aurait à supporter le coût grâce à l'endettement. L'équilibre est donc indéterminé sauf si le droit de nuisance est aussi une obligation d'y mettre fin. Dans ce cas le devoir est l'envers du droit². Du point de vue économique stricto-sensu un droit ne suffit pas à imposer les actions qui éradiquent la nuisance. Il ne provoque que des transferts de richesse qui sont contingents.

Enfin cet arrangement ne s'applique pas aux biens publics globaux car il ne peut être élargi au niveau macroéconomique sans contrainte. Pour ceux-ci la nuisance est supportée par les ménages et provoquée par les entreprises. Elle est collective, c'est-à-dire la somme des nuisances de toutes les entreprises. Plusieurs problèmes apparaissent en relation avec ce caractère d'emblée macroéconomique.

Le caractère global de la nuisance pour les ménages induit des comportements de passager clandestin. Certaines entreprises ou pays peuvent bénéficier des efforts de dépollution des autres en l'absence de coercition. Le marché des droits est manipulable. La création d'un marché des droits entre producteurs ne suffit pas pour choisir entre les équilibres où la pollution est réduite et le prix des droits nuls et ceux où on ne fait que fixer un prix sans modifier les techniques de production. Le choix parmi ces équilibres dépend de la capacité à imposer des normes à l'économie. La fiscalité est à l'inverse une obligation concernant le prix de la pollution qui peut aussi présenter un caractère d'irréversibilité que ne possède pas le marché en permettant de financer des investissements irréversibles non marginaux qui

² Pour plus de deux agents le devoir est l'envers du droit si on introduit une condition d'universalité portant sur l'ensemble des individus concernés : une raison de non vérification du théorème de Coase.

déterminent les équilibres. Ce rôle ne peut être évacué dans une discussion de l'équivalence entre fiscalité et droit d'émission³.

Ces réflexions nous amènent à formuler la thèse. On ne peut créer ex nihilo un marché des droits d'émission de gaz à effet de serre sans que l'État n'impose des contraintes initiales. Celles-ci peuvent prendre la forme d'une fiscalité environnementale préalable ou d'une pénalité pour le non respect d'une norme quantitative contraignante posée a priori de manière délibérée. Dans une deuxième phase l'État peut se désengager progressivement mais non complètement en réduisant la taxation et en la remplaçant par le marché des droits d'émission qu'il doit réguler. La réduction de la pollution ne peut être obtenue que par une contrainte quantitative et/ou un coût effectif. Pour lever l'indétermination du cours des droits, le marché peut être organisé de deux manières différentes.

Selon la première, les émissions sont libres mais elles doivent être couvertes intégralement par des droits émis par les entreprises et la distribution des droits gratuits est strictement inférieure aux émissions. Ces droits achetés et possédés par les ménages et l'État ont alors une valeur dans la mesure où les changements de technique ont un coût.

Selon la seconde, l'État fixe une norme quantitative et une pénalité pour dépassement de cette norme. La distribution de droits gratuits est inférieure à cette norme qui elle-même est plus rigoureuse que les émissions passées.

Dans les deux cas les cours s'interprètent comme une valeur d'option pour le choix des techniques des entreprises.

Le développement de la thèse est articulé ainsi. Dans une première partie, on montre l'équivalence pour une entreprise entre la fiscalité et les droits d'émission à condition que les allocations de droits gratuits soient proportionnelles à la pollution. La fiscalité fixe le prix de la pollution, c'est-à-dire de l'usage de l'environnement et le système des droits la quantité émise. Les droits sont des actifs financiers dont les dividendes sont proportionnels à l'écart entre la productivité marginale des services de l'environnement et le coût de la contrainte. La deuxième partie pose la question de l'existence d'un marché des droits échangeables. En raison de la loi de Walras et du fait que l'environnement est un bien public, un tel marché est manipulable comme celui de la monnaie : l'offre n'y est pas indépendante de la demande. La détermination du cours des droits ne peut résulter que d'une politique active de l'État consistant soit à gérer le prix des droits par des interventions sur le marché des droits payants émis par les entreprises et détenus par les ménages et lui-même, soit à gérer la norme et la pénalité pour son dépassement lorsqu'il émet les droits achetés par les entreprises uniquement par adjudication. La pénalité est proche d'une fiscalité marginale en espérance.

³ L'insertion macroéconomique de l'exemple Coase (1974) peut être décrite de la manière suivante. L'intervention de l'État est nécessaire pour la construction initiale des phares. L'effet externe gratuit fourni est financé au niveau macroéconomique par le commerce extérieur anglais. Les coûts de fonctionnement sont financés par une taxe portuaire locale. La fiscalité centrale finance les coûts fixes, les droits les coûts marginaux, les deux existent simultanément et sont complémentaires.

La troisième partie traite de l'équivalence macroéconomique entre fiscalité environnementale et marché des droits selon les deux modes d'organisation : émission par les entreprises ou émission par l'État par adjudication. On montre que l'équivalence, quelle que soit l'organisation du marché, se ramène à la question de la détermination du prix des droits. Ceux-ci ne peuvent exister, comme déterminés par l'économie, que s'il y a un coût spécifique de changement de technique ou s'il existe une pénalité par rapport à une norme. L'annexe III étudie le système des droits gratuits européen et montre qu'il est manipulable dans le cadre d'un tâtonnement walrasien décrit comme un équilibre de Nash, que le prix des droits peut évoluer de manières très différentes, cyclique, ergodique, ou alterner entre la nullité et la pénalité selon les circonstances et les paramètres. Ainsi seule une adjudication par enchères discriminantes permet de lui donner une détermination économique reliée aux paramètres de l'économie réelle. L'avantage par rapport à la fiscalité est alors de réduire les coûts en proportion de la probabilité de l'excès de dépassement de la norme macroéconomique qui est répartie de manière aléatoire entre les entreprises.

La quatrième partie traite de la coordination entre pays selon le système fiscal ou de droits. Une attention particulière est portée à la question des coûts fixes réducteurs de pollution mais aussi fondements de la valeur d'option des droits. La coordination entre pays est pensée comme une manière de maintenir deux catégories d'équilibres, ceux ayant des techniques polluantes et ceux comprenant aussi des techniques moins polluantes (en tout cas pour le domaine concerné) mais ayant des coûts fixes. La taxation et la subvention sont une condition nécessaire d'apparition des seconds, la création d'un marché des droits est subordonnée à cette condition initiale. On voit ainsi poindre dans les régimes mixtes combinant fiscalité environnementale et marché des droits une affectation des instruments : la fiscalité comme moyen de faire des économies environnementales dans les tranches moyennes de production en finançant les coûts fixes et le marché des droits comme moyen d'inciter aux économies marginales.

La cinquième partie élargit l'équivalence en évoquant une relation ternaire entre les fiscalités sur le capital (et/ou le travail), l'énergie et l'environnement. La fiscalité environnementale ne suffit pas à couvrir les frais d'innovation nécessaire aux réductions d'émissions car il faut payer non seulement les rentes d'innovation mais encore les coûts des autres facteurs. Une autre fiscalité doit être affectée au déplacement des facteurs de production vers la recherche et le développement.

Afin d'écartier tout malentendu, commençons par une remarque liminaire.

En général les problèmes d'environnement sont abordés sous l'angle de la croissance optimale (Nordhaus (1991)) ou de l'optimum de Pareto statique (Cropper et Oates (1992)). À l'optimum la productivité marginale de l'environnement pour les entreprises (l'opposé du coût marginal d'abattement) est égale à la désutilité marginale apparente de la pollution selon les ménages. Cette dernière est la taxe Pigou qu'il faut appliquer aux entreprises puisque l'environnement est un facteur libre. Cette approche se heurte à deux difficultés : conceptualisation et mesure.

La désutilité marginale apparente de la pollution n'est pas directe pour les ménages. Elle est perçue à travers ses conséquences comme la santé par exemple. Laquelle est non seulement une perception économique indirecte qu'on peut appeler fonction de défense individualisée en reprenant la terminologie des auteurs, mais encore possède une fonction de production qui peut être marchande ou non marchande selon qu'elle est obtenue par un système d'assurances privées ou de sécurité sociale. En outre l'environnement est un bien libre nécessaire à la production tandis que la pollution est jointe. Ainsi l'utilité marginale de l'environnement pour les ménages est un mélange d'utilité marginale des biens et de la santé, de la production marginale de pollution et de la possibilité de son évitement. Elle dépend autant de la demande des ménages que de l'offre des entreprises et de l'organisation sociale.

Rapidement l'utilité des ménages $U(Y, S)$ dépend de la production $Y(L_1, E)$ et de la santé $S(L_2, P)$. La pollution $P(Y, E)$ augmente avec les biens et l'usage de l'environnement E , tandis que L_1 et L_2 sont les facteurs usuels affectés aux secteurs correspondants. À

$$\text{l'optimum : } \frac{\partial Y}{\partial E} = - \frac{\frac{\partial U}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial P} \frac{\partial P}{\partial E}}{\frac{\partial U}{\partial Y} + \frac{\partial U}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial P} \frac{\partial P}{\partial Y}}.$$

L'évaluation reproduit la difficulté. Le point de vue non marchand consiste à mesurer la durée de vie moyenne totale ou en bonne santé. Le point de vue marchand consiste à calculer les prestations de santé de la sécurité sociale dans un système d'assurance collective ou le prix marginal des dépenses dans les hôpitaux gériatriques. Il s'agit de trouver des biens fortement substituables (les soins palliatifs sont considérés comme fortement substituables à la pollution) ou fortement complémentaires (le tourisme est considéré comme fortement complémentaire à la pollution qui dégrade le paysage) pour mesurer un équivalent du surplus des ménages, dont on sait qu'il est encadré par la variation équivalente de revenu et la variation compensée de revenu. On trouvera dans Varian (1978, chapitres 2 et 7) un exposé de la théorie des surplus du consommateur et du producteur, selon les règles de la concurrence et le terme, et un encadrement général du surplus, notamment lorsqu'il s'agit de biens normaux dont la demande croît avec le revenu.

Ces méthodes aboutissent à une fourchette du coût social allant de 25 à 85 dollars par tonne de gaz carbonique selon le rapport Stern (2006, p. 344), suivant le choix des biens contigus et les mesures indirects ou hédoniques de la fonction d'évitement.

Afin d'écarter ce débat, que nous considérons en partie stérile, nous avons adopté l'approche de la mise en œuvre de la politique économique : elle fixe la norme ou la taxation et l'ajuste par essais et erreurs. La question de l'optimalité tombe. Les débats usuels sur la non-

équivalence entre taxation et quotas, fondés sur la pente des courbes de l'équation⁴, sont déplacés vers l'opposition taxation vs marché pour une même valeur de la taxe Pigou. L'équivalence ne va plus d'elle-même car il faut discuter la production jointe de pollution et parce que le niveau initial de la fiscalité reflète le système social d'évitement. Le niveau (historique ?) de la fiscalité importe pour l'optimalité, il ne joue plus pour l'équivalence.

Les travaux en France, dans leur hétérogénéité, reconnaissent implicitement le problème. En effet les modèles d'équilibre général, comme GEMINI (Bernard, Vielle (2003), Bernard, Vielle (2005)), proposent, en tenant compte du prix de l'énergie, une valeur de la taxe Pigou de 18 euros 2008 environ par tonne de gaz carbonique pour 2020. L'administration (voir rapport CAS, p. 38-51), en incluant les effets des politiques économiques, comme la santé, propose une valeur tutélaire de 56 euros par tonne. La pénalité étant fixée au niveau européen à 100 euros par tonne, cela suppose que la probabilité que la norme ne soit pas respectée est de 56%. La question de l'équivalence est bien posée.

1. UNE ÉQUIVALENCE POUR UNE ENTREPRISE

Du point de vue historique les politiques de protection de l'environnement sont apparues au niveau local et ont été appliquées aux entreprises. En France elles sont nées dans les années 1960 avec les agences financières de bassin pour résoudre la question des eaux résiduaires. Le principe pollueur payeur a été appliqué comme moyen d'inciter les usines polluantes à réduire leurs rejets dans les eaux de rivière en les taxant selon la quantité des produits rejetés. La taxation avait pour but de rendre profitable l'installation d'unités d'épuration. Aux États-Unis un système de quotas d'émission a été organisé pour contrôler les émissions de dioxyde de soufre dans l'atmosphère (Ellerman et alii (2000)). L'émission de droits échangeables par adjudication ayant une échéance lointaine (trente ans parfois) procédait du même principe de base : rendre coûteux les rejets et rentable un investissement dans les techniques alternatives. Le prix de marché de ces droits échangeables devait jouer le même rôle que la fiscalité. Cependant la forme juridique d'émission de ces droits, comme leur quantité, le statut de la propriété, leur durée, leur valeur initiale (gratuits ou payants) pose la question de l'efficacité comparative de cette politique par rapport à la fiscalité. En effet, quelle que soit la politique proposée, elle ne peut être efficace que s'il existe un mécanisme économique réel, c'est-à-dire coûteux et objectif, qui permette de transformer les intentions, les contraintes virtuelles, en incitations réelles et les annonces en contraintes effectives. C'est pourquoi, et dans un esprit heuristique, nous commencerons par discuter, pour une entreprise, l'équivalence entre fiscalité et droits d'émission. Cela nous permettra de préciser et de comparer la forme des adjudications ou des attributions de droits. Sur cette base de départ les conditions d'équivalence pourront être élargies à l'économie globale.

⁴ Aux États-Unis, où la sécurité sociale est peu importante, la courbe de coûts des entreprises est moins pentue que la courbe des gains de bien-être : on préfère les quotas. En France, où la sécurité sociale est importante, on préfère l'inverse.

Dans une économie fermée, au cours d'une période t quelconque, la valeur ajoutée de l'entreprise Y est réalisée à l'aide de capital K , de travail N et d'une variable environnementale E homogène qui est un bien public (non exclusif et sans congestion) selon une fonction de production quasi-concave $Y = F(K, N, E)$, les rendements d'échelle étant inférieurs ou égaux à l'unité. Les biens énergétiques sont ici des consommations intermédiaires produites avec les trois facteurs. L'activité produit des biens d'investissement et de consommation comme les services de transport ou de chauffage. Elle convertit aussi le flux d'environnement en un flux de pollution P selon la technique $P = a(K, N)E$. Il s'agit d'une production jointe⁵. L'État mène une politique écologique, ciblée sur les entreprises, en taxant la pollution au taux unitaire θ et/ou en fixant un objectif total d'émissions \bar{P} que les entreprises doivent respecter en fournissant ou en possédant, selon des modalités qu'il faudra discuter, des droits d'émissions correspondant à leurs rejets. Ces permis négociables d'émissions, ont un prix de marché. En début de période l'État émet en quantité P^0 et P_0 des permis d'émissions payants et gratuits. Les entreprises disposent d'un capital $K(-1)$ et investissent en louant du capital pour un montant pK où p est le prix agrégé du capital. Elles sont propriétaires des droits d'émission distribués gratuitement en début de période P_0 . La propriété de ces droits en fin de période est matière à discussion. Elles disposent d'une quantité de droits d'émission $P(-1)$, elles en achètent ou en vendent pour obtenir une quantité P au prix q en début de période. En fin de période ces droits ont acquis une valeur $q(+1)$ sur le marché.

Le profit de l'entreprise (j) s'écrit :

$$PRO(j) = p(j)Y(j) - wN(j) - \pi pK(j) - \theta a(j)E(j) + (q(+1) - q)(a(j)E(j) - P_0(j)) \quad (1)$$

où $p(j)$ est le prix de production, p est le prix agrégé du capital, w est le salaire par tête, θ le taux de la fiscalité environnementale spécifique, π le taux de profit net des déclassements (c'est-à-dire le coût réel de la location des services du capital). Les droits gratuits rendent un service gratuit alors qu'il faut payer les services du capital et des droits payants.

L'entreprise maximise son profit sous la contrainte de la fonction de production et des normes d'émission (on néglige l'indice) :

$$\underset{p(j), K, N, E}{Max} PRO \text{ s. c. } Y = F(K, N, E) \text{ et } a(K, N)E \leq \bar{P} \quad (2)$$

⁵ Dans la terminologie usuelle de l'écologie le mot environnement ne correspond pas à la notion de facteur. C'est une qualité de l'air, sa composition, son contenu en gaz carbonique. La pollution est une baisse de l'indice de qualité. L'objectif de pollution est fixé de manière à stabiliser l'indice grâce à la régénération. Ici le taux de gaz carbonique est décomposé en deux : le numérateur est la production jointe et le dénominateur le facteur de production dont le prix est nul. Il s'agit d'attribuer un prix au premier. La question de la régénération est évacuée en raisonnant en flux

Les droits d'émission gratuits peuvent être distribués selon plusieurs formules non exclusives :

- ils sont alloués en fonction des émissions passées et d'un coefficient d'effort fixé par l'État. Qu'ils soient forfaitaires, proportionnels aux émissions passées (droits dits du grand-père ou privilège du bouilleur de cru ?) ou proportionnels à la production passée (droit de la moyenne et privilège de la taille), ils ne dépendent pas de l'activité de la période.
- ils dépendent des émissions de la période : les entreprises qui ont des coûts marginaux de dépollution élevés relativement aux autres coûts de production sont favorisées.
- ils dépendent de la production de la période. Les entreprises qui ont des coûts marginaux de dépollution faibles relativement aux autres coûts de production sont avantagées.

Si on combine ces trois procédures, les droits gratuits sont représentés par l'expression : $P_0 = a(E_0 + e_0 E) + f_0 Y$. Imaginons deux cas polaires : ou bien la taxation ne s'accompagne d'aucune norme, ou bien en l'absence de taxation, l'État fixe une norme qui doit être remplie par la possession de droits.

Notons $\lambda \geq 0$ le multiplicateur de Kuhn et Tucker de la contrainte quantitative.

Les conditions du premier ordre s'écrivent :

$$p(j)F_K = \pi p - (q(+1) - q)(a_K((1 - e_0)E - E_0) - f_0 F_K) + \lambda a_K E \quad (3)$$

$$p(j)F_N = w - (q(+1) - q)(a_N((1 - e_0)E - E_0) - f_0 F_N) + \lambda a_N E \quad (4)$$

$$p(j)F_E = \lambda a - (q(+1) - q)(a(1 - e_0) - f_0 F_E) \quad (5)$$

Si la contrainte $\bar{P} = aE$ est satisfaite, λ représente le coût de la contrainte. Elle a un caractère mathématique et ne correspond *a priori* à aucun mécanisme économique réel contraignant. La couverture par les droits d'émission est le mécanisme économique. Le prix des droits est analogue à un prix d'actif financier :

$$q = \frac{p(j)F_E - \lambda a}{a(1 - e_0) - f_0 F_E} + q(+1) \quad (6)$$

La valeur des droits est la somme de leur prix de vente futur et d'un dividende qui est proportionnel à la différence entre la productivité marginale des services d'environnement consommés et le coût implicite marginal (shadow price) de l'émission de gaz carbonique. La constante de proportionnalité augmente avec les dotations de droits gratuits, lorsque leur distribution dépend de la production ou des émissions de l'activité marginale courante. Ce n'est que lorsque le prix des droits est constant que le prix implicite est égal à la productivité marginale des services de l'environnement.

En éliminant le prix de la contrainte on obtient les conditions corrigées de l'environnement de l'égalité de la productivité marginale au coût des facteurs :

$$(1 - f_0(1 - \frac{a_K}{a}) \frac{q(+1) - q}{p(j)}) F_K - \frac{a_K E}{a} F_E = \frac{\pi p}{p(j)} + \frac{q(+1) - q}{p(j)} a_K E_0 \quad (7)$$

$$(1 - f_0(1 - \frac{a_N}{a}) \frac{q(+1) - q}{p(j)}) F_N - \frac{a_N E}{a} F_E = \frac{w}{p(j)} + \frac{q(+1) - q}{p(j)} a_N E_0 \quad (8)$$

La productivité marginale des facteurs (corrigée des coûts marginaux correspondant aux droits gratuits proportionnels à la production) diminuée de la production marginale jointe de pollution est égale à la rémunération des facteurs et des droits. En raison de la contrainte, il n'est pas possible de traiter l'environnement comme un facteur usuel. Ici les gains (ou les pertes) réalisés sur les droits sont partagés entre le capital et le travail selon la productivité marginale de la production jointe : on peut parler de « environmental sharing of the value added of transferable permits » ou de « partage des plus-values sur les droits d'émission ». Cette approche soulève ainsi par la bande la question de la propriété de ces droits que nous aborderons ultérieurement.

