

Economie Environnementale (Master I)

Cours du Professeur Philippe Mahenc

1 - Introduction

Les décisions de consommation et de production génèrent différentes sortes de nuisances pour l'environnement. Ainsi que l'a reconnu le Protocole de Kyoto, la combustion d'énergie fossile qu'entraînent la plupart de nos activités économiques est responsable de l'émission de gaz à effet de serre. D'autres exemples de nuisances préoccupantes pour l'environnement sont la diminution de la couche d'ozone, les émissions de particules dans l'air, les effluents chimiques, les déchets nucléaires, les résidus de pesticides et de nitrates responsables de l'érosion des sols et de la pollution de l'eau, la production d'emballages difficilement dégradables, la diminution de la biodiversité, l'épuisement d'une ressource causé par sa surexploitation, la disparition d'espèces animales trop consommées, etc. Les économistes appellent ces nuisances des "externalités négatives" pour indiquer que les effets indésirables sont externes à un marché et ne sont donc pas évalués directement par un système de prix. En conséquence, les externalités négatives peuvent affecter plus de monde que ne compte la clientèle de l'entreprise polluante.

C'est à Pigou (1920) que l'on doit la définition d'une externalité. Une externalité est la répercussion directe d'actions prises par l'entreprise sur le bien-être ou le bénéfice de la société. Le qualificatif "direct" exclut tout effet par l'intermédiaire des prix et donc une évaluation par le marché. Une externalité peut être positive ou négative selon qu'elle améliore ou détériore le bien-être d'autrui.

Par exemple, la pollution que génère la production d'une entreprise est une externalité pour laquelle il n'y a pas de marché. Aucun mécanisme de prix ne rend compte du coût que la pollution fait subir à la société. Toutes les interactions entre les entreprises ne sont pas des externalités. On sait qu'une entreprise réduit le prix du marché en vendant plus, ce qui affecte en conséquence le bénéfice de sa rivale. Cette action ne génère pas pour autant une externalité. En revanche, la profitabilité d'un bateau de pêche peut dépendre de l'activité d'une raffinerie de pétrole voisine par le biais, non seulement du prix du pétrole, mais aussi des émissions polluantes de la raffinerie. Seule la pollution constitue *stricto sensu* une externalité dans ce cas. La pollution est une externalité négative car elle réduit le bien-être ou le profit de ceux qui subissent les émissions polluantes comme le bateau de pêche. Mais il existe aussi des externalités positives qui améliorent le profit ou le bien-être d'autrui.

L'individu qui émet une externalité en supporte le coût particulier mais pas le bénéfice ou le coût collectif. En général, le marché ne permet pas d'organiser de manière efficace la production et l'allocation des externalités. Il peut alors être justifié que le gouvernement intervienne pour favoriser la production d'externalités positives et restreindre celle d'externalités négatives.

Certaines entreprises créent des externalités négatives entre elles lorsqu'elles rivalisent pour exploiter une ressource commune en accès libre, qu'elle soit renouvelable comme la faune marine ou terrestre, les réserves d'eau (nappes phréatiques, fleuves, mers fermées), ou bien épuisable comme les gisements de pétrole et de gaz naturel. L'externalité causée par l'activité d'une entreprise consiste alors en une augmentation du coût d'exploitation de la ressource pour les autres. L'exemple de la pêche illustre bien le problème. L'exploitation

de la ressource halieutique par un bateau rend le poisson plus rare et donc plus difficile à capturer pour les autres bateaux, sans qu'aucun prix ne reflète ce surcoût au moment de pêcher. Il résulte de cette externalité une exploitation excessive de la ressource, qui risque de provoquer une disparition de l'espèce. C'est alors une menace sur la biodiversité qui, à son tour, constitue une nouvelle externalité négative.

Longtemps habituées à ne rien payer pour les dommages naturels que cause la pollution, les entreprises se sont mises à afficher plus ostensiblement en début de siècle leur intention de moins dégrader l'environnement. Ce phénomène s'observe par un recours plus ou moins spontané à la certification environnementale et à la multiplication de labels « verts », « bio » ou « durables », garantissant que les produits vendus respectent d'une manière ou d'une autre l'environnement. Selon le rapport 2009 de l'Autorité de régulation professionnelle de la publicité, le nombre de messages liés à l'environnement avait quintuplé depuis trois ans.