Dans le cas de la taxation le taux d'imposition est fixé, les émissions sont libres de toute contrainte.

$$p(j)F_K = \pi p + \theta a_K E.$$

$$p(j)F_N = w + \theta a_N E$$

$$p(j)F_E = \theta a \text{ d'où :}$$

$$F_K - \frac{F_E}{a} a_K E = \frac{\pi p}{p(j)} \quad (9)$$

$$F_N - \frac{F_E}{a} a_N E = \frac{w}{p(j)} \quad (10)$$

La fiscalité est répartie entre le capital et le travail selon les productivités marginales.

Il est maintenant possible de discuter de l'équivalence entre la fiscalité et les droits d'émission. Nous dirons que les deux politiques sont équivalentes si elles conduisent, pour un même niveau de dégagement de gaz carbonique, au même choix de production, de prix et de technique de production. L'équivalence est obtenue lorsque le prix des facteurs est indépendant de l'usage de l'environnement :

$$E_0 = 0, f_0 = 0 \text{ et } \theta = \frac{p(j)F_E}{a} = \lambda(j) - (q(+1) - q)(1 - e_0) \text{ avec } E = \frac{\bar{P}}{a}.$$

Aucun droit gratuit n'est émis sur la base d'émissions passées et ceux émis sur la base de l'activité courante doivent dépendre des émissions et non de la production⁶.

La fiscalité environnementale est équivalente à l'émission de droits payants par adjudication accompagnée de droits gratuits proportionnels aux émissions courantes, à condition que la contrainte quantitative soit effective. Dans le premier cas on fixe le coût des émissions, dans le second leur quantité. Les émissions de droits gratuits proportionnelles aux rejets ont le même caractère incitatif, mais opposé, que la fiscalité proportionnelle⁷.

2. L'EXISTENCE DU MARCHÉ DES DROITS ÉCHANGEABLES

L'équivalence précédente est très générale mais elle repose sur l'existence préalable d'un marché des droits échangeables et la capacité d'imposer aux entreprises, individuellement ou globalement, une norme quantitative. Plusieurs méthodes ont été proposées pour imposer cette contrainte.

L'union européenne a émis uniquement des droits gratuits sur la base des émissions passées, devant être restitués à l'État gratuitement en fin de période (voir annexe 1). La valeur finale des droits (si on identifie la longueur de la période à la durée des droits) est donc $q(+1) = 0$. Ces droits sont échangeables. S'il n'y avait d'autres règles additionnelles, les entreprises ne seraient pas incitées à réduire les dégagements, la contrainte serait fictive et le prix de marché des droits serait nul. De ce fait les émissions ne sont pas imposées mais doivent être couvertes par des permis en fin de période. Si elles sont excessives, l'excédent des émissions sur les droits est assujéti à une pénalité, équivalente à un impôt marginal proportionnel de 40 euros par tonne de gaz carbonique pour la période 2005-2007 et de 100 euros par tonne pour la période 2008-2012. Au niveau global, si la pénalité est faible, les entreprises auront intérêt à

⁶ On conçoit que des droits proportionnels à la production soient équivalents à une taxe sur la production qui n'a aucun caractère spécifique du point de vue de l'environnement. P. Quirion (2007) identifie les droits proportionnels à la production et les droits proportionnels aux émissions. Cela l'amène à proposer de remplacer la distribution des droits gratuits selon l'allocation forfaitaire (ou AF ou droits du grand-père) par l'allocation proportionnelle à la production (ou APP). Ce faisant il fait l'hypothèse d'une complémentarité de la production et des émissions ($F/aE = Cste$). Or une grande partie des réductions de pollution est obtenue par substitution de techniques. C'est pourquoi cette hypothèse est très restrictive.

⁷ La réduction des rejets est marginale : on commence par réduire ceux dont les coûts de substitution sont les plus faibles : la fiscalité marginale peut s'accompagner d'un seuil d'exonération élevé. De même l'efficacité des droits échangeables, même avec seuil, provient de leur caractère couteux à la marge. La réduction des rejets moyens en France est due à son parc nucléaire dont l'installation résulta d'une politique délibérée ayant eu d'autres objectifs (rendre le prix de l'énergie indépendant du prix du pétrole) et dont l'organisation était basée sur le financement des coûts fixes par une tarification au coût moyen, ce qui supposait que les profits soient faibles et que la demande soit très faiblement élastique (voir Malinvaud, chap 6). Ce choix correspond à des exonérations fiscales très faibles ou à l'absence de droits gratuits (voir annexe IV).

dépasser la totalité des droits et à payer la pénalité. La valeur de marché totale des droits est nulle. Si la quantité de droits émis est trop élevée, les entreprises ne buteront pas sur la contrainte et la valeur de marché des droits sera encore nulle. Si la pénalité est suffisamment élevée pour constituer une barrière et si les émissions de droits sont suffisamment restreintes, les entreprises respecteront la contrainte de sorte que la valeur de marché de l'ensemble des droits est nulle et que leur prix est indéterminé et compris entre 0 et la pénalité. L'existence d'un cours des droits n'est possible que si certaines entreprises disposent d'excédents et proposent aux autres l'assurance de payer moins cher que la pénalité. Toutefois cela n'est pas si simple car la quantité demandée est nécessairement égale à la quantité offerte si la contrainte macroéconomique est respectée. Le prix unitaire des droits n'équilibre pas une demande et une offre indépendantes comme lorsqu'il s'agit d'un marché de biens. Le pseudo-marché de la monnaie fonctionne en général de la même manière⁸ sauf dans des systèmes particuliers, comme les Currency Board, organisés de telle sorte que l'offre de monnaie soit indépendante de la demande⁹. Pour le comprendre, il suffit de reprendre le modèle précédent dans le cas où les droits gratuits sont distribués sur une base historique et où la pénalité est suffisamment forte pour décourager tout laxisme. La contrainte macroéconomique est alors respectée. Il convient toutefois de définir l'équilibre politico-économique dans lequel s'inscrit la distribution des droits¹⁰. Pour cela nous ferons appel à la théorie des jeux. Supposons qu'il y ait J entreprises indicées par $[j]$. Nous dirons que la règle de distribution des droits consiste à en déterminer la totalité P_0 et la ventilation $P_0(j)$ qui maximise la situation des agents (du profit sous la contrainte de la fonction de production) et qui conduise à une allocation Pareto optimale (pour les entreprises) qui ne puisse pas être bloquée par la coalition de toutes les entreprises. En d'autres termes, aucune modification ne pourra être apportée à cette distribution de telle sorte que la situation d'une entreprise soit améliorée sans que celle d'une autre soit détériorée. Cet équilibre politico-économique présente deux avantages. D'une part il tient compte de l'interaction stratégique entre le décideur public et les agents concernés et d'autre part il peut s'appliquer à un groupe partiel d'entreprises, ce qui correspond à la réalité du processus entamé et souhaité par la communauté européenne. Plus précisément l'équilibre peut-être décrit de manière formelle en supposant que l'entreprise $[1]$ maximise son profit sous la contrainte de la distribution totale et individuelle des droits et sous la contrainte que le profit des autres entreprises reste inchangé. On décrit ainsi un optimum de Pareto (pas un

⁸ Par substitution partielle ou totale des contreparties de l'offre de monnaie cette dernière dépend de la demande (voir Sterdyniak et Villa (1986)). De ce fait la banque centrale ne peut échapper à une gestion « politicoéconomique » du taux d'intérêt et des distributions de la monnaie centrale. La conception moderne stratégique de la politique monétaire en terme de théorie des jeux s'inscrit dans ce cadre général. L'analogie du marché des droits d'émission avec celui de la monnaie n'est pas de notre fait mais est abondamment soulignée par de Perthuis (2006) page 22 et utilisée comme métaphore par Frémont (2006) page 32 et 33.

⁹ Les trois règles, règles de couverture et de refus du refinancement des banques et de l'État, empêchent la substitution des contreparties. Les taux d'intérêt sur les différentes contreparties divergent et fluctuent beaucoup. La probabilité de rupture du système est très faible mais l'amplitude de la chute du taux de change très importante (voir Chauvin et Villa (2003)).

¹⁰ Malinvaud, op. cit. p. 181.

optimum optimorum) qui est un équilibre de marché. L'équilibre politico-économique est alors représenté par le programme suivant :

$$\underset{P_0(j), P_0, \dots}{Max} PRO(1) = p(1)Y - wN(1) - \pi pK(1) - q(aE(1) - P_0(1))$$

sous les contraintes suivantes :

$$PRO(j) = A(j), \text{ pour } j \geq 2$$

$$\sum P_0(j) \geq \sum a(j)E(j), \text{ contrainte d'allocation}$$

$$P_0 \geq \sum P_0(j), \text{ « équilibre budgétaire ».}$$

Appelons $\lambda(j)$, μ et ν les multiplicateurs de Kuhn et Tucker. Les conditions nécessaires s'écrivent :

$$p(1)F_K(1) - p\pi - (q + \mu)a_K(1)E(1) = 0$$

$$p(1)F_N(1) - w - (q + \mu)a_N(1)E(1) = 0$$

$$p(1)F_E(1) - (q + \mu)a(1) = 0$$

$$\lambda(j)[p(j)F_E(j) - qa(j)] - \mu a(j) = 0$$

$$q + \mu - \nu = 0$$

$$\lambda(j)q + \mu - \nu = 0$$

$$\nu \geq 0$$

L'optimum est obtenu pour $\lambda(j) = 1$ et $\nu > 0$. C'est-à-dire que toutes les entreprises ont le même poids dans la coalition et que la contrainte macroéconomique est serrée. Ces équilibres sont paramétrés par la valeur unitaire des droits $q = \nu - \mu$:

$$\sum \frac{p(j)F_E}{a(j)} = q + \mu \text{ et } \frac{p(j)F_E(j)a_N(j)E(j)}{(p(j)F_N - w)a(j)} = \frac{(p(j)F_K - p\pi)a_N}{(p(j)F_N - w)a_K} = 1 \text{ pour tous } (j).$$

Les quasi-rentes sur le capital et le travail servent à payer les frais pour l'utilisation de l'environnement.

Mais cet équilibre n'est pas soutenable. En effet une entreprise peut toujours menacer d'en sortir par un comportement de passager clandestin. Dans ce cas elle peut obtenir un profit

supérieur en ne tenant pas compte des autres. Il suffit de lever la contrainte en faisant $\lambda(j) = 0$. On obtient $\mu = \nu \geq 0$ avec $a(1)E(1) < P_0 - \sum_{j \neq 1} a(j)E(j)$. Cette entreprise qui doit acheter des droits car sa pollution dépasse sa dotation initiale, a intérêt à faire cavalier seul et à réaliser des économies marginales qui feront tomber la valeur unitaire des droits à zéro puisque la contrainte globale macroéconomique sera desserrée par son action. De même une entreprise qui aurait des droits excédentaires aurait intérêt marginalement à augmenter marginalement ses dégagements pour faire monter la valeur des droits à leur maximum correspondant à la pénalité (faire $\lambda(j) = 0$, $\nu = 0$, $\mu = \text{pénalité}$). Si l'État garde des droits en réserve le prix de marché est nul ($\nu = 0$, $q = -\mu < 0$)¹¹.

Pourquoi cette étrangeté ? Parce que les entreprises connaissent non seulement leurs droits mais aussi la totalité des droits, ce qui est une information supplémentaire par rapport à une simple économie d'échange où les échangistes ne connaissent pas la demande des autres et la seule information est le prix. Une entreprise qui voudrait acquérir des droits sait que, si la contrainte macroéconomique est vérifiée, une autre entreprise possède des droits excédentaires et qu'il suffira d'attendre la fin de la période pour que ces droits ne valent plus rien car ces droits excédentaires ne sont pas utilisables en fin de période (non banking)¹². L'expérience des droits européens de 2005 à 2007 est instructive à cet égard. Les cours ont chuté brutalement vers zéro quand l'information est apparue (en cours de route) que la somme des droits excédait les émissions. La distribution de droits gratuits qui doivent être rendus en fin de période ne peut créer un marché durable. Certes il peut apparaître un marché temporaire parce que certaines entreprises préfèrent réduire leurs émissions en début de période comme le montre l'expérience européenne (voir Convery, Ellerman et de Perthuis (2007)). Mais au fil du temps quand la répartition des droits a été remodelée, leur valeur de marché disparaît. Toutefois cette méthode a l'avantage d'exercer une contrainte grâce à la pénalité qui fonctionne comme une fiscalité marginale.

La deuxième méthode consiste à émettre des droits payants par adjudication ou par enchères qui doivent être rendus à l'État en fin de période. Le système ne diffère du précédent que par le fait que les entreprises doivent décider du prix qu'elles offrent en début de période. Il n'est viable que s'il y a des pénalités quand la norme n'est pas respectée. Si les enchères sont à prix uniforme toutes les demandes de droits sont honorées au même prix de marché égal au prix de la dernière unité achetée. Si les enchères sont discriminantes les demandes sont facturées au prix offert par chaque entreprise. Le prix des adjudications primaires peut évidemment différer du prix sur le marché secondaire, il correspond à une fiscalité prélevée à l'avance. Mais rien n'assure qu'il puisse exister un prix ayant une détermination économique sur le marché secondaire (voir annexe III,g). Seules les enchères discriminantes permettent de donner une valeur objective du point de vue de l'économie réelle à ce prix (voir annexe III,f).

¹¹ Les annexes 1 et 3 décrivent dans le cadre européen comment il est possible de manipuler le marché.

¹² Voir Ellerman et Parsons (2006) et Schleich, Ehrhart, Hoppe et Seifert (2006).

La troisième méthode est d'émettre des droits d'émission payants perpétuels ou à horizon très lointain uniquement qui dépassent la période de conformité sans émettre de droits gratuits initiaux. Ces droits pourraient être détenus par tous les agents. Ainsi les unités de production qui disparaîtraient pourraient les vendre à des unités de production nouvelles. La norme globale de pollution serait égale à la quantité de droits en circulation. Pour resserrer la norme l'État devrait racheter des droits et les mettre en réserve pour les retirer de la circulation. Là encore les dépassements devront être assujettis à une pénalité. Cette méthode a l'avantage de ne pas pénaliser la création de nouvelles entreprises moins polluantes associée à la fermeture d'unités plus polluantes contrairement au système des droits gratuits perdus qui nécessite pour être neutre de créer des droits nouveaux dont la quantité ne peut être qu'arbitraire et donc manipulable. Mais elle rend plus coûteux pour l'État le renforcement de la norme que ne peut le faire la réduction autoritaire des droits gratuits distribués. En revanche elle réduit les manipulations des entreprises qui jouent sur les droits en leur possession et la norme de respect d'émission qui leur a été allouée sous forme de droits gratuits. En effet le système des droits gratuits européen est manipulable. Si une entreprise d'un pays A achète des droits d'une entreprise d'un autre pays B, elle pourra émettre plus alors que l'entreprise du pays B émettra moins ou autant en payant la pénalité. En vertu des droits du grand père le pays A disposera de droits supplémentaires sans coût dans l'avenir alors que le pays B en aura moins ou autant. La suppression des droits gratuits lève ce type de problèmes.

La quatrième méthode consiste à émettre des droits gratuits qui seront rendus en partie à chaque fin de période de conformité et des droits payants de longue durée ou perpétuels. Le retour des droits gratuits sert alors à renforcer la norme qui est égale à la somme des droits gratuits et payants en circulation et sert à réguler la valeur de marché des droits payants. L'État fixe la norme globale qui doit être couverte par les droits payants et gratuits. En réduisant ces derniers, il oblige les entreprises à acheter des droits payants ou à payer la pénalité. Suivant la quantité de droits gratuits qu'il émet ou qu'il retire de la circulation, il peut gérer le prix. Mais le prix de début de période dépendra de la politique anticipée.

Évoquer ces systèmes amène à se demander comment sont déterminés le niveau et le taux de croissance du prix des droits selon les modalités juridiques définissant le marché et les formes de la concurrence.

3. L'ÉQUIVALENCE AU NIVEAU MACROÉCONOMIQUE

Jusqu'à présent l'équivalence entre la fiscalité environnementale et le marché des droits d'émission n'a été abordée que du point de vue des entreprises de sorte qu'elle ne concernait que la formation des prix et la technique de production. L'étendre au niveau macroéconomique pose des problèmes d'un autre ordre comme le bien être et la possibilité même d'organiser un marché nouveau des droits autonome.

La question du bien être est celle de l'équité. Les économistes distinguent deux dimensions : l'équité horizontale consiste à traiter de manière égale les individus ou les ménages ayant des revenus identiques et l'équité verticale à donner un poids plus grand dans l'utilité collective

aux ménages qui ont les revenus les plus faibles. L'équité est en général obtenue grâce à une politique de redistribution, c'est-à-dire renvoyée aux caractéristiques fines de la fiscalité. Nous ne traiterons ici que de l'équivalence macroéconomique qui concerne l'ensemble des ménages. La fiscalité individuelle permet de maintenir la répartition des revenus et donc l'équité horizontale tout en garantissant la neutralité des mesures envisagées.

L'organisation de marchés nouveaux se heurte à l'équivalence des formes de richesse et de financement. Si les actifs financiers nouveaux ne sont pas adossés à un bien réel rare, le marché ne peut donner une valeur intrinsèque objective à ceux-ci. Le prix est indéterminé, il est contingent et non nécessaire. Formellement, sur le marché de ces actifs, l'offre n'est pas indépendante de la demande en vertu de la loi de Walras. La détermination des prix de ces actifs ne peut provenir que d'une gestion du marché par la politique économique ou parce que ces actifs sont des actifs dérivés d'autres actifs réels pour lesquels il existe une offre indépendante de la demande. Du fait que l'oxygène n'est pas un bien rare, son offre est infiniment élastique et peut toujours s'adapter à la demande. Il n'y a donc pas de prix autonome de l'oxygène. Le prix des droits d'émission ne peut donc être déterminé que par une gestion économique active ou parce qu'ils sont considérés comme des options sur d'autres actifs. Dans le premier cas les droits d'émission sont une option par rapport à la fiscalité qui agit comme pénalité. Dans le second ils sont une option sur le changement de technique de production qui possède un coût irréversible.

Afin de discuter cette question nous envisagerons deux formes d'organisation des marchés. Dans le premier cas les droits d'émission peuvent être détenus par tous les agents et sont négociés sur un marché ouvert à tous. Ils sont considérés comme un facteur autonome dont la rémunération des services est a priori indépendante de la rémunération des services du capital. Dans le second les droits d'émission sont détenus uniquement par les entreprises, ils sont considérés comme des actifs nécessaires à l'usage du capital et comme tels donnent lieu à une rémunération des services identique à celle du capital.

Nous verrons que pour une valeur donnée des droits les conditions d'équivalence entre la fiscalité et les droits d'émission sont les mêmes dans les deux cas mais dépendent du niveau de la valeur des droits. Le premier système n'est pensable que si le niveau optimal de pollution possède une détermination objective qui est la valeur d'option du changement de technique correspondant à des coûts fixes et si la pollution doit être couverte par des droits payants privés de type coasien émis par les entreprises. La détermination est obtenue dans le second parce que l'État émet des droits payants par adjudication et impose une pénalité de dépassement.

La formalisation reprend le cadre théorique de la première partie en l'élargissant à l'ensemble de l'économie. Pour simplifier nous identifions environnement et pollution en supposant que le coefficient de production jointe est égal à l'unité. L'économie est fermée et comprend trois agents : l'État, les ménages et les entreprises.

L'État mène une politique écologique mixte en taxant la pollution P rejetée par les entreprises au taux θ et en instituant un marché de permis négociables. Afin d'engendrer le marché, il distribue des droits gratuits, en quantité P_0 , qu'il se réserve la possibilité de reprendre de manière discrétionnaire afin de resserrer la contrainte. À la lumière du résultat du premier paragraphe, nous supposons que ces droits sont proportionnels à la pollution effective $P_0 = e_0 P$. Dans le premier cas, le marché des permis est purement privé et de type coasien. Les entreprises émettent des actifs correspondant au niveau de leur pollution diminué des droits gratuits $P - P_0$, au prix q , qui sont achetés par les ménages en quantité P_M et par l'État en quantité P_G , de sorte que l'équilibre du marché est donné par : $P - P_0 = P_M + P_G$. Dans le second cas le marché est organisé par l'État avec des contraintes quantitatives. Les entreprises doivent acheter à l'État par adjudication les droits nécessaires à la couverture de leur pollution P^0 au prix q de sorte que l'équilibre du marché est donné par $P = P^0 + P_0$. Dans les deux cas la richesse de l'économie est identique à la situation sans droit mais sa répartition a changé selon les principes coasiens.

L'État lève aussi d'autres impôts T et procède à des dépenses G au prix p . Dans le premier cas le déficit budgétaire s'écrit : $DEF = pG - T - \theta P - (q(+1) - q)P_G$, dans le second $DEF = pG - T - \theta P$.

Les ménages en nombre I font un choix entre la consommation C au cours de la période et la richesse de fin de période $W(+1)$ tandis que la pollution P fournit un effet externe global négatif. Leur fonction d'utilité s'écrit : $U(C_i, W_i(+1)/p, -P)$ pour $i = 1, \dots, I$. La richesse est la somme du capital productif K_i et des droits d'émission P_i émis par les entreprises. Les ménages obtiennent un revenu brut R_i issu de la production et paient des impôts T_i tels que

$T = \sum_{i=1}^I T_i$. De ce fait la contrainte budgétaire s'écrit : $pC_i + W_i(+1) = pY_i - T_i + W_i$ tandis que

la richesse initiale est définie par $W_i = A_i + B_i$ où A_i sont les actions et B_i les droits d'émission. La valeur de la richesse dépend de la situation juridique. Lorsque les droits d'émissions sont de type coasien, émis par les entreprises et négociés par tous les agents (entreprises, ménages et État) sur un marché autonome indépendant de celui du capital productif, la richesse initiale se décompose de la manière suivante : $A_i = pK_i$ et $B_i = qP_i$. Lorsque les droits d'émission sont achetés par les entreprises et ainsi la propriété des propriétaires du capital, ils sont ajoutés au capital : $A_i = pK_i(1 + \frac{qP(1-e_0)}{pK})$ et $B_i = 0$. En fin

de période la richesse se décompose alors de manière différente : dans le premier cas :

$$W_i(+1) = pK_i(1 + \pi) + q(+1)P_i, \text{ dans le second : } W_i(+1) = pK_i(1 + \pi) \left[1 + \frac{qP(1-e_0)}{pK} \right].$$

Dans les deux cas, le rapport des utilités marginales à l'optimum est donné par :

$$\frac{U_{Ci}}{U_{Wi}} = \frac{1 + \pi}{\pi}$$

Mais dans le premier, en raison de l'apparition d'un nouveau marché auquel participent tous les agents, il s'ajoute une équation :

$$\frac{q(+1) - q}{q} = \pi$$

Si les marchés du capital et des droits fonctionnent de manière autonome et si les ménages peuvent détenir indépendamment l'un et l'autre actif, les rendements doivent être égaux quelle que soit la fonction d'utilité de chacun des ménages car nous avons négligé l'incertitude¹³. Ainsi dans tous les cas le taux de profit est la rémunération des droits.

La modélisation des entreprises procède des mêmes principes que ceux qui présidaient à la formalisation de la première partie. La fiscalité sur les dégagements est répartie entre le travail et le capital. Les droits à polluer émis par les entreprises de manière privée sont rémunérés sous la forme d'augmentation de la valeur des actifs. La question porte sur le statut des droits achetés à l'État. Les entreprises doivent les considérer comme du capital parce qu'il faudra en disposer constamment pour produire dans la suite. Ces droits sont de la richesse qui doit être rémunérée au même taux que les autres capitaux, le taux de profit servant de taux d'actualisation. Un capital public a été privatisé en lui donnant un prix. La rémunération de ces droits ne dépend pas de leur durée. S'ils doivent être rétrocédés à l'État en fin de période, il faudra les racheter. Tout se passe donc comme s'ils étaient perpétuels.

Considérons l'ensemble des entreprises indicées par (j) pour j allant de 1 à J . Supposons que les droits gratuits aient déjà été distribués selon la procédure du paragraphe 2. Dans le premier cas l'environnement est considéré comme un facteur indépendant. Le programme des entreprises est analogue à celui de la première partie mais sans contrainte quantitative. Le programme s'écrit :

¹³ Dans leur article, Jovet, Michel et Vidal (2002) expliquent que l'optimum de premier rang correspondant à la règle d'or ne peut être obtenu par la création d'un marché de droits. Leur argument est fondé sur le fait que ce marché ne pourrait fonctionner qu'avec un taux de rendement strictement supérieur au taux de croissance (page 148 où la population est constante). En fait leur raisonnement est erroné. Du point de vue technique la valeur de la production se décompose en consommation, achat du capital et achat de la rente environnementale (il manque un terme à l'équation (27) de la page 146, ce qui apparaît lorsqu'on décrit la première période). Dans le cadre de leur modèle, il faut introduire une rente à chaque période et acheter l'actif environnemental. La dynamique du prix de cet actif, selon leurs notations, est $p_t - \varphi_t = p_{t+1} - \varphi_{t+1}$. Le prix d'achat des jeunes tient compte de la rente qu'ils toucheront. Le prix des droits d'émission est constant. Pour une pollution donnée la quasi-rente est attribuée à cet actif au moment de la création du marché. Sans coût fixe on peut décentraliser un optimum avec bien public (Malinvaud, op. cit. p.183-187). Mais la cohérence temporelle est rompue au moment de la création de la fiscalité (il n'est point de repas gratuit : pour un comptable national les resto du cœur distribuent des repas non marchands qui ont un coût marchand). Le présent texte veut montrer qu'il faut l'imposer en raison de la nature non marchande de la pollution (annexe V par exemple).

$$\underset{p^{(i)}, K, N, E}{\text{Max}} \text{ PRO s. c. } Y = F(K, N, P)$$

$$\text{PRO}(j) = p(j)Y - wN - \pi pK - (q(+1) - q)(1 - e_0)P - \theta P$$

Dans le second cas l'environnement n'est pas un facteur et le profit (ou quasi-rente) devient :

$$\text{PRO}(j) = p(j)Y - wN - \pi [pK + q(1 - e_0)P] - \theta P$$

La discussion du modèle achevée, nous allons aborder l'équivalence macroéconomique. Nous dirons qu'une baisse de l'imposition environnementale remplacée par une réduction de la distribution des droits gratuits est neutre si elle l'est pour l'État, les ménages et les entreprises. Outre les prix et la technique, la substitution doit maintenir constant le taux de profit et le pouvoir d'achat des salaires ainsi que le déficit budgétaire.

Du fait des contraintes budgétaires, la neutralité est obtenue lorsque les quasi-rentes sont constantes, soit :

$$Q = \pi q(1 - e_0) + \theta = \text{Cste} \quad (11)$$

La fiscalité agit de la même manière que les droits payants sur les entreprises. Mais comme les droits sont rémunérés selon le taux de profit, le prix des droits doit être multiplié par ce dernier. Évidemment la répartition des revenus est affectée puisque la fiscalité est répartie entre le capital et le travail selon les productivités marginales de ces deux facteurs (voir les équations (7) et (8)) tandis que le coût des droits est affecté au capital uniquement en raison des droits de propriété des entreprises. Afin de garantir la neutralité pour les individus ou les ménages, il faut maintenir l'équité horizontale en modifiant la fiscalité sur les revenus du travail et du capital. Par exemple une baisse de la fiscalité environnementale sur les entreprises doit être compensée par une réduction des droits gratuits qui accroisse le coût des droits. La rémunération du capital augmente donc par rapport à celle du travail bien que le salaire et le taux de profit restent constants puisqu'une part plus importante de la rémunération de l'environnement est distribuée au capital. Pour maintenir l'équité, il faut réduire l'impôt sur les revenus salariés et accroître celui sur les revenus du capital.

La question de l'équivalence entre la fiscalité et les droits d'émission est donc la question de la détermination du niveau des prix de ces droits.

Nous allons montrer que ce prix n'est positif que s'il correspond à une valeur d'option du changement de technique lors de droits privés de type coasien émis par les entreprises ou une valeur d'option de la pénalité lors de droits émis par la puissance publique et achetés par les entreprises.

Tout d'abord, remarquons que si la fonction de production est continue et quasi-concave, ce qui est l'hypothèse faite usuellement, même si la pollution doit être couverte par des droits, le

prix de ces derniers est nécessairement nul dans un univers déterministe. En effet, par substitution des facteurs, un même niveau de production peut être obtenu avec un environnement élevé et une faible combinaison de capital et de travail ou vice versa. Lorsque le prix de la pollution est nul pour les entreprises, elle est considérée comme un effet externe. L'optimisation du profit consiste à choisir la combinaison de capital et de travail comme si la productivité marginale de l'environnement était nulle. Supposons qu'il existe un marché des droits. Appelons q_m la valeur minimale des droits si elle existe. L'optimum du profit est obtenu pour une productivité marginale de l'environnement consommé supérieure ou égale à ce minimum, soit $F_p \geq q_m$, ou encore $P \leq G_m(K, N)$. Le profit des entreprises, optimisé sous cette contrainte est donc inférieur au profit sans contrainte correspondant à une productivité marginale nulle. Les entreprises ont donc intérêt à offrir un prix inférieur à cette valeur minimale q_m . En conséquence, la demande d'environnement n'est pas bornée et son prix minimal ne peut être que nul.

Il en résulte que dans le cadre généralement admis de la formalisation des fonctions de production, le prix minimal de l'environnement, sans incertitude, est égal à la fiscalité : $Q_m = \theta$.

Pour qu'il existe un prix positif des droits, il faut faire des hypothèses plus restrictives sur le choix de la technique ou imposer une contrainte quantitative exogène.

Considérons d'abord le premier cas. Dans certains articles (voir Chao et Wilson (1993)), on fait l'hypothèse qu'il existe un coût marginal spécifique de changement de technique qui ne peut être attribué à aucun facteur de production en particulier. Ce coût introduit une irréversibilité de l'investissement. On changera de technique si elle réduit la pollution qui est coûteuse d'un niveau suffisant pour que le coût total y compris le coût fixe diminue. Mais il ne sera pas possible alors de revenir à l'ancienne technique, dont le coût sera nécessairement plus élevé¹⁴. L'État peut alors créer un marché privé des droits en commençant par fixer une fiscalité pour créer l'irréversibilité et en la réduisant ensuite marginalement de façon à la remplacer par un marché privé des droits en raison des coûts d'irréversibilité.

Pour le voir supposons que l'État ait fixé une fiscalité au niveau θ et que le prix initial des droits soit nul. Le niveau de production et de demande de facteur est déterminé par l'égalité des productivités marginales aux coûts des facteurs. Si l'État baisse la fiscalité de $\Delta\theta < 0$, les

¹⁴ On trouvera en annexe un modèle très simplifié du coût des droits comme valeur d'option lorsque les entreprises subissent un coût de changement de technique et qu'il existe de l'incertitude sur le niveau de production. Un exemple de cette situation est fourni par Rousse (2008), sur le marché de gros de l'électricité, pour décrire en outre une possibilité de manipulation du prix des droits d'émission. L'irréversibilité provient dans ce cas d'une technique Putty-Clay de production où les gains de substitution marginaux sur la génération nouvelle d'équipements qui peut-être installée sont très inférieurs aux coûts de déclassement des générations anciennes d'équipement dont la technique est figée. Comme il existe plusieurs méthodes de production de l'électricité, les variations des prix relatifs des intrants modifient le classement des générations. Il peut être intéressant de ne pas déclasser, de garder en réserve, d'abaisser le taux d'utilisation, de chercher à manipuler le prix de l'extrait.

entreprises ont deux possibilités, ne pas modifier leur technique de production ou le faire en supportant un coût $c(j)$. Dans le premier cas le profit augmente de $d(PRO) = -P\Delta\theta$. Dans le second elles modifient leurs demandes de facteur : elles accroissent leur pollution et réduisent leur demande de capital. Si on note α , β et γ la part initiale dans le revenu distribué du travail, du capital et de la fiscalité ainsi que v les rendements d'échelle initiaux, la production et les coûts varient de :

$$\frac{1}{v} \frac{dY}{Y} = \alpha \frac{dN}{N} + \beta \frac{dK}{K} + \gamma \frac{dP}{P} \quad \text{et} \quad \frac{dC}{C} = \alpha \frac{dw}{w} + \beta \frac{d\pi}{\pi} + \gamma \frac{dQ}{Q}$$

On montre alors, en utilisant les équations locales de demande de facteurs¹⁵ et le fait qu'au plein emploi $\frac{dN}{N} = 0$, que $\frac{dY}{Y} = 0$ (condition d'équivalence) et que $\frac{dC}{C} = \gamma \frac{dQ}{Q} (1 - \frac{\sigma_1}{\beta\sigma_2})$ où σ_1 et σ_2 sont les élasticités locales de substitution de la demande de travail par rapport au prix du capital et de la pollution. Comme $\frac{dQ}{Q} = \frac{\Delta\theta}{\theta} < 0$, le profit augmente de

$$d(PRO) = -(\gamma \frac{\Delta\theta}{\theta} (1 - \frac{\sigma_1}{\beta\sigma_2}))C - c(j).$$

Si les coûts de changement de technique sont importants par rapport à la variation de la fiscalité, les entreprises ont intérêt à ne pas modifier la technique de production (car le gain de profit serait inférieur au coût fixe) et à distribuer la baisse des coûts sous forme d'une quasi-rente ou d'une rémunération de droits d'émission : $\pi qP = -P\Delta\theta > 0$ ¹⁶. Ainsi L'État peut créer un marché en procédant en deux étapes. Il commence par introduire une fiscalité qui provoque des économies de pollution. Ensuite, il réduit progressivement cette fiscalité suffisamment faiblement pour que les entreprises n'aient pas intérêt à revenir sur leurs investissements de dépollution (en raison des coûts d'irréversibilité) mais à distribuer les revenus supplémentaires sous la forme d'un marché de droits échangeables de type coasien. La valeur de ces actifs représente la valeur d'option. Cette stratégie correspond à la fondation du marché autonome des droits que nous avons évoqué précédemment.

Dans le second cas, l'État impose une norme aux entreprises, impose de la couvrir par des droits payants et fixe une pénalité h en cas de dépassement. Les entreprises peuvent là encore choisir entre deux stratégies. Soit elles maintiennent leurs émissions de sorte que le coût est

¹⁵ Les demandes locales de facteurs sont de manière générale de la forme : $\frac{dN}{N} = \frac{1}{v} \frac{dY}{Y} - \beta\sigma_1 (\frac{dw}{w} - \frac{d\pi}{\pi}) - \gamma\sigma_2 (\frac{dw}{w} - \frac{dQ}{Q})$, etc..., où σ_1 et σ_2 sont les élasticités de substitution.

¹⁶ Dans l'annexe IV, la constance du profit est représentée par la constance de la productivité marginale A qui est exogène et la constance de la production correspond la constance de l'espérance \bar{x} de la demande. Des coûts fixes « a » importants impliquent que la technique est conservée parce que la baisse du prix des droits grâce à la baisse de la fiscalité est insuffisante pour l'amener en dessous de la valeur d'option.

$(h - q)(P(1 - e_0) - \bar{P})$ où P sont les émissions effectives, e_0 la part des droits gratuits et \bar{P} la norme ; soit elles modifient leur technique de production de façon à remplir la norme mais leur coût est celui du changement de technique $c(j)$. La valeur d'option est alors celle qui égalise les deux coûts, soit : $q = h - \frac{c(j)}{P(1 - e_0) - \bar{P}}$. C'est le prix maximum que les entreprises sont prêtes à payer pour maintenir leur technique de production.

En conclusion, pour que le prix des droits d'émission soit déterminé, il est nécessaire que le changement de technique ait un coût indépendant du coût des facteurs et que l'État mène une politique fiscale environnementale active. La création d'une fiscalité environnementale importante crée le gisement d'économie d'environnement qui peut faire naître un marché de droits de type coasien par substitution à la fiscalité. La fixation d'une norme quantitative assortie d'une pénalité permet de créer un marché dont le prix est la valeur d'option du respect de la norme à condition que les droits soient payants. La création du marché des droits est seconde par rapport à la fiscalité.

En régime permanent, lorsque ces conditions sont remplies, la baisse de la fiscalité de 1% peut être compensée par une baisse des droits gratuits de $1/\pi q\%$ car cette mesure laisse inchangé le cours des droits comme le montre la différentiation de la formule (11) :

$$\pi q \Delta e_0 = \Delta \theta$$

Mais les conditions mêmes de cette équivalence sont plus importantes. En effet nous avons vu que le prix des droits ne peut être fondé en macroéconomie comme un prix de marché mais comme une valeur d'option. Cette conception est importante dans la mesure où, en matière de pollution, notamment pour les entreprises productrices d'énergie, l'alternative consiste à choisir entre des techniques peu polluantes, ayant d'importants coûts fixes en raison des indivisibilités, et des techniques sans coûts fixes plus polluantes. Il existe souvent deux types d'équilibres selon qu'on produit sans coûts fixes ou qu'on utilise les deux techniques. On peut chercher à réduire la pollution en développant les éoliennes selon une filière sans coût fixe ou en installant des centrales nucléaires en plus dont les indivisibilités sont flagrantes. La valeur d'équilibre souhaitable des droits à polluer et de la fiscalité est celle pour laquelle le coût effectivement payé de la pollution est la valeur d'option qui laisse la liberté de choix entre les deux équilibres.

Historiquement la valeur d'option du programme nucléaire français a été construite grâce à une politique mixte complexe délibérée. L'entreprise était nationalisée et utilisait des tarifs au coût moyen en développement discriminant¹⁷. L'État ne la subventionnait pas mais fournissait

¹⁷ J. C. Hourcade (1991) décrit l'irréversibilité provoquée par les coûts en développement incluant des coûts fixes sous forme de l'apologue de la forêt. On trouve la même problématique dans les économies de réseaux comme les chemins de fer, l'augmentation du nombre de voyageurs conduisant à ajouter des wagons, des trains, des lignes nouvelles irréversibles.

sa caution afin qu'elle puisse s'endetter au taux minimal international. Les carburants ont été fortement taxés et la politique de franc faible (dévaluation de 1969, puis réalignements dans le SME) renchérisait le prix des énergies alternatives et accroissait la demande d'électricité adressée à cette entreprise. En Allemagne au contraire la politique du Mark fort s'est traduite par un maintien de la consommation de produits pétroliers¹⁸. Deux pays et deux équilibres politicoéconomiques alternatifs. La construction européenne, avec monnaie unique, renouvelle la question. Ou bien on utilise deux catégories de droits (ce qui ne semble pas justifiable au niveau européen), ou bien on attribue des droits gratuits aux producteurs d'électricité nucléaire (ce qui veut dire qu'on réduit les droits des autres producteurs, la norme française est de 0%, celle de l'Allemagne de 8%), ou bien on subventionne les coûts fixes, ou bien on augmente les prix. La première et la troisième solution semblent écartées par les institutions européennes. La deuxième remet en cause le principe de distribution des droits dit du grand-père.

4. COORDINATION EUROPÉENNE

Afin de traiter de la coordination européenne nous introduisons un modèle dont la pollution (ici uniquement les dégagements de gaz carbonique) est déjà un bien marchand ayant un prix ce qui nous amène à achever le renversement de la problématique en prenant l'environnement comme numéraire et en lui appliquant la loi de Walras. Le prix des rejets sert à calculer les prix relatifs par rapport au prix de l'environnement implicite sous-jacent. Il existe déjà, avant d'étudier la question, une taxation et/ou un prix non nul des droits de rejeter des déchets qui permettent d'afficher un prix de la tonne de dioxyde de carbone qui n'est pas un bien libre. Ce prix est la somme de la taxation et du cours des droits multiplié par le taux de profit comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent. La politique monétaire sert à gérer le taux de croissance des prix et non pas le niveau des prix. Cette politique est ainsi cohérente et non contradictoire avec les droits d'émission payants.

4.1. Le modèle générique simplifié

On se place dans un monde à deux pays de taille égale que nous noterons A et F pour faire image. La France par exemple produit en consommant l'environnement avec une technologie à coûts marginaux constants et une technologie à coûts fixes, tandis que l'Allemagne n'utilise que la technologie à coûts marginaux constants. Il existe dans ces pays 3 biens, l'environnement E , le bien noté (1) produit avec des rendements constants et celui produit avec des rendements croissants noté (2). La pollution ne provient que de la première technique (centrales à énergie fossile par exemple) tandis que la seconde n'est pas polluante mais présente des coûts fixes indivisibles (centrales nucléaires par exemple). Ce modèle est

¹⁸ La consommation d'hydrocarbures est passée en France de 74,6% à 47,3% de 1973 à 2005, alors qu'en Allemagne elle passait de 56,6% à 59,1% (Energy Balance, 2004-2005, pages II-61, 65).