Un tel intérêt des entreprises pour la qualité de l'environnement peut surprendre puisqu'il s'agit d'un bien public dont l'agrément ne peut faire l'objet, par essence, d'aucune appropriation individuelle. En quoi une entreprise, mue par la quête de profit, peut-elle s'intéresser à des biens comme la qualité de l'eau, de l'air, de la terre, la biodiversité, dont la jouissance dépasse le seul champ de sa clientèle?

Qu'un espace public soit beau, naturellement riche et préservé des dégâts causés par l'industrie des hommes, est agréable pour tous, sans exclusive. C'est précisément cette absence d'exclusive qui empêche l'émergence spontanée d'un marché pour la qualité de l'environnement. Or, le marché est un système par lequel les hommes “disent” habituellement la valeur qu'ils accordent aux choses en affichant un prix. Ces choses sont en général des marchandises ou des services pour lesquels on peut définir des droits de propriété — les économistes les appellent des “biens privés” — et le prix donné par le marché permet aux hommes d'échanger entre eux les biens privés en se transférant leurs droits de propriété. Comme la protection et la qualité de l'environnement sont des biens par essence “publics”, il est pratiquement impossible de définir des droits de propriété sur de tels biens et donc improbable de voir un marché afficher un quelconque prix pour eux. L'absence d'évaluation des dommages naturels par le marché rend ainsi très étonnant que l'entreprise puisse s'en soucier. Si la qualité de l'environnement est un bien public qu'on ne peut s'approprier, ni donc vendre ou acheter, quel profit y aurait-il à investir dedans? Pourquoi même s'inquiéter d'endommager l'environnement, dont la jouissance est gratuite, si cela doit contribuer à une activité économique qui est, elle, rémunératrice? Si l'environnement n'a pas de prix, si son respect ou sa dégradation sont des données externes au marché, pourquoi l'entreprise, son PDG, ses employés, éventuellement ses actionnaires, devraient-ils s'y intéresser?

L'objectif de ce cours est de répondre à ces questions.

Le plan du cours est le suivant:

1. Introduction
2. La dimension politique de l'économie de l'environnement
 - (a) Le problème de la pollution
 - (b) Les malentendus propres à l'économie de l'environnement
3. L'environnement naturel est un bien public

- (a) La logique socialement néfaste des comportements de passager clandestin
 - (b) Livré à lui-même, le marché génère trop de pollution
 - (c) Le problème de la pollution transfrontalière
4. Les marchés de produits verts
- (a) Exemple de monopole obtenu par différenciation verte du produit
 - (b) Duopole avec une entreprise verte différenciée verticalement
 - (c) Le choix de la qualité environnementale en régime de concurrence en prix
5. Le système incitatif de régulation environnementale
- (a) Taxes et subventions environnementales
 - (b) La règle de Pigou en concurrence parfaite
 - (c) La règle de Pigou en monopole
 - (d) Procédé de dépollution en fin de cycle
 - (e) Politiques de régulation environnementale: taxe Pigouvienne et système du dépôt remboursé (la consigne)

2 - La dimension politique de l'économie de l'environnement

L'économie de l'environnement étudie l'impact de l'économie sur l'environnement, la signification de l'environnement pour l'économie et la manière adéquate de réguler l'activité économique pour que s'établisse un équilibre entre l'efficacité de l'économie, la protection de l'environnement et d'autres objectifs sociaux comme l'éducation, la protection sociale ou la défense nationale. Un gaz tel que le CO₂ intéresse l'économie dès lors qu'il a des effets polluants sur la société à travers, par exemple, le réchauffement du climat. Les producteurs d'électricité, les industriels de l'acier, de la chimie, du ciment ou les raffineries émettent du CO₂ parce que c'est un produit collatéral de la marchandise que veulent les consommateurs. Ceux-ci achètent le produit émetteur de CO₂ tout en subissant un désagrément dû à la pollution par le CO₂. Parce qu'elle met au centre de ses préoccupations le comportement des producteurs et les préférences des consommateurs, l'économie joue un rôle fondamental dans la compréhension et l'analyse des problèmes environnementaux. Ceux-ci font l'objet de recherche dans d'autres domaines scientifiques que l'économie, tels que la biologie ou la chimie. Mais l'économie a pour ambition spécifique d'aider à concevoir des politiques susceptibles de résoudre les problèmes environnementaux.