évidemment très frustré et a un but purement pédagogique¹⁹. Les utilités des consommateurs des deux pays sont notées : $U_j = U_j(C_{1,j}, C_{2,j}, -P)$ pour $j = (F, A)$ avec $U_{i,j} > 0$.

La production en France est donnée pour la technique à coefficient constant par :

$$y_{1,F} = aE_{1,F}$$

Pour la production du bien (2) la consommation d'environnement est :

$$E_{2,F} = b + cy_{2,F} \text{ si } y_{2,F} > 0$$

$$E_{2,F} = 0 \text{ si } y_{2,F} = 0$$

L'Allemagne ne produit qu'avec la première technique selon la fonction de production :

$$y_{1,A} = aE_{1,A}$$

La pollution engendrée par la France est $P_F = P_{1,F} = dE_{1,F}$, celle de l'Allemagne $P_A = P_{1,A} = dE_{1,A}$, le total en Europe est la somme des deux $P = d(E_{1,A} + E_{1,F})$. Les centrales nucléaires consomment de l'environnement en rejetant des déchets et des eaux chaudes qui ne provoquent pas d'effets de serre. L'effet externe des centrales nucléaires n'est donc pas global mais local au sens où nous supposons ici que les déchets radioactifs sont enterrés dans le propre pays où la matière première a été utilisée et où on suppose que la nuisance ne se transmet pas à l'autre pays (on ne traite pas la question du Rhin ou de la Meuse qui montrent que les frontières politiques ou militaires naturelles ne sont pas les mêmes que les frontières naturelles pour l'économie, voir annexe 2). L'environnement total vaut $E = E_F + E_A = E_{1,A} + E_{1,F} + E_{2,F}$. La production jointe de pollution n'est pas proportionnelle à la consommation de l'environnement. On travaillera à pollution constante car on étudie les politiques de répartition à l'intérieur de l'Europe des normes du protocole de Kyoto.

À l'équilibre pour les biens on a :

$$C_{1,F} + C_{1,A} = y_{1,F} + y_{1,A}$$

$$C_{2,F} + C_{2,A} = y_{2,F} + y_{2,A}$$

¹⁹ La fiscalité environnementale est décroissante en part de PIB en France et plus faible qu'en Europe où elle augmente en part de PIB. Le financement des coûts fixes en France a été obtenu par d'autres sources fiscales comme les accises. Laurent et Le Cacheux (2007) proposent sur ce constat une politique mixte de fiscalité et de droits d'émission, mais il ne la justifient pas par le fait que la réduction de la pollution doit passer simultanément par la réduction des émissions marginales et par le financement de coûts fixes pour changer de technique.

Il existe déjà une fiscalité environnementale qui donne un prix implicite à l'environnement. On peut donc prendre l'environnement comme numéraire $p_E = 1$.

4.2. Équilibre non coopératif par la fiscalité

L'Allemagne maximise l'utilité de ses consommateurs sous la contrainte de l'équilibre des offres et des demandes de biens, de l'équilibre de l'environnement, en tenant compte du fait que son équilibre politicoéconomique consiste à ne pas produire avec la technologie à coûts fixes. La fiscalité environnementale initiale sur les ménages est nulle (on raisonnera en variation). Son programme s'écrit :

$$\underset{C_{1,A}, C_{2,A}, P}{Max} U(C_{1,A}, C_{2,A}, -P) \text{ s.c.}$$

$$U_F(C_{1,F}, C_{2,F}, -P) = \bar{U}_F$$

$$C_{1,F} + C_{1,A} = y_{1,F} + y_{1,A}$$

$$C_{2,F} + C_{2,A} = y_{2,F} + y_{2,A}$$

$$P = d(E_{1,F} + E_{1,A})$$

$$y_{1,A} = aE_A$$

En éliminant les multiplicateurs de Lagrange on obtient :

$$\frac{U_{3,A}}{U_{1,A}} + \frac{U_{3,F}}{U_{1,F}} = \frac{a}{d} \text{ (relation de Samuelson)}$$

$$p_1 = \frac{1}{a}, p_2 = c \text{ et } t_A = 0$$

$$\frac{U_{1,A}}{U_{2,A}} = \frac{U_{1,F}}{U_{2,F}} = \frac{p_1}{p_2}$$

La France produit avec les deux technologies. Elle prélève pour cela un impôt t_F sur les ménages qui sert à subventionner les entreprises qui produisent avec un coût fixe de façon à ce qu'elles puissent fixer leurs prix en fonction du coût marginal. L'équilibre politicoéconomique de la France est donné par le programme suivant :

$$\underset{C_{1,F}, C_{2,F}, P}{Max} U(C_{1,F}, C_{2,F}, -P) \text{ s.c.}$$

$$U_A(C_{1,A}, C_{2,A}, -P) = \bar{U}_A$$

$$C_{1,F} + C_{1,A} = y_{1,F} + y_{1,A}$$

$$C_{2,F} + C_{2,A} = y_{2,F} + y_{2,A}$$

$$P = d(E_{1,A} + E_{1,F})$$

$$y_{1,A} = aE_A$$

$$E_{2,F} = b + cy_{2,F}$$

En éliminant les multiplicateurs de Lagrange on obtient :

$$\frac{U_{3,A}}{U_{1,A}} + \frac{U_{3,F}}{U_{1,F}} = \frac{a}{d} \text{ (relation de Samuelson)}$$

$$p_1 = \frac{1}{a}, \quad p_2 = c \text{ et } t_F = b$$

$$\frac{U_{1,A}}{U_{2,A}} = \frac{U_{1,F}}{U_{2,F}} = \frac{p_1}{p_2}$$

Cet équilibre non coopératif puisque chaque État redistribue les impôts aux agents nationaux, est réalisé par le commerce extérieur communautaire où règne la monnaie unique.

4.3. La coordination par la création des droits d'émission

La création de droits d'émission européens au prix q modifie ce schéma et met en œuvre une certaine coopération que nous allons décrire. Pour un même niveau de pollution européenne, supposons qu'on remplace la fiscalité française par des droits européens. Le nouvel équilibre s'établit à des prix différents, mais il correspond à la même utilité :

$$p_1' = \frac{1+dq}{a}, \quad \frac{p_2' - p_2}{p_2} = dq > 0, \quad p_2' = \frac{1+dq}{a} \frac{U_{2,j}}{U_{1,j}}$$

Pour compenser la fiscalité, il faut que

$$\frac{p_2' - p_2}{p_2} = \frac{b}{c} = dq \text{ avec } t_A = t_F = 0$$

Ainsi pour maintenir la production et le niveau de pollution il faut remplacer l'impôt prélevé sur les ménages français par une émission de droits payants qui accroisse le coût de la production en Europe uniformément (en première approximation). Dans le premier cas les Français supportent seuls le coût de la technique moins polluante et dans le second les Européens se partagent ce coût car les Allemands sont importateurs de biens produits avec des coûts fixes. Il est impossible d'allouer des droits gratuits aux entreprises ayant des coûts fixes car la consommation d'environnement n'est pas observée, seule la pollution l'est. Les principes de remplacement de la fiscalité par les droits d'émissions sont les mêmes que ceux qui sont proposés dans la partie III. Ces derniers sont émis par adjudication en prohibant toute émission de droits gratuits, en faisant payer la pollution dès le premier litre. La redistribution fiscale du produit des droits conduit à des équilibres qui ne sont pas comparables du point de vue parétien. La neutralité externe implique que la totalité du produit des enchères ne soit pas redistribuée sous forme de baisse de la fiscalité de façon à maintenir le pouvoir d'achat des ménages, car les prix du reste du monde n'augmentent pas. Si l'Europe est price maker à l'exportation et price taker à l'importation et au voisinage de l'équilibre externe, le montant des impôts non redistribués doit être égal, en première approximation, à la somme des exportations et des importations multipliée par la hausse des prix en Europe, calcul aisé à effectuer et intrinsèque.

4.4. La coopération par la fiscalité européenne

On remplace l'impôt sur les ménages français par un impôt sur l'ensemble des français et des allemands tout en maintenant les subventions aux entreprises françaises. Le résultat est curieusement le même si la fiscalité est forfaitaire. Cela provient du commerce extérieur interne à l'union monétaire. Ce transfert se traduit par un flux inverse d'endettement. La neutralité et l'équivalence entre la fiscalité et les droits d'émission européens dépend crucialement du fait que les pays acceptent ou non des transferts de richesse entre eux. Il est clair que, tant que les nations existeront, les pays européens ne peuvent être considérés comme des régions d'une même nation et que le commerce extérieur reste un objectif intermédiaire de l'objectif de richesse malgré la monnaie unique.

On peut remplacer les subventions par un impôt proportionnel aux dégagements dans chaque pays. La situation est équivalente en première approximation à la création du marché des droits d'émission payants si les adjudications ne s'accompagnent d'aucun droit gratuit. En effet le coût marginal de l'environnement devient $c = 1 + d\theta$ où θ , le taux de la fiscalité environnementale, est calculé en fonction des coûts fixes. Il y a encore un transfert de revenu. La hausse des prix dans les deux cas provoquera une perte de compétitivité vis à vis du reste du monde qui peut être compensée par une dévaluation de l'Euro.

On notera que la question environnementale peut-être rapprochée et même liée à la politique agricole commune où la fiscalité et les subventions jouent le même rôle. Les coûts fixes sont remplacés par la rente ricardienne différentielle agricole foncière sur les terres les plus fertiles. L'écart entre le prix d'intervention et les prix mondiaux est analogue à l'écart entre les prix européens et mondiaux de l'énergie qui couvre les coûts fixes et les achats de droits

d'émission ou la fiscalité environnementale spécifique. Les quotas d'émission sont l'équivalent des quotas maximum de production agricole. Les dépassements se paient dans le premier cas en pénalité sur la tonne de dégagement de gaz carbonique et dans le second en jachère ou destruction de la production ou perte de subvention. En raison de sa densité démographique la France a des coûts fixes plus importants. Mais à l'inverse, l'agriculture produit un effet externe public positif uniquement national : la terre agricole, que n'arrivent pas à produire les économies sahéliennes²⁰. On peut désirer (mais on peut aussi le redouter si on est ricardien) maintenir constante la rente agricole parce que la réduction des emblavures nécessite d'entretenir par du jardinage les terres en friche. Il existe un coût de réduction des surfaces qui ne peut être compensé, partiellement ou au contraire en excès, que si on peut remplacer les cultures (de montagne) par des stations touristiques (de ski). La réduction des surfaces en plaine ne réduit les coûts que si on remplace les terres ensemencées par des résidences secondaires louées ou vendues à des ressortissants européens ou par des installations hôtelières accueillant les touristes étrangers (transferts de richesse internationaux qui compensent la suppression des aides selon le schéma du modèle présenté). Les politiques actuellement en œuvre sont bien connues et il ne s'agit pas ici de les évaluer mais d'expliquer par des exemples frustrés la question des équivalences de politiques en présence de coûts fixes, en supposant évidemment que les choix alternatifs ne résultent pas de groupes de pression contingents, mais que l'existence de ces groupes de pression trouve son origine dans une situation objective. Ici les coûts fixes (perdus ?) (et/ou les rentes) sont les causes premières et les groupes de pression les causes secondes. La comparaison avec l'agriculture est plaisante et s'arrête au mode de financement (asymétries entre les subventions et la taxation nationales, prix d'intervention européens et quotas). En effet l'environnement n'a pas de coût d'opportunité alternatif marchand évident et immédiat comme les activités alternatives à la jachère. La différence provient aussi du commerce extérieur. Alors qu'il n'y a pas de commerce extérieur de la pollution car c'est un bien public, l'Europe est importatrice nette d'énergie et exportatrice nette de produits agricoles. La hausse du prix de l'énergie (si elle est mondiale) n'a pas d'effet ex ante sur la compétitivité (rapport des prix des exportations aux prix étrangers) et abaisse le coût d'opportunité de la réduction de la pollution alors que la hausse des prix agricoles accroît la profitabilité à l'exportation (rapport des prix à l'exportation sur les prix intérieurs). Dans les deux cas la hausse des cours mondiaux plus forte que celle de l'Euro en dollar lève une partie de la contrainte en augmentant compétitivité et profitabilité. Mais ces questions dépassent le propos de ce texte.

5. L'ÉQUIVALENCE TERNAIRE ENTRE LES TAXES SUR LA POLLUTION, LE CAPITAL ET L'ÉNERGIE

Selon l'analyse précédente, la réalisation d'un objectif d'environnement a un coût qu'il s'agit de répartir de manière équitable, en partie par la fiscalité, selon un critère ajouté comme le principe pollueur-payeur, les droits acquis, le principe de souveraineté. Comme la réalisation de cet objectif est manipulable et pas spontanée, nous avons proposé la création d'une taxe

²⁰ Le bas prix du riz dont bénéficient les citadins réduit la rentabilité de la culture vivrière (millet). Les terres marginales abandonnées à la jachère, dont la rente ne suffit plus à payer l'entretien, sont livrées à la désertification ?

initiale dès les premières unités de pollution qui a un coût. Selon un autre point de vue développé par Porter et van der Linde (1995), ce coût pourrait être très faible, et même disparaître, si on adoptait une vue plus large endogénéisant le progrès technique à l'origine des réductions de pollution. Si celui-ci a un coût privé à court terme, il a un effet bénéfique public à long terme. Les réductions d'émissions n'auraient ainsi aucun effet négatif sur la croissance. La taxation de la pollution pourrait servir à financer le progrès technique réducteur de pollution, mais aussi, par contiguïté, les techniques sources de croissance. Finalement, le dilemme entre pollution et compétitivité se ramènerait à la question du « double dividende », souvent évoquée dans le domaine, la « distorsion négative » de la taxe étant plus que compensée par la « distorsion positive » de la subvention pour la recherche et le développement. Poursuivons le raisonnement. La taxation des ressources non renouvelables comme les énergies fossiles aurait ainsi l'avantage de réduire la pollution qui est complémentaire de la consommation d'énergie fossile et d'encourager les techniques économes en énergie. Il serait inutile d'ajouter une taxe environnementale aux impôts existants, d'autant plus que la raréfaction des énergies fossiles, en augmentant le prix, amènerait spontanément au résultat souhaité. Tout au plus peut-on influencer le sentier spontané en accélérant ou en ralentissant le processus.

Cette argumentation fait implicitement plusieurs hypothèses. Tout d'abord, la quantité des énergies fossiles est finie. Ensuite le progrès technique ne peut compenser leur épuisement. Enfin la pollution dépendrait directement des énergies fossiles. Économiser les secondes, c'est réduire la première. Les taxes environnementales existent déjà, ce sont les taxes explicites et implicites sur l'énergie.

Ces hypothèses sont contestables. À l'horizon où il est possible de faire un calcul économique, les ressources naturelles sont accumulables. La pollution dépend autant de leur usage que du niveau de leur consommation. Les techniques de dépollution sont spécifiques et distinctes des techniques de production car la pollution est une production jointe.

Lever ces hypothèses revient à construire un modèle où les techniques de dépollution sont distinctes des techniques de production des biens. Les facteurs de production (capital et travail) peuvent servir autant à produire les biens qu'à accroître les techniques de dépollution ou les réserves de ressources naturelles. Dans ce cas, l'équivalence ne peut être binaire, mais au minimum ternaire, entre taxe sur les ressources, taxes sur la pollution et taxes sur les facteurs dans les trois secteurs primaire de ressources naturelles, secondaire de biens et tertiaire de techniques.

Dans ce modèle, présenté en annexe V, la taxation sur l'environnement est nécessaire car sans elle la pollution ne serait pas prise en compte dans les décisions économiques décentralisées. Mais même si on affecte son produit au financement de la recherche pour la dépollution, elle s'avère insuffisante. En effet la valeur marchande des innovations, sauf si cette activité est nationalisée, ne peut être égale qu'à ce que les entreprises industrielles sont prêtes à payer pour éviter la taxation prélevée par ailleurs par l'État. Le financement de la recherche est insuffisant et doit être complété par d'autres financements afin de rémunérer les facteurs

(capital et travail) investis dans l'activité de recherche et de développement. Les taxes environnementales sont insuffisantes pour financer la totalité de cette activité. Cette situation provient du caractère public de la pollution et de l'activité de recherche et de développement. Le financement des découvertes de ressources naturelles est de nature différente. Les concessions de recherche étant privatisées et le stock de réserves étant de même substance que les flux de consommation, le financement des explorations peut être acquis grâce à une rente de monopole acquise par un accroissement du prix de vente de l'énergie par exemple. Ce mécanisme opère un transfert de revenu de l'industrie vers les secteurs primaires et correspond au paiement d'une rente. Mais les rentes de matières premières sont suscitées spontanément par l'économie parce qu'il existe une demande indépendante de l'offre. En revanche les rentes d'innovation pour la dépollution ne sont pas spontanées car l'offre n'est pas indépendante de la demande. Une subvention en sus de la taxe est nécessaire pour susciter une offre qui s'ajuste à la demande, c'est-à-dire créer un transfert de revenus du travail et du capital industriel vers les rentes d'innovation immatérielles.

Nous allons proposer une intuition de la démonstration développée dans un modèle complet en annexe V. L'économie comprend trois secteurs (industrie, recherche et énergie). Les facteurs de production sont regroupés sous la dénomination de capital d'une part et d'énergie. La pollution est jointe. Les rendements d'échelle de la production industrielle sont égaux à l'unité de même que ceux du capital pour produire des techniques ou des ressources nouvelles. Les techniques anciennes et les gisements anciens sont la base des innovations et des explorations. Le taux de croissance du progrès technique pour la production des biens industriels est exogène.

En l'absence de politique environnementale la pollution croît au rythme de la production. Les ressources naturelles sont maintenues grâce à une rente prélevée sur les revenus issus de la production industrielle. La règle simple dite de Hotelling ne s'applique plus. Le taux de croissance du prix de l'énergie n'est pas égal au taux de profit, mais lui est inférieur d'un montant égal à la productivité de l'exploration.

La politique de taxation de la pollution permet d'atteindre un objectif de pollution. Pour obtenir un montant constant, il est nécessaire de subventionner l'activité de dépollution et ce financement dépend du taux de croissance garanti, car l'accroissement des techniques doit compenser l'accroissement de la production. De ce fait le capital investi dans l'innovation est proportionnel au taux de croissance. Pour obtenir cet objectif il est nécessaire d'utiliser simultanément les fiscalités sur la pollution, le capital et les matières premières. L'équivalence fiscale entre ces trois impôts dépend du niveau du taux de profit. En effet, fixer une norme de pollution revient à fixer la quantité de capital qui devra être détournée vers la création de techniques nouvelles. Mais la rémunération de ce capital doit être analogue à celle que procure le placement dans les ressources naturelles ou le secteur industriel.

Supposons que la croissance des techniques A et des ressources S soit obtenue à l'aide du capital K_2 et K_3 selon les fonctions de production $\frac{\dot{A}}{A} = \lambda K_2$ et $\frac{\dot{S}}{S} = \mu K_3 - \frac{R}{S}$, où R est la

consommation des ressources alors que les techniques ne se déclassent pas. Les rentes unitaires de l'exploration doivent être égales au taux de profit et égales aux revenus (dividendes) que procurent les ressources additionnés des plus-values (la règle de Hotelling doit être modifiée) :

$$v(S) = \pi = \mu K_3 + \frac{\dot{p}_S}{p_S}$$

où p_S est le prix du stock des matières premières.

De plus la valeur des découvertes doit rémunérer le capital investi :

$$p_S \dot{S} = (1+k)K_3$$

où $(1+k)\pi$ est le taux de profit exigé par le capital avant impôts (k est le taux de fiscalité du capital).

Dans le secteur des innovations les rentes unitaires d'une technique ont la même expression :

$$v(A) = \pi = \frac{\theta P}{p_A A} + \frac{\dot{p}_A}{p_A}$$

où θ est le taux de taxe sur la pollution, P le niveau de la pollution, p_A le prix des techniques et A leur niveau. Le premier terme représente les dividendes unitaires (la valeur globale de la taxation de la pollution versée en subvention divisée par la valeur des techniques) et le second les plus values.

Comme la fonction de production des techniques est homogène, le revenu que procure une technique nouvelle est intégralement versé au capital, soit :

$$p_A \dot{A} = p_A \lambda K_2 A = (1+k)\pi K_2$$

On en déduit que :

$$v(A) = \pi = \frac{\lambda \theta P}{(1+k)\pi} + \frac{\dot{p}_A}{p_A}$$

À l'équilibre les prix relatifs sont constants :

$$\frac{\dot{p}_A}{p_A} = \frac{\dot{p}_S}{p_S} = \frac{\dot{\pi}}{\pi}$$

Le niveau de croissance désiré g fixe le niveau de capital qu'il faut investir dans les techniques nouvelles : $K_2 = \frac{g}{\lambda}$. Le niveau de consommation des ressources naturelles R fixe le montant de capital qu'il faut investir dans l'exploration pour maintenir constante la ressource $S = S_0$: $K_3 = \frac{R}{\mu S_0}$.

On en déduit, pour un niveau de pollution donné, une relation entre les fiscalités sur le capital et la pollution et la consommation de ressources naturelles : $\frac{\lambda \theta P}{(1+k)\pi} = \frac{R}{S_0}$.

Comme la substitution du capital aux ressources naturelles dans le secteur industriel dépend de la fiscalité relative entre le capital et les matières premières, cette relation est en fait une liaison entre les trois fiscalités.

Enfin, la contrainte budgétaire de l'État consiste à distribuer la totalité des trois taxes afin de subventionner le secteur de recherche et de développement. Techniquement, la compatibilité de ce financement avec l'exigence de placement du capital dans l'accroissement des techniques se solde sur le niveau du capital industriel. En d'autres termes, le maintien de la croissance accompagné d'une réduction de la pollution est payé par les ménages sous forme d'une réduction de la consommation sans que la croissance soit modifiée et sans que la rentabilité des entreprises soit affecté. Le coût est donc celui d'une réallocation des ressources et il n'est pas supporté par les entreprises.

La contrepartie de ce coût est évidemment le gain d'utilité des ménages en terme de réduction de la pollution. Ce gain est non marchand²¹ puisque l'environnement est un bien public : l'optimalité de la solution n'est pas mesurable, sauf à connaître un prix absolu de la pollution que l'économie pure ne peut déterminer.

Cette relation ternaire contredit délicieusement la pseudo-citation mise en exergue.

CONCLUSION

Usuellement l'équivalence entre fiscalité et droits d'émission est abordée sous l'angle de la distorsion des prix qu'introduit la fiscalité. On identifie les droits à la fixation de quotas. Il s'agit alors de comparer le coût d'une hausse de la fiscalité au coût d'une baisse des émissions ou abattement. L'écart entre les deux a deux origines. En premier lieu il provient de la fiscalité existante qui sert à financer les dépenses publiques. Par exemple, pour un pays comme la France où les dépenses publiques et les impôts sont plus élevés qu'aux États-Unis,

²¹ La pollution est un bien non marchand qui n'intervient pas dans la contrainte de revenu, de ce fait le taux d'épargne traditionnel, non corrigé de la valeur implicite de la pollution, reste la variable pertinente pour décrire les sentiers dynamiques de l'économie.

le coût marginal, en terme de distorsion fiscale, est plus élevé. La taxation de la pollution permet de réduire les autres impôts ainsi que le coût marginal des fonds publics. En second lieu, le niveau initial des émissions n'est pas neutre, car un pays, comme les États-Unis, ayant des émissions importantes, présente des coûts marginaux d'abattement réduits. La fixation des quotas est avantageuse car il est vendeur net de droits d'émission. Dans cette optique (voir Bernard et Vielle, 2000), l'équivalence dépend du niveau initial de la fiscalité et des émissions. La taxation a un coût macroéconomique plus faible que les droits lorsque la fiscalité initiale est élevée et les émissions polluantes faibles (et vice-versa). On ne peut donc fonder l'organisation d'une politique économique universelle sur la comparaison entre le coût d'abattement et le coût fiscal. On ne peut que constater les transferts que cela provoque. Ces transferts ne sont neutres que si l'équivalence de Coase s'applique, c'est-à-dire si les transferts de richesse entre nations n'importent pas ou s'ils peuvent être compensés par l'endettement extérieur. Mais alors un pays qui possède des droits excédentaires pourrait les utiliser comme garantie pour s'endetter, introduisant ainsi des complémentarités.

En outre, les quotas d'émission mondiaux sont fixés selon un modèle qui égalise les coûts de réduction des émissions aux coûts en bien-être, lesquels ne peuvent être « théoriquement » connus que lorsqu'on met en œuvre, en la décentralisant, la politique en créant une fiscalité ou en organisant un marché. Dans ce dernier cas, les actifs devraient être possédés par les agents optimisant une utilité, donc principalement les ménages, de façon qu'ils puissent échanger ces actifs contre des biens. On est encore loin d'une fiche de paie individuelle qui inclurait des actifs d'environnement. De ce fait les normes d'environnement effectives sont arbitraires et ne seront déterminées que par tâtonnement.

C'est pourquoi nous avons déplacé la problématique de l'équivalence entre fiscalité et coût marginal d'abattement vers celle de l'équivalence entre fiscalité et marché des droits d'émission, pour une pollution arbitraire donnée, afin d'en faire une question d'économie pure.

L'équivalence devient la question de l'évaluation du taux de profit et du prix des droits, c'est-à-dire de la manière dont les réductions d'émissions s'imposent. La non-équivalence provient de la mise en œuvre de la politique. La fiscalité est à la source, le marché des droits est second parce que l'offre n'est pas indépendante de la demande et qu'elle est manipulable. De plus, le prix des droits reflète les coûts marginaux d'abattement, alors qu'il existe des écarts entre fiscalité et coûts d'abattement en raison des coûts fixes et des subventions. Le marché des droits doit être affecté aux réductions marginales et la fiscalité aux réductions moyennes. La fiscalité reflète un choix parmi plusieurs équilibres tandis que le coût des abattements reflète un choix marginal de technique de production. La fiscalité environnementale nouvelle ou le prix des droits sont des valeurs d'option d'un changement de technique.

La question du double dividende fiscal perd de sa pertinence car la fiscalité environnementale ne se substitue pas aux autres, mais est partiellement complémentaire. Elle est en effet insuffisante à financer les innovations limitant la pollution car, si elle peut payer les rentes d'innovation, la fiscalité existante doit être mise à contribution pour déplacer les facteurs de production vers les innovations.

ANNEXE I : LE MARCHÉ EUROPÉEN DES DROITS ÉCHANGEABLES

Le système d'allocation des droits

Le système, appelé EUETS (European Union Emission Trading Scheme, Schema de commerce des droits d'émission européen) couvre les émissions de gaz carbonique des gros émetteurs des branches énergie et biens intermédiaires. La taille minimale des entreprises assujetties est fixée en fonction de la valeur ajoutée. Après une phase d'essai de 2005 à 2007, il porte sur une période de 5 ans allant du début 2008 à la fin 2012. Sur la base des émissions passées déclarées en 2005, de la croissance anticipée en 2007, de l'extension du champ prévu ou souhaité (nouveaux entrants dans le système) et surtout d'un coefficient d'effort correspondant au protocole de Kyoto (-8% d'émissions par rapport à 1990 pour l'Europe), les États se sont partagés l'objectif quantitatif global, la ventilation de ces objectifs entre les entreprises restant à la charge des États (Members States' National Allocation Plan). La distribution se fait ensuite par secteur sur des critères surtout économiques puis à l'intérieur des secteurs par installations (unités de production) sur des critères techniques (voir par exemple PNAQ France, 2007). Cette répartition soulève deux questions :

- 1) Les droits européens (EUA : european unit allowances) sont échangeables au taux unitaire avec les quotas internationaux (PEN) distribués aux États qui ont signé le protocole de Kyoto et font partie de l'annexe B (voir Bernard, Vielle et Viguier (2005), Frémont, 2006, p. 33-34). De ce fait les entreprises peuvent obtenir des droits indépendamment de la distribution primaire initiale grâce à un système d'échange mondial, gratuit et centralisé qui fonctionne comme une simple chambre de compensation (voir Perthuis et Boccon-Girod, 2006, p. 120). Ils sont attribués à des entités économiques, qui possèdent les unités techniques, qui peuvent ne pas être nationales mais multinationales (mondiales ou européennes). Même quand elles ne sont qu'européennes, il est légitime de se demander s'il faut attribuer les quotas selon la règle de la nationalité ou selon la règle du territoire. La même question se pose pour l'impôt sur les sociétés qui peut être prélevé à la source (un pays impose les revenus engendrés sur son territoire, qu'ils aient été réalisés par des résidents ou des non-résidents) ou selon la résidence (l'impôt est prélevé sur les revenus des résidents qu'ils aient été réalisés sur le territoire national ou à l'étranger). Le système actuel applique le principe de la résidence même si la propriété des droits et les critères économiques des entreprises sont transnationaux. L'équivalence entre le système des droits et la fiscalité dépend donc au niveau international de cette organisation. Toutefois la distinction entre les deux principes devient labile en raison des mécanismes de flexibilité. Des droits peuvent être attribués gratuitement à une entreprise qui investit à l'étranger, ces droits étant déduits des quotas du pays hôte jusqu'à un plafond de 13,4%. Ces mécanismes de flexibilité sont au nombre de deux. Les mises en œuvre conjointes (MOC) permettent aux pays développés et en transition (annexe B) d'investir à l'étranger et de bénéficier de crédits d'émissions. Le mécanisme pour le développement propre (MDP) concerne

l'investissement des pays développés vers les pays en développement qui ne sont pas liés par des engagements chiffrés de réduction. L'entreprise qui investit se voit attribuée les quotas gratuits qui sont déduits de ceux du pays hôte. Ces transferts ne posent aucun problème si on en reste au niveau quantitatif puisque l'effet de serre est supposé être une externalité mondiale. En revanche, du point de vue économiste stricto-sensu, ils posent la question de la manipulabilité du marché des permis d'émission puisqu'ils engendrent des transferts de propriété.

- 2) Le système est basé sur les droits acquis dits du grand-père. Il ne pose pas la question du rythme de renouvellement des équipements pour maintenir les capacités. Il est basé sur une tarification au coût marginal et non au coût moyen selon les coûts en développement. Ainsi fermer une unité polluante pour la remplacer par une autre fait perdre les droits ultérieurs et rend l'opération coûteuse en termes de coûts en développement. La fiscalité dont la réduction porte aussi sur les périodes futures n'a pas cet inconvénient. De même les économies déjà réalisées (par exemple un programme nucléaire) ne procurent aucun droit bien que les équipements doivent être remplacés.

La distribution des droits aux entreprises et la mise en conformité des installations (compliances) se fait selon le principe dit « cap and trade » (plafond ou quota et échange). Les entreprises reçoivent en début d'année une allocation primaire gratuite ou qu'elles doivent acheter par adjudication (10% au maximum). La mise en conformité a lieu le 30 avril de l'année suivante. Les entreprises doivent faire la démonstration que leurs installations sont conformes aux règles et rendre une quantité de droits égale aux émissions vérifiées lors de la précédente année calendaire. En cas de non conformité il faut payer une pénalité égale à 100 euros par tonne de gaz carbonique et fournir l'année suivante les droits manquants par rapport aux émissions. Le prix marginal des droits manquants est q . En cas de non fourniture, le prix

marginal sera $100 + \frac{q(+1)}{1+r}$ où r est le taux d'intérêt. De ce fait dans un marché organisé, si ce dernier est efficient, le prix futur anticipé sera donné par le marché à terme ou le marché des « futures » : $f = \frac{E(q(+1)/I)}{1+r}$ où $E(. / I)$ est l'espérance conditionnelle. En situation permanente, à l'intérieur de la période (2008, 2012), les entreprises pourront stocker (banking) des droits non utilisés, ou les emprunter sur leur dotation future (borrowing), ou les acheter sur le marché de sorte que l'équilibre du marché à terme s'applique $f = q$.

À la fin de la période tous les permis sont utilisés ou perdus. Les entreprises ne sont pas autorisées à emprunter de permis. Si le marché est long, le prix des droits est nul. S'il est court, le prix marginal est la somme de la pénalité et du prix d'achat des droits couvrant la nouvelle émission périodique. Si P est la probabilité que le marché soit court, alors

$q = P \left[100 + \frac{q(+1)}{1+r} \right]$. Si le système était abandonné ou si on rendait les périodes totalement indépendantes, on aurait $q = P * 100$ (voir Ellerman et Parsons, 2006).

Le système a l'avantage par rapport à la fiscalité de ne pas faire payer la totalité des émissions mais de faire payer les excès d'émission à la marge seulement. Il est incitatif par menace. Il est équivalent à une fiscalité marginale avec seuil. L'équivalence n'est qu'apparente puisque la fiscalité porte sur les entreprises individuellement et fixe le prix de la non-conformité. Dans le système de marché, la non-conformité est répartie sur l'ensemble des entreprises. Si le marché est parfait, le coût marginal du respect de la norme est toujours 100 mais on ne sait pas sur quelle entreprise il va porter. C'est ce qui explique que le coût marginal soit réduit par la probabilité. Il reste à savoir si ce gain n'est pas absorbé par le coût de l'organisation du marché et de la stabilisation des cours. Les coûts seraient les mêmes mais les bénéficiaires différents.

La gestion du marché des droits

Le marché des droits d'émission échangeables est géré par des chambres de compensation comme le European Climate Exchange (ECX). Les entreprises possèdent des comptes auprès d'une telle institution qui centralise (si elle est seule) ou qui organise (s'il y en a plusieurs) le marché des droits d'émission d'une tonne de gaz carbonique. Le marché comporte trois types d'actifs :

- les contrats spots (au comptant) qui correspondent à l'achat ou à la vente d'une unité au prix $q(t)$ à la date t (31/12/2007).
- Les contrats à terme (forward) sont fixés de gré à gré et ne sont pas cotés (over the counter). Leur prix n'est pas révisé avant le terme (31/12/2008) et ils consistent à promettre de payer $f(t) = (1+r)q(t)$ à cette date. Si le cours est $q(+1)$, le risque de l'acheteur est de perdre $f - q(+1)$, et vice versa pour le vendeur.
- Les contrats « futures » sont des contrats à terme standardisés, coté sur le marché (marked to market), rééquilibrés au jour le jour. Ils font l'objet d'appels de marge qui permettent de régler au jour le jour les pertes et les gains.

Si une tonne achetée à 1 an (2007) pour 100 euros, vaut au bout de 50 jours de l'année 2008, compte tenu des cours et du taux d'intérêt 88 euros et si le 51^{ème} jour elle s'affiche à 90 euros, l'acheteur devra payer 2 euros. Ainsi la somme (et le risque) à payer au moment de la délivrance est très faible. Les sommes versées sont puisées sur les comptes des agents auprès de la maison de compensation. En outre la livraison n'est pas faite par un agent fixé à l'avance, la maison de compensation choisit l'offreur au dernier moment et se charge de transférer l'argent du gagnant (ou du gagnant) au perdant (au perdant). On dit que la chambre de compensation agit comme contrepartie de tous les contrats et fixe le renouvellement des appels de marge (margin requirements) si les pertes dépassent d'un certain seuil les prévisions. Ce système permet de lisser les risques de variation des cours mais pas de déterminer les cours « pivot » ni de lutter contre la manipulabilité. Un marché est manipulable si un agent qui est rationné peut accroître sa transaction en accroissant sa demande. Cela suppose des délais de réaction du marché aux informations nouvelles ou des intervenants non

atomistiques ou des réserves hors marché. La hausse des cours fait rentrer des offreurs qui réduisent ainsi les prix et permet au demandeur initial d'acheter à ce nouveau cours alors que son prix d'opportunité initial était trop faible. Il s'agit ici de manipulabilité sur un marché qui s'ajuste par les prix. Mais il existe aussi une manipulabilité par les quantités en déséquilibre (Bénassy, 1984, pages 30-32). Des entreprises en excès de demande peuvent augmenter leur demande de façon à faire monter les prix au niveau de la pénalité afin de peser sur l'offre de l'État et le pousser à distribuer les quotas de la « réserve publique ». Le raisonnement s'étend aussi à la « réserve privée » des entreprises en excès d'offre ou susceptibles d'étendre la réserve grâce aux mécanismes de projets. Le rôle stabilisant des « réserves de quotas » est analogue à celui des « réserves publiques et privées » de devises dans un système monétaire dont la monnaie n'est pas réserve internationale (Sterdyniak, Villa (1986)).

ANNEXE II :
POLLUTION LOCALE : LE PRINCIPE POLLUEUR/PAYEUR

On formalise de manière stylisée l'expérience des agences financières de bassin menée en France à partir du milieu des années 1960. Des entreprises polluantes sont installées le long des cours d'eau et rejettent des eaux résiduaires contenant des composés chimiques inopportuns en quantité excessives (les tanneries par exemple modifient le PH) ou trop chaudes (les centrales électriques). Ces rejets ont des effets néfastes pour les activités situées en aval qui utilisent les eaux de rivière comme l'agriculture, la pisciculture (les sociétés de pêche) et la distribution de l'eau à usage urbain. Cette configuration géographique présente deux spécificités en raison du courant. Les nuisances ne peuvent être ramenées à un rapport entre deux entreprises, toutes les unités de production situées en aval sont touchées, pas celles en amont, la pollution n'est pas globale, il faut raisonner selon les bassins versants. Bien que la pollution ne soit pas globale, elle ne peut être traitée de gré à gré entre deux intervenants qui procéderaient à des transferts d'argent informels sans affecter l'économie globale. En outre il n'est pas possible d'imaginer des transferts d'argent allant des unités de production qui subissent les nuisances vers les pollueurs car cela provoquerait des distorsions de concurrence par rapport aux activités de l'amont. On imagine aisément que tous voudraient s'installer en amont, ce qui provoquerait un accroissement des coûts de transports, un embouteillage et une situation dynamiquement instable sauf si les coûts d'ajustement sont très élevés. La recherche des eaux propres en amont pour alimenter les grandes villes en aval est très coûteuse.

Pour illustrer la question nous supposons que les nuisances n'affectent pas les ménages mais seulement les activités productives. Les entreprises polluantes ont deux techniques de production disponibles, la première plus productive occasionne des rejets, la seconde les élimine mais est moins productive car il faut construire des usines d'épuration ou recycler l'eau chaude, bref modifier la technique de production.

La première technique est représentée du point de vue économique par : $x_1 = a_1 z_1$ et $y_1 = b_1 x_1$

La seconde est donnée par :

$$x_2 = a_2 z_2 \text{ avec } a_2 < a_1 \text{ et } y_2 = 0 \text{ soit } b_2 = 0.$$

Les entreprises situées en aval sont représentées par une technique à facteurs substituables comprenant le bien produit en amont et les eaux rejetées. On écrit : $z = f(x_3, y_0 - y_1)$ où f est une fonction homogène de degré 1 et telle que ses dérivées partielles soient positives : $f_1 > 0$ et $f_2 > 0$.

Les consommateurs achètent les biens $[x]$ et $[z]$ en quantité C et D selon une utilité $U(C, D)$ avec $U_C > 0$, $U_D > 0$ et $U_{CD} < 0$.

L'équilibre des marchés des biens est régi par les égalités :

$$C + x_3 = x_1 + \omega_1 \text{ et } D + z_1 = z + \omega_3$$

La signification des variables est la suivante : x_1 , x_3 et C sont la production et les consommations intermédiaires et finales du premier bien (par exemple les produits énergétiques) ; z , z_1 et D sont la production et les consommations intermédiaires des biens de la deuxième catégorie (par exemple les produits agricoles consommés par les travailleurs). On note par y_0 , y_1 et $y_2 = 0$ les eaux propres et les eaux usées. Enfin ω_1 et ω_3 sont les dotations initiales correspondant au solde commercial implicite avec l'amont du bassin versant ou avec les autres bassins versants.

L'optimum est donné par la maximisation de l'utilité, soit :

$$\frac{U_C}{U_D} = \frac{1}{a_1} + f_2 b_1 = f_1 = \frac{p_1}{p_3}$$

où p_1 et p_3 sont les prix des biens $[x]$ et $[z]$.

L'équilibre de marché correspond à :

$$\frac{p_1}{p_3} = \frac{1}{a_1} = f_1$$

L'optimum n'est pas un équilibre de marché : à l'équilibre concurrentiel la production et la consommation du premier bien sont excessives. Pour atteindre l'optimum il faudrait opérer des transferts du deuxième secteur aval vers le premier amont.