Dans la plupart des économies contemporaines, on s'en remet au marché des biens et des services pour ajuster les coûts de production aux demandes des consommateurs. Si les ménages et les entreprises agissent de manière parfaitement concurrentielle, la "Main Invisible" chère à Adam Smith peut fonctionner et le résultat du marché évite un certain gaspillage: on ne peut trouver meilleure manière d'échanger le bien sans léser un intervenant sur le marché. C'est la même idée que formalisent les économistes à travers le "premier théorème du bien-être": la mise en concurrence des intérêts particuliers sur un marché

résulte en une allocation des ressources efficace, et donc satisfaisante pour l'intérêt général. Cette notion d'efficacité requiert que la valeur du bien pour la société coïncide avec son prix coûtant. Mais le coût en question concerne uniquement la production du bien, son transport et sa mise en marché, non pas le coût qu'il inflige à la société par ses émissions polluantes. Or, ce sont les équilibres auxquels se stabilisent les marchés par libre fluctuation des prix qui déterminent les niveaux de pollution dont souffre la société.

Le problème majeur avec la pollution est qu'en général, les marchés ne fonctionnent pas de manière à assurer un niveau de pollution socialement satisfaisant. Dans un contexte de concurrence parfaite, le prix qui équilibre le marché d'un bien ou d'un service reflète son utilité marginale (le supplément de valeur qu'il y a à consommer plus pour la société) et son coût marginal (le supplément de coût qu'il y a à produire plus pour les producteurs). Mais un tel prix d'équilibre ne renseigne pas sur le dommage causé à la société par le bien ou le service s'il est polluant. La validité du premier théorème du bien-être suppose que les acteurs du marché n'interagissent entre eux que par l'intermédiaire du système de prix. Ce n'est pas toujours le cas comme le montre l'exemple d'entreprises qui polluent leur environnement par leur activité productrice. Dans la mesure où ces entreprises ne paient rien pour la pollution qu'elles émettent, elles imposent à la société une nuisance pour laquelle il n'existe pas de prix dans une économie de marché pure.

2.1 - Le problème de la pollution

La pollution soulève deux questions fondamentales: Quel est le "bon" niveau de pollution? Comment amener les pollueurs à le respecter dans la mesure où on sait le déterminer?

Quelle est la "bonne" quantité de pollution compatible avec les usages, les goûts, les habitudes de consommation et les contraintes de production des sociétés contemporaines? Les économistes utilisent les termes de niveau "efficace" ou "optimal" de pollution pour désigner le niveau de pollution socialement acceptable, associé à l'allocation des ressources résultant du fonctionnement de l'économie. Déterminer ce niveau optimal de pollution n'est pas une tâche aisée. Il dépend à la fois du coût privé que supportent les producteurs pour offrir leurs biens, et du coût imposé à la société par la pollution.

Pour les économistes, le coût privé qu'un producteur considère dans son calcul économique de maximisation du profit devrait intégrer, en plus du prix de l'énergie et des facteurs qu'il doit acheter pour produire, un coût d'opportunité lié à l'existence d'énergies ou de facteurs alternatifs, éventuellement plus propres pour l'environnement. Le coût d'opportunité est défini comme le bénéfice perdu par le producteur à ne pas utiliser ces techniques de production alternatives. Comment bien choisir entre les différentes options de production? Il ne s'agit pas d'une question qui relève de la seule compétence de l'ingénieur. Une firme a l'opportunité d'intervenir à différentes étapes de son processus de production pour réduire son niveau de pollution: elle peut ainsi intervenir en fin de processus en installant des filtres, modifier le processus de production en utilisant des énergies ou d'autres facteurs plus propres, changer les caractéristiques du produit, déplacer l'activité de production pour réduire le dommage environnemental, investir en R&D pour trouver des techniques de production moins polluantes, financer des campagnes publicitaires visant à éveiller l'intérêt des consommateurs pour l'environnement. De même, les consommateurs peuvent réduire de leur côté leur consommation polluante pour s'orienter vers des achats plus respectueux de l'environnement, et peser ainsi par leurs décisions sur celles des producteurs.