L'utilisation de la technique non polluante conduit à :

$$\frac{U_C}{U_D} = \frac{1}{a_2} = f_1(x_3(2), 0) > \frac{1}{a_1}$$

Cet équilibre sans pollution peut être obtenu en taxant par T les entreprises polluantes de façon à annuler leur profit :

$$\pi_x(1) = p_1 x_1 \left(1 - \frac{p_3}{p_1 a_1}\right) - T = 0$$

$$\pi_x(2) = p_1 x_1 \left(1 - \frac{p_3}{p_1 a_1}\right) = 0$$

$$T = p_1 x_1 \left(1 - \frac{a_2}{a_1}\right) > 0$$

$$\pi_z = p_3 z - p_1 f_1(\cdot, 0) + T$$

La taxe représente le coût du facteur eau propre.

On peut créer un marché des eaux usées au prix q . La maximisation du profit donne :

$$p_1 = qb_1 + \frac{p_3}{a_1} = \frac{p_3}{a_2} \text{ et } p_3 = \frac{p_1}{f_1}. \text{ On en déduit la relation d'équivalence : } q = \frac{T}{b_1 x_1} > 0$$

Mais il ne s'agit pas d'un marché à participation complète. En fait il s'agit d'une taxation déguisée.

Si la technique polluante est une centrale nucléaire qui rejette de l'eau chaude dont le recyclage a un coût fixe c , le profit s'écrit :

$$\pi_x(1) = p_1 x_1 - p_3 z_1 - T$$

$$\pi_x(2) = p_1 x_2 - p_3 z_2 - c$$

avec $x_1 = a_1 z_1$, $x_2 = a_2 z_2$, $a_1 = a_2$, $y_1 = b_1 x_1$ et $y_2 = 0$.

La tarification au coût moyen pour tenir compte du coût fixe indivisible c conduit à taxer le rejet d'eau chaude tel que $\pi_x(1) = \pi_x(2) = 0$, soit $T = c$.

La taxation est ici préférable au transfert de droits coasiens en raison des effets externes asymétriques géographiques sur d'autres agents comme les collectivités locales des villes.

ANNEXE III :**L'INDÉTERMINATION DU MARCHÉ DES DROITS FONDÉ SUR UNE DISTRIBUTION GRATUITE**

On montre que le cours sur un marché des droits fondé sur une distribution gratuite initiale n'a pas de détermination économique objective parce que le marché est automatiquement équilibré du fait que l'offre n'est pas indépendante de la demande. Seule une distribution de droits par adjudications discriminantes assortie d'une pénalité ou une politique active de l'État qui utilise ses réserves ou rachète des droits permet de définir un cours.

a) Le principe d'équivalence

Dans le cadre des principes d'équivalence du texte principal, nous étudions les implications de la mise en place d'un marché des droits d'émission lorsque les autres caractéristiques de l'équilibre macroéconomique restent inchangées. Ainsi la production et la rémunération des autres facteurs (salaire, taux de profit, prix des énergies fossiles) sont inchangées grâce à une politique fiscale appropriée. On compare ainsi des équilibres généraux qui ne diffèrent que selon la technique polluante. Cette procédure introduit une irréversibilité, une flèche du temps, par hypothèse, au moment de la mise en place du système des droits.

b) Le choix local de la technique

Les entreprises choisissent dans un ensemble de techniques déjà existantes le niveau de pollution et la production. La technologie, c'est-à-dire l'ensemble des techniques disponibles, est représentée par $f_j(Y, Z, E) \leq Cste$ où Y est la production, Z la technique et E les émissions. Avant la création du système, la production s'établit au niveau $f_j(Y_0, Z_0, E_0) = Cste$. La mise en place du système conduit à changer de technique selon $f_{j,Z(0)}dZ + f_{j,E(0)}dE = 0$. Appelons z le coût unitaire de la technique, combinaison du coût des autres facteurs. Il est constant puisque le prix des autres facteurs est constant. Un changement de technique provoque une variation d'émissions dE et du coût de production $dC = dE(q - f_{j,E(0)} / f_{j,Z(0)}z)$. Au niveau local le coût du changement de technique est une caractéristique de l'entreprise : $\pi(j) = zf_{j,E} / f_{j,Z}$. Au niveau global ce coût correspond à la taxe carbone. Il est égal au coût d'abattement puisqu'il n'y a pas de distorsion fiscale à ajouter du fait que nous nous plaçons dans l'hypothèse d'équivalence.

c) La politique environnementale

Elle est organisée selon les règles européennes. En début de période l'État alloue aux J entreprises concernées, indicées par $[j]$, des permis $P(j, t)$ pour toute la période de conformité. Celle-ci commence en $t=0$ et s'achève en $t=T$. Les permis sont distribués

selon les droits du grand-père de telle manière que la contrainte initiale soit nulle à l'origine. Les permis doivent finalement être remis à l'État qui les a émis et le pollueur doit s'acquitter d'une taxe h proportionnelle aux dépassements de la norme alors qu'il perd ses droits en excédent s'il n'a pas réussi à les vendre sur le marché privé. En cours de période les droits peuvent être épargnés, achetés, vendus ou empruntés sur les droits futurs. Il existe un marché secondaire des droits. Les sommes cumulées des normes et des droits gratuits pour toute la période sont égales pour chaque entreprise. Le choix de ces normes a été fixé en amont ainsi que leur taux de décroissance selon le coefficient d'effort proposé par le protocole de Kyoto. Chaque technique provoque à la date t une émission de gaz carbonique $E(j,t)$. Compte tenu des développements précédents, le coût instantané du changement de technique est de la forme $q(t)(E(j,t) - P(j,t)) - \pi(j,t)(E(j,t) - E(j,0))$. Par commodité nous classerons les entreprises par coûts décroissants.

d) L'indétermination des cours des droits

On note $x(j,t) = E(j,t) - P(j,t)$ l'excédent net des émissions effectives sur les droits gratuits (la norme) pour l'entreprise (j) à la date (t), r le taux d'intérêt certain et $A(j)$ la contrainte perçue qui s'exerce ex ante sur l'entreprise. Ex post cette contrainte est l'envers de celle des autres. Le programme de minimisation des coûts d'une entreprise s'écrit :

$$\text{Min}_x \int_0^T e^{-rt} (q(t) - \pi(j,t)x(j,t)) dt + \int_0^T e^{-rt} \pi(j,t) (P(j,0) - P(j,t)) dt + \lambda(j) \left(\int_0^T x(j,t) dt - A(j) \right)$$

condition initiale est donnée par les droits du grand-père : $x(j,0) = 0$.

La condition du premier ordre s'écrit :

$$\lambda(j) = e^{-rt} (\pi - q)$$

Comme à l'équilibre il apparaît un prix unique de marché, nécessairement $e^{-rt} q(t) = q(0)$ et $e^{-rt} \pi(j,t) = \pi(j,0) = \pi(j)$.

Le prix des actifs d'environnement doit croître au même rythme que le taux d'intérêt certain afin de neutraliser les transferts de droits d'un instant à l'autre. C'est la règle de Hotelling ou règle de cohérence temporelle ou règle d'efficacité temporelle lorsque les marchés sont parfaits.

De même le coût du changement de technique doit croître au rythme du taux d'intérêt de façon qu'il soit indifférent de transférer la production d'un instant à l'autre.

Appelons $x(j) = \int_0^T x(j,t)dt$ et $P(j) = \int_0^T P(j,t)dt$ la demande excédentaire et la norme cumulées sur la période de conformité. Le coût optimal pour une entreprise dépend de la valeur présente du prix des actifs : $C(j) = (q(0) - \pi(j))(x(j) + \pi(j)(TP(j,0) - P(j)))$. Le premier terme correspond au coût des droits diminué du gain que procure le changement de technique. Le deuxième terme est le coût du respect de la norme : $P(j,0)T > P(j)$.

Le marché permet de ramener la question intertemporelle à un équilibre statique. La vraie dynamique est l'enchaînement de ces équilibres statiques, c'est-à-dire des périodes de conformité.

Comme le prix de la contrainte vaut : $\lambda(j) = \pi(j) - q(0)$, les entreprises se trouvent dans plusieurs régimes :

Si les coûts de changement de technique sont inférieurs au prix des droits, $\pi(j) < q(0)$, l'excès de demande est égal à la contrainte : $x(j) = A(j)$. Il en est de même s'ils sont supérieurs au prix : $\pi(j) > q(0)$. S'ils sont égaux au prix, l'excès de demande est quelconque. Les entreprises se divisent ainsi en trois classes :

Les entreprises de la première classe dont les émissions sont coûteuses et qui sont en excès d'offre : $A(j) < 0$

Les entreprises de la deuxième classe dont les émissions sont rentables et qui sont en excès de demande : $A(j) > 0$

Les entreprises de la troisième classe pour lesquelles les émissions sont indifférentes et l'excès de demande est quelconque.

La demande et la transaction sont des correspondances semi-continues supérieurement de forme générale $(q - \pi(j))x(j) \leq 0$. Les équilibres sont caractérisés par deux relations :

l'excès de demande est nul : $\sum x(j) = 0$

le coût global est nul puisque, en vertu de la recherche d'équivalences, nous comparons des équilibres qui laissent inchangés la rémunération des facteurs et la production : $\sum C(j) = 0$.

Les équilibres forment un espace de dimension $J - 1$ (Les deux équations déterminent le cours des droits et les excès de demande). Le système est donc sous-déterminé même s'il respecte la norme au niveau global $\sum \pi(j)E(j) = T \sum \pi(j)P(j,0)$. Certaines entreprises sont gagnantes, d'autres perdantes, mais on ne peut les identifier. En effet le coût optimal dépend

du prix et de l'excès de demande de droits. Une entreprise dont les coûts sont faibles ($\pi(j) < q$) peut tirer profit du système en accroissant son offre de droits.

Les équilibres ne dépendent pas du cours des droits d'émissions mais de la pénalité qui est une borne supérieure des cours. Afin d'achever la caractérisation de ces équilibres trop imprécis, il est nécessaire d'explicitement comment sont fixés le niveau et le mode d'application de la pénalité. Ces règles font encore débat si on en croit l'article de Perthuis et Boccon-Gibod (page 130).

Le système le plus simple consiste à déclarer que la pénalité est analogue à un impôt et que son paiement est libératoire. Ce n'est pas exactement le point de vue adopté par l'Europe qui distingue les normes individuelles et globales. Les entreprises en dépassement se voient réduire leurs droits du grand-père à venir sur la période de conformité future en plus du paiement de la pénalité. Si ce report portait sur la norme globale, cela reviendrait à repousser la date finale de conformité. Le faire porter sur la norme de chaque entreprise revient à nier le marché et montre que l'Europe n'a guère confiance en lui pour traiter la question. Si le paiement est libératoire, la pénalité est uniquement un prix plafond et la hausse des prix au delà de la pénalité retire de la demande excédentaire et ramène le prix à un niveau inférieur à la pénalité.

Imaginons le cas particulier où la quantité de demande qui se retire du marché est exactement égale à la demande excédentaire.

Si la pénalité est faible $0 \leq h < \pi(1) < \pi(J)$, toutes les entreprises sont en excès de demande, elles se retirent du marché.

Si la pénalité est forte $\pi(J) < h$, cinq cas peuvent se présenter :

si $\pi(J) < q \leq h$, toutes les entreprises sont en excès d'offre et le prix de marché est nul.

Si $q = \pi(J)$, toutes les entreprises sont en excès d'offre sauf une qui est indifférente et qui fournit la demande.

Si $\pi(1) < q < \pi(J)$, certaines entreprises sont en excès d'offre et d'autres en excès de demande.

Si $q = \pi(1)$ toutes les entreprises sont en excès de demande sauf une qui fournit l'offre.

Si $0 \leq q < \pi(1)$, toutes les entreprises sont en excès de demande et le marché disparaît ou le prix passe à h .

Si la pénalité est moyenne $0 < \pi(1) < h < \pi(J)$ trois cas se présentent :

Si $0 \leq q < \pi(1)$, toutes les entreprises sont en excès de demande et le marché disparaît ou le prix passe à h .

Si $q = \pi(1)$, la première entreprise fournit l'offre d'appoint.

Si $\pi(1) < q \leq h$, certaines entreprises sont en excès de demande et d'autres en excès d'offre.

En conclusion, le prix de marché n'a pas une forme analytique simple :

Si $h < \pi(1)$ il n'y a pas de marché.

Si $\pi(1) < h < \pi(J)$ alors $q = 0$ ou $\pi(1) < q < h$

Si $h > \pi(J)$ alors les prix $q = 0$ et h s'échangent.

Les équilibres de marché ne forment pas un segment continu, les valeurs 0 et h sont isolées et instables puisqu'une petite variation de l'excès de demande fait basculer d'une valeur à l'autre.

Les équilibres sont manipulables. Les entreprises en excès d'offre ont avantage à réduire marginalement leur offre afin que le prix de marché monte vers la pénalité. Les entreprises en excès de demande ont intérêt à réduire marginalement leur demande pour que le prix tende vers zéro. Afin de formaliser le tâtonnement, nous le décrivons comme un équilibre non coopératif de Nash. Partons d'une situation où il y a deux entreprises, la première étant en excès d'offre $x(1) = -x < 0$ et la seconde en excès de demande $x(2) = x > 0$. La stratégie de la première consiste à réduire son offre ou accroître sa demande de $\Delta x(1) > 0$. L'excès de demande sera satisfait en faisant appel à l'État. Le prix de marché devient égal à la pénalité. Le gain pour l'entreprise est $G_1 = (h - q)x - (q - \pi(1))\Delta x(1)$. Le gain pour l'autre est $G_2 = -(h - q)x$. Le gain total est $G = G_1 + G_2 = -(h - \pi(1))\Delta x(1) \leq 0$. Si l'entreprise en situation d'excès de demande réduit celle-ci de $-\Delta x(2) < 0$, le prix devient nul puisque les droits excédentaires ne sont pas utilisables. Le gain pour l'entreprise est $G_2 = qx - \pi(2)\Delta x(2)$, le gain pour l'autre est $G_1 = -qx$ et le gain total $G = -\pi(2)\Delta x(2) \leq 0$. La manipulation est en fait un jeu à somme négative. Dans un jeu répété non coopératif, les entreprises ne lanceront leur manipulation que si elles font un gain positif, c'est-à-dire si

$$G_1 \geq 0 \text{ soit } \Delta x(1) \leq \frac{h - q}{h - \pi(1)} x \leq \frac{h}{h - \pi(1)} x$$

$$G_2 \geq 0 \text{ soit } \Delta x(2) \leq \frac{q}{\pi(2)} x \leq \frac{h}{\pi(2)} x$$

Le prix d'équilibre passe successivement par les valeurs 0 et h après la première période du jeu.

La variation de l'excès de demande qui en résulte lorsque chaque entreprise procède à son intervention maximale est :

$$\Delta x = \Delta x(1) - \Delta x(2) = hx \left(\frac{1}{h - \pi(1)} - \frac{1}{\pi(2)} \right)$$

Si $h > (<) \pi(1) + \pi(2)$ alors $\Delta x < (>) 0$.

Si la pénalité est inférieure à ce seuil, l'excès de demande augmente et le prix se fixe au niveau de la pénalité parce que l'entreprise en excès d'offre est plus incitée à accroître la demande que l'entreprise en excès de demande. En revanche si la pénalité est très forte le prix de marché tendra vers 0 comme résultat de ce jeu non coopératif. La seule solution d'équilibre stable est alors $q = 0$.

Ainsi en l'absence d'incertitude, lorsque la pénalité est très forte, le prix du marché des droits est nécessairement nul, sinon il est égal à la pénalité. L'existence d'un prix de marché intermédiaire n'est possible que parce qu'il y a un grand nombre d'entreprises. Lorsque le marché est globalement en excès de demande les entreprises ne savent pas sur laquelle portera la pénalité lorsqu'il sera apuré. Le prix d'équilibre attendu comme fruit de leurs manipulations est alors $q = ph$ où p est la probabilité que le marché soit en excès de demande. Cette valeur interrompt le processus de manipulation car les gains s'en annulent.

e) L'instabilité des cours en raison de la manipulation

Il reste cependant à déterminer la probabilité d'équilibre que le marché soit en excès de demande car si celle-ci est nulle ou égale à l'unité, on est ramené au cas déterministe. On peut en donner une représentation simple en formalisant un processus de tâtonnement. Appelons $p(t)$ et $x(t)$ la probabilité de l'excès de demande et l'excès de demande. En choisissant des unités appropriées :

$$p(t+1) = p(t) + x(t) \text{ avec } 0 \leq p(t+1) \leq 1$$

$x(t+1) = x(t) + \alpha - \beta p(t+1)$ avec $\alpha / \beta < 1$, α et β étant des paramètres positifs qui dépendent des coûts de changement de technique $\pi(j)$, c'est-à-dire des données objectives de la technologie des entreprises concernées : α résume l'augmentation de la demande des entreprises en excès d'offre et β l'influence des entreprises en excès de demande. Bien que la modélisation soit frustrante parce que linéaire, la dynamique est non linéaire parce que la probabilité doit être comprise entre 0 et 1.

La première équation représente le tâtonnement walrasien qui modifie la probabilité et la seconde le processus de rentrée ou de retrait du marché pour manipuler le cours qui fait varier l'excès de demande. Le marché conserve dans ce processus la valeur puisque le produit des valeurs propres est égal à l'unité. Le point fixe du système correspond à l'équilibre où l'excès de demande est nul et la probabilité d'excès de demande vaut α/β .

Si $0 < \beta \leq 4$, les valeurs propres valent $\lambda = \frac{2 - \beta \pm i\sqrt{\beta(4 - \beta)}}{2}$. Elles sont complexes et de module unité. Les équilibres sont des cycles fermés ou asymptotiques de la forme $p(t) = \alpha/\beta + A \cos \gamma t$ et $x(t) = A(\cos \gamma(t+1) - \cos \gamma t)$, où $\cos \gamma = 1 - \beta/2$ et $\sin \gamma = \frac{\sqrt{\beta(4 - \beta)}}{2}$. Ils sont situés sur des ellipses de centre $(0, \alpha/\beta)$, décrites par $(x + \frac{\beta}{2}z)^2 + (z^2 - A^2)\frac{\beta(4 - \beta)}{4} = 0$ où $z = p - \alpha/\beta$. Afin que les trajectoires soient confinées dans l'intervalle de probabilité $0 \leq p \leq 1$, le paramètre A qui est fixé par les conditions initiales, doit vérifier $x + \beta/2(p - \alpha/\beta) = 0$. En d'autres termes, si $2\alpha/\beta < 1$, alors $A \leq \alpha/\beta$ et $0 \leq p \leq 2\alpha/\beta < 1$; si $2\alpha/\beta > 1$, alors $A \leq 1 - \alpha/\beta$ et $0 < 2\alpha/\beta - 1 \leq p \leq 1$.

Pour les valeurs particulières des interventions telles que $\gamma = k\pi$, avec k nombre rationnel, la probabilité est périodique. Elle passe régulièrement par le point $\hat{p} = \alpha/\beta + A \leq 1$ et $\hat{x} = A(\cos \gamma - 1)$. Lorsque k est irrationnel, la probabilité prend toutes les valeurs sur l'ellipse. Les trajectoires sont denses sur ces ellipses. Si $\alpha/\beta < 1/2$, la probabilité est comprise entre 0 et $2\alpha/\beta$, si $\alpha/\beta > 1/2$ entre $2\alpha/\beta - 1$ et 1. En outre, comme la phase $\gamma t = k\pi t$ peut prendre toutes les valeurs entre 0 et 2π , modulo 2π , puisque tout nombre rationnel peut être approché autant qu'on le veut par un nombre irrationnel et que les rationnels sont denses dans les réels, les cours des droits $q = ph$ peuvent prendre une infinité de valeurs et ces valeurs sont denses dans un sous intervalle de $[0, h]$. Le système est ergodique puisque les valeurs atteintes par une trajectoire (une valeur de A) sont indépendantes de la situation initiale.

Cette ergodicité n'est pas vérifiée lorsque les valeurs initiales du tâtonnement (x_0, p_0) sont telles que la probabilité d'excès de demande dépasse l'unité ou est inférieure à 0 à partir d'une certaine date. Toutefois au bout d'un certain nombre de périodes on retombe dans le cas précédent. En effet, supposons qu'à la date t_0 la valeur de la probabilité d'excès de demande soit selon le mouvement supérieure à l'unité. Comme cela n'est pas possible, les agents réagissent de telle sorte que le retrait du marché ramène la probabilité à la valeur 1, $p(t_0 + 1) = 1$ par un changement de trajectoire. La nouvelle valeur initiale est donnée par $p(t_0 + 1) = \alpha/\beta + A' = 1$, d'où $x(t_0 + 1) = (1 - \alpha/\beta)(\cos \gamma - 1) < 0$. Ensuite le tâtonnement est décrit par $p(t_0 + 2) = p(t_0 + 1) + x(t_0 + 1) < 1$. Le tâtonnement est ramené à la date $t_0 + 1$ à la situation où la probabilité est dense dans l'intervalle $[2\alpha/\beta - 1, 1]$.

Ainsi les cours des droits sont ergodiques dans un intervalle.

Si $\beta > 4$, les valeurs propres sont réelles et vérifient $\lambda_1 < -1 < \lambda_2 < 0$. Le point fixe est un point selle instable de deuxième espèce appelé réflexif hyperbolique. Sur le sentier selle la probabilité converge vers α/β . En dehors, elle s'en éloigne en oscillant de sorte qu'à partir d'un certain moment la trajectoire vient buter contre les bornes 0 et 1 de la probabilité. Elles sont donc constituées à partir d'un certain moment d'une suite d'excès de demande et d'excès d'offre certains puisque la probabilité est bornée.

Ainsi, suivant les valeurs des paramètres du tâtonnement, en situation aléatoire, on retrouve tous les équilibres que nous avons identifiés dans le cas déterministe : les prix nuls et égaux à la pénalité qui s'échangent, le prix inclus dans l'intervalle des coûts de changement de techniques $\pi(1) < \alpha/\beta < \pi(J)$ et le prix réparti uniformément dans un intervalle.

Le système des droits gratuits peut donc échapper à toute détermination économique.

f) L'adjudication par enchères discriminantes

Il est possible de lever l'indétermination économique des cours en supprimant la distribution de droits gratuits et en procédant à des enchères discriminantes en début de période (pay as you bid auction) pour distribuer les droits. Dans ce type d'enchères la demande de droits retenue est payée au prix que l'entreprise a elle-même proposé. Les entreprises offrent ainsi chacune un prix $q(j)$ différent qui minimise leurs coûts. Le programme est le même que dans le système européen des droits gratuits mais le coût optimal inclut le coût des droits d'émission dès la première quantité émise :

$$C(j) = (q(j) - \pi(j))E(j) + T\pi(j)P(j, 0)$$

Comme les émissions sont toujours positives, et si la pénalité est supérieure aux coûts de changement de technique, les entreprises font l'enchère maximale qui annule leur coût :

$$q(j) = \pi(j) - T \frac{\pi(j)P(j, 0)}{E(j)}$$

Cette enchère est une fonction de demande d'émission inverse bornée par le coût de changement de technique.

À l'équilibre ex post du marché secondaire le prix est identique pour toutes les entreprises et le montant total des adjudications est égal aux droits :

$$\sum E(j) = \sum P(j)$$

$$q(j) = q$$

Ces $J + 1$ équations déterminent l'équilibre de manière unique. Toute possibilité de manipulation est écartée quelles que soient les formes de la concurrence. Le prix des droits est compris entre les deux extrêmes des coûts de changement de technique.

g) L'adjudication par fixation des prix

Cette méthode n'est pas satisfaisante parce qu'elle se ramène, du point de vue formel, au système des droits gratuits. Elle ne permet pas de lever la possibilité de manipulation. L'État ne fait que rendre payant des droits gratuits. Mais rien ne garantit que ce prix initial sur le marché primaire des droits n'est pas totalement déconnecté du prix sur le marché secondaire. En effet, si l'État fixe le prix q_0 des adjudications, les entreprises choisissent le montant des droits qu'elles achètent à ce prix de façon que leur coût soit nul. Comme pour l'adjudication discriminante les achats de droits $P(j)$ vérifient :

$$(q_0 - \pi(j))P(j) + T\pi(j)P(j, 0) = 0$$

Ex post les entreprises interviennent sur le marché secondaire pour minimiser leurs coûts :

$$C(j) = (q - \pi(j))(E(j) - P(j)) + q_0P(j) - \pi(j)(E(j) - TP(j, 0)), \text{ soit :}$$

$$C(j) = (q - \pi(j))(E(j) - P(j))$$

L'indétermination du prix d'équilibre est analogue au cas de la distribution de droits gratuits.

ANNEXE IV :
LE DROIT D'ÉMISSION COMME VALEUR D'OPTION DU CHANGEMENT DE TECHNIQUE

Cette annexe définit le droit à polluer comme la valeur d'option du changement de technique de production lorsque ce dernier est coûteux.

On se place en concurrence parfaite et on suppose qu'une entreprise peut choisir entre deux techniques de production, la première est celle utilisée dans le passé et la seconde est nouvelle. Ces techniques fournissent la même recette unitaire A . Celle-ci peut être par exemple fixée par le prix de l'énergie pour une entreprise d'électricité. La première technique est à rendements constants et produit de manière jointe une quantité b_1 de pollution par unité produite. La seconde permet de réduire la pollution par unité produite $b_2 < b_1$ mais nécessite un coût fixe a . La pollution doit être couverte intégralement par des droits payés au prix q . Il s'agit de savoir quel est le prix maximal que l'entreprise est prête à payer et quelle technique choisir. En prenant le prix de vente du bien comme unité, le profit est $\pi_1 = (A - b_1 q)x$ lorsqu'on utilise la première technique et $\pi_2 = (A - b_2 q)x - a$ lorsqu'on utilise la seconde. La production est fixée par la demande x .

Dans une situation déterministe, la seconde technique est préférée à la première si $\pi_2 > \pi_1$,

soit : $x > x_0 = \frac{a}{b_1 - b_2} \frac{1}{q}$. La seconde technique est plus rentable lorsque la production est

élevée de manière que la réduction des droits compense les coûts fixes. En équilibre de concurrence parfaite et sans barrières à l'entrée le prix maximal des droits que les entreprises sont prêtes à payer, est tel que le profit soit nul puisque les rendements marginaux sont constants. La première technique est utilisée si $q \leq \frac{A}{b_1}$ et la seconde si $q \leq \frac{A - a/x}{b_2}$. La

première technique est choisie si $x < x_0$ et $q = \frac{A}{b_1}$, soit $x < \frac{ab_1}{(b_1 - b_2)A}$, la seconde si $x > x_0$ et

$\frac{A}{b_1} < q < \frac{A - a/x}{b_2}$, soit $x > \frac{ab_1}{(b_1 - b_2)A}$, les deux simultanément si $x = \frac{ab_1}{(b_1 - b_2)A}$.

On dira que $q_0 = \frac{A}{b_1}$ est la valeur d'option à partir de laquelle l'entreprise choisit la deuxième technique.

Dans une situation où la demande est aléatoire et la technique sans irréversibilité, l'entreprise peut pour chaque valeur réalisée de la demande choisir la technique optimale selon le processus de décision décrit auparavant. Pour des détenteurs de droits de propriété sans

aversion pour le risque l'équilibre de concurrence parfaite correspond à la situation où l'espérance du profit est nulle. Imaginons pour simplifier que la demande puisse prendre deux valeurs x_1 et x_2 correspondant à deux états de probabilité p et $1-p$. L'espérance de la demande est de la forme $\bar{x} = px_1 + (1-p)x_2$ avec $x_1 < \bar{x} < x_2$. Celle du profit $E(\pi) = A\bar{x} - q(b_1px_1 + b_2(1-p)x_2) - a(1-p)$. À l'équilibre la valeur unitaire des droits d'émission annule l'espérance du profit : $q_0 = \frac{A\bar{x} - a(1-p)}{b_1px_1 + b_2(1-p)x_2}$. La valeur de l'actif d'environnement est égale à la valeur moyenne du capital.

Introduisons maintenant l'irréversibilité. Pour cela il faut imaginer que le coût fixe a est un coût spécifique de changement de technique. Ainsi une entreprise n'a jamais intérêt à revenir de la seconde technique à la première car ce retour cumule à la fois le coût fixe et l'accroissement de pollution. En revanche le maintien de la première technique laisse à tout instant le choix d'en changer selon les circonstances. On supposera en outre, pour que le problème existe, que la seconde technique est une option possible parce que x_1 est suffisamment faible pour qu'elle ne soit pas rentable et x_2 suffisamment élevée pour qu'elle le soit.

L'espérance du profit de la première technique est comme précédemment $E(\pi_1) = A\bar{x} - q(b_1px_1 + b_2(1-p)x_2) - a(1-p)$, celle de la seconde $E(\pi_2) = (A - b_2q)\bar{x} - a$. La deuxième technique est préférée à la première si et seulement si $x_1 \geq x_0 = \frac{a}{b_1 - b_2} \frac{1}{q}$.

Les prix des droits correspondent à :

$$\frac{A\bar{x} - a(1-p)}{b_1\bar{x}} < q_1 = q_0 < \frac{A\bar{x} - a(1-p)}{b_2\bar{x}} \text{ et } q_2 = \frac{A\bar{x} - a}{b_2\bar{x}}$$

On remarque que $q_2 > q_1$ correspond à une condition sur les caractéristiques de la demande :

$$\left(\frac{A\bar{x}}{a} - 1\right)\left(\frac{b_1}{b_2} - 1\right) > \frac{\bar{x}}{x_1} > 1.$$

Supposons que $q_2 > q_1$. On choisit la technique (1) si $x_1 \leq x_0$ et la technique (2) si $x_1 \geq x_0$. La

valeur critique vérifie : $q_c = \frac{a}{(b_1 - b_2)x_1} < q_1 = q_0 < q_2$. On choisit donc la deuxième technique car la valeur d'option est inférieure à la valeur moyenne des actions de l'entreprise.

Si $q_2 < q_1$, la valeur critique vérifie $q_2 < q_1 = q_0 < q_c = \frac{a}{(b_1 - b_2)x_1}$. On conserve la première technique car la valeur d'option est supérieure à la valeur moyenne des actions de l'entreprise.

La valeur des droits comme valeur d'option dépend dans tous les cas de la productivité marginale A . Les droits d'émissions sont un actif dérivé. Une baisse du prix des droits à la suite d'une politique appropriée de réduction de la fiscalité et de la distribution des droits gratuits implique donc le gel des techniques existantes lorsque l'incertitude de la demande est grande (comme lorsque le prix de l'énergie varie). Le prix des droits est donc déterminé par le seuil des coûts d'irréversibilité.

ANNEXE V :
LA NON-ÉQUIVALENCE ENTRE LES TAXATIONS DE L'ÉNERGIE ET DE LA POLLUTION

L'économie comprend trois secteurs : le secteur secondaire industriel produit les biens capitaux et de consommation, la recherche et le développement ou secteur tertiaire produit des innovations « immatérielles » qui réduisent la pollution selon un processus endogène décrit dans Romer (1990), enfin le secteur primaire met à disposition un stock fini mais susceptible d'être accru par la découverte ou l'exploitation de nouveaux gisements. Le reste du progrès technique qui permet la croissance en augmentant la productivité du capital et du travail dans l'industrie est exogène. Le capital et le travail sont regroupés, pour simplifier, en un facteur mixte sous le nom abusif de capital dont le rendement économique est le taux de profit π qui représente ainsi le rendement global de l'économie. Implicitement, le taux de croissance du salaire est égal au taux de croissance du taux de profit additionné du taux de croissance du capital industriel.

L'État fixe la fiscalité sur le facteur mixte capital-travail (taux k), sur les matières premières (taux h) et sur la pollution (taux θ) ; il finance avec cela la recherche dans les techniques de réduction de la pollution tandis que la recherche de gisements nouveaux est laissée à la charge du secteur privé.

La production $Y(i)$ des biens par les entreprises (i) s'accompagne d'une production jointe de pollution $P(i)$ selon les formules :

$$Y(i) = e^{gt} K_1(i)^{1-\alpha} R(i)^\alpha \text{ et } P(i) = \frac{Y(i)}{A} \text{ avec } 0 < \alpha < 1.$$

$K_1(i)$, $R(i)$ et A sont le capital (mixte), l'énergie et la technique. Cette dernière, fruit de l'accumulation des innovations du passé, est un bien public disponible gratuitement ou selon un prix suivant que la recherche est financée par l'État ou par les brevets.

La modélisation introduit une irréversibilité implicite dans la mesure où les innovations sont acquises une fois pour toute.

Le profit des entreprises industrielles s'écrit :

$$Y(i) - \theta P(i) - \pi(1+k)K_1(i) - p_R(1+h)R(i) - R_A(i)$$

p_R est le prix des ressources naturelles et $R_A(i)$ est la rente versée pour les innovations par chaque entreprise.

La maximisation du profit conduit aux trois demandes de facteurs :

$$\text{Pour le capital : } (1-\alpha)e^{st}\left(1-\frac{\theta}{A}\right)K^{-\alpha}R^\alpha = (1+k)\pi$$

$$\text{Pour l'énergie : } \alpha e^{st}\left(1-\frac{\theta}{A}\right)K_1^{1-\alpha}R^{\alpha-1} = (1+h)p_R$$

$$\text{Pour les rentes : } \frac{\partial R_A(i)}{\partial A} = \theta \frac{Y}{A^2}$$

Cette dernière expression indique le prix que les entreprises sont prêtes à payer pour réduire marginalement la pollution. Il apparaît déjà à ce stade la différence de substance entre la fiscalité environnementale et les deux autres. La première est nécessaire pour que les entreprises acceptent de payer une innovation sous forme d'impôt ou de rente privée alors que les secondes ne sont pas nécessaires pour qu'elles rémunèrent le capital et les ressources naturelles. En effet les deux derniers facteurs sont indispensables à la production (le capital est du travail accumulé) alors que réduire la pollution est superfétatoire (il s'agit d'une production jointe).

Le secteur des innovations est à rendement d'échelle constant. Il n'y a pas d'obsolescence schumpétérienne des techniques. Il est décrit par la fonction de production :

$$\dot{A} = \lambda K_2 A$$

Appelons V_A la valeur sous forme de rente annuelle du stock d'innovation, Sa demande par les entreprises est : $V_A = \sum R_A(i)$. Le profit intertemporel du secteur à la date t vaut

$\int_t^{+\infty} (V_A - \pi(1+k)K_2)e^{-\pi u} du$. Sa maximisation sous la contrainte de la dynamique d'accumulation des techniques est donnée par l'optimisation de l'Hamiltonien : $\int_t^{+\infty} (V_A - \pi(1+k)K_2)e^{-\pi u} du + \int_t^{+\infty} a(u)e^{-\pi u} (\lambda K_2 A - \dot{A}) du$. Le multiplicateur de Lagrange $a(u)e^{-\pi u}$ est le prix du stock disponible de technique. L'optimisation aboutit à :

$$\pi(1+k) = \lambda a A$$

$$\frac{\dot{a}}{a} = \pi - \lambda K_2 - \theta \frac{Y}{A} \frac{\lambda}{\pi(1+k)}$$

Selon la première équation, la valeur d'une innovation est distribuée aux détenteurs du capital de la branche de recherche et de développement. Selon la seconde, la valeur unitaire des rentes augmente comme le taux de profit (les rentes d'innovation sont assimilées à du capital) diminuée du taux de croissance des techniques (car les techniques existantes sont un

facteur initial d'innovation dans le secteur lui-même : effet interne) et diminuée d'un terme qui exprime la réduction de l'opportunité des innovations à mesure qu'elles se répandent (effet de dilution).

Par exemple, si le taux de profit est constant, il en résulte :

$$\pi - \theta P \frac{\lambda}{\pi} = 0, \quad \frac{\dot{a}}{a} = -\lambda K_2 \quad \text{et} \quad P = \sum P(i) = Y / A$$

La fiscalité détermine une relation entre le taux de profit et le taux de pollution. Lorsqu'elle est nulle, aucune innovation n'apparaît spontanément.

Les recettes de la branche sont de la forme $R_A - \theta \frac{Y}{A}$. Ici apparaît une seconde difficulté spécifique des innovations techniques d'environnement. Quand il n'y a pas de fiscalité, on n'investit pas. Quand il y en a une, elle est un prélèvement sur les rentes que le secteur secondaire est prêt à payer. Ainsi la fiscalité ne suffit pas à créer des rentes positives. Il est nécessaire que l'État finance les rentes d'innovation au moins partiellement. Dans la suite nous supposons qu'il les finance totalement de façon que le profit du secteur tertiaire soit nul. En outre il maintient la neutralité budgétaire afin de donner un sens précis à la notion de double dividende souvent évoquée dans ce genre de travaux. Ainsi les subventions doivent être égales aux impôts : $SUB = \theta \frac{Y}{A} + k\pi(K_1 + K_2 + K_3) + hp_R R$

Les rentes sur les techniques anciennes et nouvelles et la rémunération du capital valent :

$$SUB = \theta \frac{Y}{A} + (1+k)\pi K_2$$

$$\text{d'où : } k\pi(K_1 + K_3) + hp_R R = \pi K_2$$

La fiscalité environnementale finance les rentes, la fiscalité non environnementale le capital investi dans le secteur tertiaire. Le secteur secondaire ne paie directement que la fiscalité et non les rentes d'innovation.

Le fonctionnement du secteur de l'énergie est très différent bien qu'il résulte aussi de rendements croissants. En effet le capital investi dans le secteur sert autant à accroître les ressources qu'à les extraire, celles-ci étant consommées à la différence des techniques immatérielles.

Supposons que la consommation d'énergie corresponde à un flux R demandé par le secteur industriel. L'exploration ou l'exploitation de nouveaux gisements dépend de la taille des ressources initiales S et du capital investi dans le secteur K_3 . La dynamique du stock de ressources est donnée par :

$$\dot{S} = \mu K_3 S - R$$

La fonction de demande inverse du secteur industriel a été décrite précédemment :

$$(1+h)p_R = \alpha e^{st} \left(1 - \frac{\theta}{A}\right) K_1^{1-\alpha} R^{\alpha-1}$$

Il s'agit de maximiser le profit intertemporel sous la contrainte de la dynamique du stock des ressources :

$$\int_t^{+\infty} (p_R(u)R(u) - \pi(1+k)K_3(u))e^{-\pi u} du + \int_t^{+\infty} b(s)e^{-\pi s} (\mu K_3 S - R - \dot{S}) ds$$

où $b(t)e^{-\pi t}$, le multiplicateur de Lagrange, représente le prix actualisé en valeur présente du stock disponible.

Les conditions nécessaires s'écrivent :

$$\alpha p_R(u) = b(u)$$

$$\pi(1+k) = \mu b S$$

$$\frac{\dot{b}}{b} = \pi - \mu K_3$$

Le prix du flux de consommation (de pétrole) est proportionnel au prix du stock de pétrole en terre. Le rendement du capital y compris fiscalité est égal à la productivité marginale de la recherche corrigée de la valeur du stock de ressource disponible. En d'autres termes la rente pétrolière finance la recherche. Et la taxation du capital est reportée sur le prix de la ressource. Enfin la variation de la rente pétrolière sert à payer le capital qu'il est nécessaire d'investir dans la recherche (taux de profit), mais elle est réduite de la productivité que procure la connaissance des gisements connus.

En conséquence le prix des ressources naturelles augmente moins vite que le taux de profit. On peut parler de règle de Hotelling modifiée :

$$\frac{\dot{p}_R}{p_R} = \pi - \mu K_3$$

Si on investit suffisamment dans la recherche, il est possible de maintenir constante la ressource. Dans ce cas le prix du pétrole augmente comme le taux de profit

$\frac{\dot{p}_R}{p_R} = \frac{\dot{\pi}}{\pi} = \pi - \mu K_3$, le prix qui finance la recherche est $b = \frac{(1+k)\pi}{\mu S_0}$ et le profit du secteur est positif $PRO = \frac{1-\alpha}{\alpha}(1+k)\pi K_3$ alors qu'il était nul dans le secteur de la recherche et du développement car les techniques s'accumulaient sans obsolescence.

La croissance sans fiscalité environnementale.