Déterminer le coût social de la pollution est aussi une affaire complexe. Les économistes utilisent le terme de “dommage” causé par la pollution à l’environnement pour désigner à la fois les formes multiples sous lesquelles la pollution affecte les gens et leurs niveaux de gravité relatifs. Dans le cas de la pollution de l’air, par exemple, le dommage englobe la visibilité réduite, l’encrassage des immeubles, les irritations physiques, les affections respiratoires, tous les soucis de santé et les peurs qui en découlent comme celle suscitée par l’augmentation du nombre de cancers de la thyroïde observée après le passage du nuage de Tchernobyl en 1986. Notons que si les effets de la pollution ne sont pas toujours tangibles dans certains cas, ils le sont de manière dramatique dans d’autres, comme par exemple la pollution de l’eau par les déchets de l’homme qui cause chaque année la mort de millions de personnes dans de nombreux pays en développement.

Les économistes réduisent tous ces effets à une seule mesure: le consentement à payer pour réduire la pollution. Il représente le montant des ressources que les gens sont prêts à consacrer à la réduction de la pollution. L’idée est que chacun veut bien, bon an mal an, payer de sa poche pour réduire la pollution ou s’en protéger, à défaut de faire payer le pollueur. La somme de ces valeurs qu’a l’environnement pour chacun donne une valeur sociale pour réduire la pollution. Evidemment, ce consentement à payer qui reflète la valeur que représente pour une société la qualité de son environnement, n’est pas facile à mesurer et fait l’objet de nombreuses recherches en économie de l’environnement.

En comparant la valeur sociale au coût de réduire la pollution, on peut en théorie déterminer le niveau socialement optimal de pollution. Mais comment l’atteindre en pratique? C’est l’objectif assigné à la politique de régulation environnementale.

Suivant le mécanisme de planification centralisée éprouvé dans les économies socialistes avant la chute du Mur de Berlin, on pourrait s’en remettre à une administration ou une agence gouvernementale pour indiquer à chacun dans quelle mesure il peut polluer. Mais ce genre d’intervention est d’autant plus difficile à mettre en oeuvre que le nombre de ménages et d’entreprises concernés par la pollution est important. On ne peut négliger le coût administratif que suppose le travail de réglementation, de contrôle, d’inspection par une agence telle que l’Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie (ADEME) en France. La régulation environnementale peut prendre d’autres formes moins autoritaires que la réglementation, en recourant à des instruments qui incitent les ménages et les entreprises à prendre en considération le dommage environnemental dans leurs calculs économiques. Il s’agit pour l’essentiel de mesures fiscales ou de mise en place de marchés d’émissions polluantes.

2.2 - Les malentendus propres à l’économie de l’environnement

Il existe plusieurs malentendus concernant la manière dont les économistes réfléchissent à l’environnement. Les économistes préconisent volontiers les solutions de marché pour résoudre les problèmes de production et d’échange des biens et services. Le marché a pour principale vertu d’afficher un prix qui signale à la fois le coût marginal de la marchandise aux producteurs/vendeurs et la valeur marginale de la marchandise aux consommateurs/acheteurs de cette marchandise. Ce signal permet de coordonner les échanges entre vendeurs et acheteurs d’une manière efficace dans des conditions de concurrence parfaite. Toutefois, les économistes savent que les problèmes de production et d’échange diffèrent selon la nature du bien ou du service échangé, c’est à dire, selon qu’il est privé— et donc

appropriable —ou public— et plus difficilement appropriable. Cette distinction entre ce qui est privé ou public est propre aux économistes. Elle fait partie de leur jargon et n'est pas nécessairement bien comprise dans d'autres disciplines des sciences sociales et naturelles.