En première approximation, elle est indépendante de la fiscalité si celle-ci est constante. En effet le comportement des ménages ne dépend pas de la pollution $P = \sum P(i)$ puisqu'elle est globale. Supposons qu'ils investissent une proportion constante du revenu dans l'industrie, par exemple : $\frac{\dot{K}_1}{K_1} = s \frac{Y}{K_1}$. Appelons $g_K = \frac{\dot{K}_1}{K_1}$ et $g_R = \frac{\dot{R}}{R}$ les taux de croissance du capital et des consommations énergétiques. Une croissance dite équilibrée est donnée par la dynamique du capital industriel : $\frac{dg_K}{dt} = \frac{sY}{K_1} g_K (g + \alpha(g_R - g_K)) = \frac{sY}{K_1} g_K \frac{\dot{\pi}}{\pi} = \frac{sY}{K_1} g_K (\pi - \frac{R}{S})$. A priori il existe deux croissances asymptotiques $g_K = \frac{\dot{K}_1}{K_1} = \frac{\dot{Y}}{Y} = 0$ et $g_K = g_R + \frac{g}{\alpha}$. En fait elles sont confondues en une seule qui est stable. En effet la stationnarité du taux de profit s'écrit : $\frac{\dot{\pi}}{\pi} = \frac{\dot{p}_R}{p_R} + \frac{\dot{S}}{S} = \pi - \frac{R}{S} = 0$. On en déduit que :

$$\frac{R}{S} = \pi, \quad g_R = -\frac{g}{\alpha}, \quad \frac{\dot{p}_R}{p_R} = \frac{g}{\alpha}, \quad g_K = 0 \quad \text{et} \quad \frac{\dot{S}}{S} = g_R - g_K = -\frac{g}{\alpha}.$$

Tout se passe comme si le progrès technique était affecté aux ressources pétrolières de sorte que la dépense énergétique efficace $e^{gt} R$ soit constante et que les gains de productivité soient affectés à la rémunération de la rente de matière première dans une pure tradition ricardienne.

Le taux de profit valant $\pi = \frac{1-\alpha}{1+k} (e^{gt} R)^\alpha K_1^{-\alpha}$, la dynamique au voisinage de la croissance asymptotique s'écrit : $\frac{dg_K}{dt} = -\frac{sY}{K_1} \alpha g_K^2$, ce qui montre sa stabilité.

Considérons les croissances non stationnaires. Le capital investi dans les innovations est nul, $K_2 = 0$, de sorte que A est constant. Le prix du pétrole augmente plus vite que le taux de profit ($\frac{\dot{p}_R}{p_R} = \frac{\dot{\pi}}{\pi} + g_K - g_R$) de façon à créer des ressources nouvelles. La substitution du

capital aux ressources naturelles s'effectue selon $\frac{(1-\alpha)R}{\alpha K_1} = \frac{(1+k)\pi}{(1+h)p_R}$. Les réserves naturelles diminuent au taux $\frac{\dot{S}}{S} = \frac{\dot{\pi}}{\pi} - \frac{\dot{p}_R}{p_R} = -g_K + g_R$. Comme $\frac{\dot{S}}{S} = \mu K_3 - \frac{R}{S}$, le capital investi dans l'exploration croît approximativement au même rythme que le capital industriel g_K . Ainsi la fiscalité, si elle est à taux constant, n'a aucune influence sur la croissance. Son rôle est d'influencer les niveaux. Cette séparation est bien évidemment due à l'homogénéité de la fonction de production. Il est clair que les fiscalités sur le capital et l'énergie sont redondantes dans le secteur primaire car la première est reportée sur le prix. Nous l'éliminerons. De ce fait l'équilibre budgétaire devient $k\pi K_1 + hp_R R = 0$. Le passage d'une fiscalité sur le capital à une fiscalité sur l'énergie provoque une substitution de l'énergie vers le capital sans aucun impact sur l'environnement. La neutralité sur les coûts s'écrit : $(1+k)^{1-\alpha}(1+h)^\alpha = Cste$. En différentiant $\alpha \frac{\Delta h}{1+h} + (1-\alpha) \frac{\Delta k}{1+k} = 0$. La neutralité budgétaire est plus complexe parce que les assiettes sont modifiées. Elle s'écrit $\alpha \frac{h}{1+h} + (1-\alpha) \frac{k}{1+k} = Cste$, ou encore $\alpha \frac{\Delta h}{(1+h)^2} + (1-\alpha) \frac{\Delta k}{(1+k)^2} = 0$. Si on part d'une situation où $\frac{1+h}{1+k} \square 1$, il est possible de remplacer $1-\alpha$ points de taxe sur le capital par α points de taxe sur l'énergie sans coûts pour substituer du capital à l'énergie.

La croissance avec fiscalité environnementale.

La dynamique dépend de cette fiscalité mais aussi de la norme de pollution :

$$\frac{dg_K}{dt} = \frac{sY}{K_1} g_K \left(\frac{\dot{z}}{z} + g + \alpha(g_R - g_K) \right) = \frac{sY}{K_1} g_K \frac{\dot{\pi}}{\pi}$$

$$\text{où } \frac{\dot{z}}{z} = \frac{\theta/A}{1-\theta/A} \left(\frac{\dot{A}}{A} - \frac{\dot{\theta}}{\theta} \right)$$

La pollution augmente au taux $\frac{\dot{Y}}{Y} = g + (1-\alpha)g_K + \alpha g_R$ à court terme et au taux $g_R + \frac{g}{\alpha} = 0$ à long terme. Pour la stabiliser, il faut créer une taxe θ telle que la croissance du progrès technique (l'investissement dans le secteur tertiaire) compense la croissance de la production, soit $P = Cste$ et $\lambda K_2 = \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{Y}}{Y}$. À long terme cette fiscalité n'a pas d'influence sur la croissance asymptotique puisque les techniques s'accumulent sans perte ($A \rightarrow \infty$) et la

fiscalité ne pèse plus sur la croissance ($\frac{\dot{z}}{z} \rightarrow 0$). Nous allons voir qu'il est en outre possible de maintenir les régimes de croissance transitoires en faisant varier cette fiscalité au cours du temps. Si le régime de croissance peut être analogue, il n'en est pas de même du niveau de la production et de la consommation car une partie doit être détournée pour investir dans les innovations qui économisent l'environnement.

Imaginons que l'État fixe une taxation de la pollution $\theta(t)$ et veut obtenir un niveau $P(t)$. Pour stabiliser la pollution, tout en gardant la neutralité pour les ménages et les entreprises ainsi que l'équilibre budgétaire, il faut que les recettes fiscales puissent financer les innovations :

$$k\pi K_1 + hp_R R = \pi K_2 = \frac{\pi \dot{Y}}{\lambda Y} = \frac{\pi}{\lambda} (g + (1-\alpha)g_K + \alpha g_R) > 0.$$

Contrairement à la configuration antérieure, la fiscalité non environnementale doit maintenant dégager des excédents.

L'investissement dans les techniques nouvelles économisant l'environnement dépend du taux de croissance désiré et son financement dépend de la fiscalité sur le capital et/ou les matières premières. Pour financer les innovations il est nécessaire de disposer d'une fiscalité préalable sur d'autres facteurs que l'environnement, même si la fiscalité sur l'environnement est automatiquement affectée au financement de ces rentes. Elle ne suffit pas en effet à rémunérer le capital affecté aux innovations.

La dynamique du taux de profit est donnée par les investissements dans les secteurs des innovations et des matières premières :

$$\frac{\dot{\pi}}{\pi} = \pi - \lambda \frac{\theta}{(1+k)\pi} P \quad \text{et} \quad \frac{\dot{\pi}}{\pi} = \pi - \mu K_3 - g_K + g_R$$

Il y a donc une relation indirecte entre le niveau de la fiscalité environnementale, le niveau de pollution désiré et l'investissement dans la recherche des ressources énergétiques nouvelles :

$$\lambda \frac{\theta P}{(1+k)\pi} = \mu K_3 + g_K - g_R = \frac{R}{S}$$

Cette relation est une contrainte macroéconomique pour garantir que le capital sera rémunéré de même dans tous les secteurs de l'économie.

Appelons $g_p(t)$ et $g_\theta(t)$ les taux de croissance de la norme de pollution et de la fiscalité. La relation précédente impose une relation de cohérence :

$$g_\theta + g_P = \frac{\dot{\pi}}{\pi} + g_K = \frac{\dot{P}_R}{P_R} + g_R$$

La rentabilité des innovations fixe en outre l'évolution de la rente du stock des innovations :

$$\frac{\dot{a}}{a} = g_P - g_K$$

On en déduit l'évolution des techniques :

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{\pi}}{\pi} + g_K - g_P = g_\theta$$

Il en résulte que la dynamique de la croissance est conservée :

$$\frac{\dot{z}}{z} = 0$$

Ce résultat possède trois implications de politique économique :

En premier lieu, il est possible d'atteindre une norme de pollution progressivement en accroissant progressivement le taux de la fiscalité environnementale afin de compenser la réduction des émissions. Le montant des impôts collectés θP doit croître comme la rémunération du capital πK . La propriété est conditionnelle à l'homogénéité de la fonction de production.

En second lieu, la création de la fiscalité initiale ne peut être que discrète et non progressive (sinon le prélèvement fiscal resterait nul). On retrouve ici par d'autres moyens le fait que la fiscalité est le fait générateur.

En troisième lieu, les transferts de fiscalité sur les autres facteurs s'annulent progressivement au cours du temps car les économies environnementales sont irréversibles.

L'équivalence (à tout instant) entre les trois impôts pour un même niveau de pollution s'écrit sous la forme de deux équations :

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{\Delta k}{1+k} \text{ et } \alpha \frac{\Delta h}{(1+h)^2} + (1-\alpha) \frac{\Delta k}{(1+k)^2} = 0$$

Il est équivalent d'accroître la fiscalité sur l'environnement et sur le capital et d'abaisser simultanément la fiscalité sur les matières premières.

Il n'y a pas d'équivalence entre fiscalités sur l'environnement et sur l'énergie. L'équivalence ne peut qu'être ternaire, passer par un troisième facteur. Ce point est général si on comprend

que les innovations en matière d'économie d'environnement, comme les découvertes de nouvelles ressources naturelles, doivent être produites à l'aide de facteurs communs avec la production industrielle.

BIBLIOGRAPHIE

- Bénassy J. P. (1984) : « Macroéconomie et théorie du déséquilibre », Dunod, Paris, France.
- Bernard A. et M. Vielle (2000) : « Comment allouer un coût global d'environnement entre pays : permis négociables et taxes ? », *Économie Internationale*, N°82, pp. 103-136.
- Bernard A. et M. Vielle (2003) : « Measuring the welfare cost of climate change policies: a comparative assessment based on the computable general model GEMINI-E3 », *Environmental Modeling and Assessment* 8 (3), 199-217.
- Bernard A., M. Vielle et L. Viguié (2005) : « Premières simulations de la directive européenne sur les quotas d'émission avec le modèle GEMINI-E3 », *Économie et Prévision*, 169-171, pp. 171-196.
- CAS (2008) : « Rapport de la commission valeur du carbone ».
- Coase R. (1960) : « The problem of social cost », *Journal of law and economics*, 1.
- Coase R. (1974) : « The lighthouse in economics », *Journal of law and economics*, 357.
- Chao H. P et R. Wilson (1993) : « Option value of emission allowances » *Journal of Regulatory Economics*, 5, pp 233-249.
- Chauvin S. et P. Villa (2003) : « Le Currency Board à travers l'expérience de l'Argentine », Document de travail du CEPII N°2003-07.
- Convery F., D. Ellerman et Ch. de Perthuis (2007) : « The european carbon market in action : lessons from the first trading period », APREC, Mission climat de la Caisse des Dépôts.
- Cropper M. L. et E. O. Wallace (1992) : « Environmental Economics : a survey », *Journal of Economic Literature*, vol XXX, N°2, june, 675-740.
- Ellerman D. et J. Parsons (2006) : « Positions courtes, prix inter-périodes et bancabilité », *Tendance carbone* N°5, juillet.
- Ellerman D., P.L. Joskow, R. Schmalensee, J.P. Montero et E.M. Bailey (2000) : « Markets for clean air program », Cambridge University Press, UK.
- Frémont R. (2006) : « L'architecture du système européen d'échange de quotas : un Bretton Woods environnemental », *Revue d'Économie Financière*, mars, 31-46.

- Hourcade J. Ch. (1991) : « Calcul économique et construction sociale des irréversibilités : leçons de l'histoire énergétique récente », in « Les figures de l'irréversibilité en économie », eds Boyer R., B. Chavance et O. Godard, Paris, École des Hautes Études en Sciences Sociales, 279-310.
- Laurent E. et J. Le Cacheux (2007) : « Grenelle de l'environnement : peut-on se passer d'une fiscalité écologique ? », Lettre de l'OFCE, N°291, octobre.
- Leseur A. (2006) : « Les procédures d'allocation des quotas et la question de l'équité (France/Europe) », Revue d'Économie Financière, N°83, mars, 133-149.
- Malinvaud E. (1971) : « Leçons de théorie microéconomique », Dunod, Paris, France.
- Nordhaus W. D. (1991) : « A sketch of the economics of the greenhouse effect », American Economic Review, vol. 81, N°2, pp. 146-150, may.
- De Perthuis Ch. (2006) : « Le marché européen des quotas de CO2 », Revue d'Économie Financière, mars, 1-9.
- OECD (2005) : « Energy balances, années 2004-2006 »,.
- De Perthuis Ch. et J.C. Boccon-Girod ((2006) : « Le marché européen des quotas de CO2 : leçons d'un an de fonctionnement », Revue d'Économie Financière, mars, 115-132.
- Porter M. E. et C. van der Linde (1995) : « Toward a new conception of the environment competitiveness relationship », Journal of Economic Perspectives, 9 (4), p 97-118.
- PNAQ (2007) : « Projet de plan national d'affectation des quotas d'émissions de gaz à effet de serre, période 2008-2012 », Ministère de l'écologie et du développement durable, avril.
- Quirion Ph. (2007) : « Comment faut-il distribuer les quotas échangeables de gaz à effet de serre ? », Revue Française d'Économie, vol. XXII, octobre.
- Romer P. M. (1990) : « Endogenous technical change », Journal of Political Economy, vol 98, N, S71-S102, october.
- Rousse O. (2008) : « Le rôle des permis d'émission et de l'incertitude dans l'exercice d'un pouvoir de marché sur les marchés de gros de l'électricité : la stratégie de rétention de la capacité », Revue de l'Énergie, pp. 82-93, mars-avril 2008.
- Schleich J., K. M. Ehrhart, Ch. Hoppe, S. Seifert (2006) : « Banning banking in EU emissions trading? », Energy Policy, N°34, 112-120.
- Sterdyniak H. et P. Villa (1986) : « Des conséquences conjoncturelles de la régulation monétaire », Revue Économique, vol 37, N°6, Nov., 963-998.
- Stern N. (2006) : « Report on the Economics of Climate Change », october.
- Varian Hal R. (1978) : « Microeconomic Analysis », W. W. Norton, New York, London.

LISTE DES DOCUMENTS DE TRAVAIL DU CEPII

*Une liste complète est disponible sur le site du CEPII : [\\www.cepii.fr](http://www.cepii.fr).
Pour recevoir un message d'alerte, contacter Sylvie Hurion (sylvie.hurion@cepii.fr).*

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Auteurs</i>
2009-04	The trade-growth nexus in the developing countries: A quantile regression approach	G. Dufrénot V. Migno & C. Tsangarides
2009-03	Price Convergence in the European Union: within Firms or Composition of Firms?	I. Méjean & C. Schwellnus
2009-02	Productivité du travail : les divergences entre pays développés sont-elles durables ?	C. Bosquet & M. Fouquin
2009-01	From Various Degrees of Trade to Various Degrees of Financial Integration: What Do Interest Rates Have to Say	A. Bachellerie, J. Héricourt & V. Mignon
2008-29	Trade Prices and the Euro	J. Martin & I. Méjean
2008-28	Commerce international et transports : tendances du passé et prospective 2020	C. Gouel, N. Kousnetzoff & H. Salman
2008-27	The Erosion of Colonial Trade Linkages after Independence	T. Mayer, K. Head & J. Ries
2008-26	Plus grandes, plus fortes, plus loin... Performances relatives des firmes exportatrices françaises	M. Crozet, I. Méjean & S. Zignago
2008-25	A General Equilibrium Evaluation of the Sustainability of the New Pension Reforms in Italy	R. Magnani
2008-24	The Location of Japanese MNC Affiliates: Agglomeration, Spillovers and Firm Heterogeneity	T. Inui, T. Matsuura & S. Poncet
2008-23	Non Linear Adjustment of the Real Exchange Rate Towards its Equilibrium Values	S. Béreau, A. Lopez Villavicencio & V. Mignon
2008-22	Demographic Uncertainty in Europe – Implications on Macro Economic Trends and Pension Reforms – An Investigation with the INGENUE2 Model	M. Aglietta & V. Borgy
2008-21	The Euro Effects on the Firm and Product-Level Trade Margins: Evidence from France	A. Berthou & L. Fontagné
2008-20	The Impact of Economic Geography on Wages: Disentangling the Channels of Influence	L. Hering & S. Poncet

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Auteurs</i>
2008-19	Do Corporate Taxes Reduce Productivity and Investment at the Firm Level? Cross-Country Evidence from the Amadeus Dataset	J. Arnold & C. Schwellnus
2008-18	Choosing Sensitive Agricultural Products in Trade Negotiations	S. Jean, D. Laborde & W. Martin
2008-17	Government Consumption Volatility and Country Size	D. Furceri & M. Poplawski Ribeiro
2008-16	Inherited or Earned? Performance of Foreign Banks in Central and Eastern Europe	O. Havrylchyk & E. Jurzyk
2008-15	The Effect of Foreign Bank Entry on the Cost of Credit in Transition Economies. Which Borrowers Benefit most?	H. Degryse, O. Havrylchyk, E. Jurzyk & S. Kozak
2008-14	Contagion in the Credit Default Swap Market: the Case of the GM and Ford Crisis in 2005.	V. Coudert & M. Gex
2008-13	Exporting to Insecure Markets: A Firm-Level Analysis	M. Crozet, P. Koenig & V. Rebeyrol
2008-12	Social Competition and Firms' Location Choices	V. Delbecque, I. Méjean & L. Patureau
2008-11	Border Effects of Brazilian States	M. Daumal & S. Zignago
2008-10	International Trade Price Indices	G. Gaulier, J. Martin, I. Méjean & S. Zignago
2008-09	Base de données CHELEM – Commerce international du CEPII	A. de Saint Vaulry
2008-08	The Brain Drain between Knowledge Based Economies: the European Human Capital Outflows to the US	A. Tritah
2008-07	Currency Misalignments and Exchange Rate Regimes in Emerging and Developing Countries	V. Coudert & C. Couharde
2008-06	The Euro and the Intensive and Extensive Margins of Trade: Evidence from French Firm Level Data	A. Berthou & L. Fontagné
2008-05	On the Influence of Oil Prices on Economic Activity and other Macroeconomic and Financial Variables	F. Lescaroux & V. Mignon
2008-04	An Impact Study of the EU-ACP Economic Partnership Agreements (EPAs) in the Six ACP Regions	L. Fontagné, D. Laborde & C. Mitaritonna
2008-03	The Brave New World of Cross-Regionalism	A. Tovias
2008-02	Equilibrium Exchange Rates: a Guidebook for the Euro-Dollar Rate	A. Bénassy-Quéré, S. Béreau & V. Mignon

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Auteurs</i>
2008-01	How Robust are Estimated Equilibrium Exchange Rates? A Panel BEER Approach	A. Bénassy-Quéré, S. Béreau & V. Mignon

Organisme public d'étude et de recherche en économie internationale, le CEPII est placé auprès du Centre d'Analyse Stratégique. Son programme de travail est fixé par un conseil composé de responsables de l'administration et de personnalités issues des entreprises, des organisations syndicales et de l'Université.

Les *documents de travail* du CEPII mettent à disposition du public professionnel des travaux effectués au CEPII, dans leur phase d'élaboration et de discussion avant publication définitive. Les *documents de travail* sont publiés sous la responsabilité de la direction du CEPII et n'engagent ni le conseil du Centre, ni le Centre d'Analyse Stratégique. Les opinions qui y sont exprimées sont celles des auteurs.

Les *documents de travail* du CEPII sont disponibles sur le site : <http://www.cepii.fr>.

CEPII

9, RUE GEORGES PITARD, 75740 PARIS CEDEX 15

SYLVIE HURION – PUBLICATIONS

TÉL : 01 53 68 55 14 - FAX : 01 53 68 55 04

sylvie.hurion@cepii.fr

ISSN : 1293-2574