Cette incompréhension est à l'origine de quatre grands malentendus, communément diffusés dans les médias et la presse.

Le malentendu du marché universel— Selon ce malentendu, les économistes pensent que les marchés résolvent tous les problèmes. Le “premier théorème du bien-être” indique que les marchés privés fonctionnent par eux-mêmes de manière parfaitement efficace, sans intervention du gouvernement, pourvu que certaines conditions soient réunies. Ce théorème, qui se démontre assez facilement, est très puissant puisqu'il signifie qu'on n'a pas besoin de dire aux producteurs de biens et services quoi vendre, ni à quels consommateurs. Au contraire, les producteurs et les consommateurs, guidés par leur intérêt particulier, se rencontrent sur un marché, s'engagent dans des échanges et réalisent ce qu'il y a de mieux pour le plus grand nombre, comme s'ils étaient "guidés par une main invisible". L'obtention d'un bien-être général maximum est ce que les économistes qualifient par le terme d'efficacité, en l'appliquant aux marchés concurrentiels.

Les économistes des écoles de commerce y font référence pour identifier les marchés où les conditions nécessaires de l'efficacité sont en apparence réunies. Leur exemple favori est celui des marchés boursiers où interviennent de nombreux acheteurs et vendeurs avec une information correcte— du moins, c'était ce qu'on croyait avant les crises financières mondiales des années 2007-2008 —et des coûts de transaction faibles, pour échanger des marchandises bien définies sur la base de droits de propriété exécutoires.

D'autres économistes, plus particulièrement intéressés par la politique publique, ont une approche différente du premier théorème du bien-être. En explicitant clairement les conditions sous lesquelles les marchés sont efficaces, ce théorème indique aussi les conditions sous lesquelles ils ne le sont pas. Les marchés privés sont parfaitement efficaces pourvu que les biens échangés ne soient pas publics, qu'il n'y ait pas d'externalités, que ni les acheteurs ni les vendeurs ne soient en monopole, qu'il n'y ait pas de rendements croissants d'échelle, qu'il n'y ait aucun problème d'information, qu'il n'y ait pas de coûts de transaction, qu'il n'y ait pas de taxes, que la propriété ne soit pas commune ou qu'aucune distortion ne survienne entre les coûts payés par les acheteurs et les bénéfices reçus par les vendeurs. À l'évidence, ces conditions sont très restrictives. En général, elles ne sont pas simultanément satisfaites dans le monde réel. Par conséquent, lorsqu'un marché est défaillant, le même théorème offre une ligne directrice. Pour n'importe quel marché, il permet de se poser la question de savoir si le nombre de vendeurs est suffisamment faible pour prendre des mesures antitrust, si les rendements d'échelle sont assez grands pour tolérer l'existence d'un vendeur unique sur un marché régulé, ou si les bénéfices attendus du bien ou du service sont publics, justifiant qu'un gouvernement en assure la fourniture. Un bien public, comme la lumière d'un phare, fait le bonheur d'un usager supplémentaire sans qu'il en coûte rien à la société.

Avec une externalité négative telle que la pollution de l'environnement, le coût social de produire peut excéder la valeur du produit pour les consommateurs. Si on laisse le marché livré à lui-même, il y a trop de produits polluants qui sont échangés.

Il n'est pas non plus recommandé de laisser faire le marché pour des ressources en propriété commune ou en accès libre. Les exploitants considèrent seulement leurs propres coûts et non pas les coûts qu'ils font subir aux autres exploitants en raréfiant la ressource. C'est ainsi que la ressource s'épuise trop rapidement.

Il faut donc admettre que le marché ne résout pas tous les problèmes à lui seul. En particulier dans le domaine de l'environnement, les marchés qui fonctionnent parfaitement sont l'exception plutôt que la règle. L'intervention du gouvernement peut être nécessaire pour corriger ces défaillances de marché, par exemple en restreignant les émissions polluantes ou bien en limitant l'exploitation des ressources en libre accès.

Le malentendu des solutions de marché— Un deuxième malentendu est que les économistes recommandent toujours une solution de marché pour un problème de marché. Les économistes ont tendance à rechercher des instruments de politique publique qui régulent un marché surtout en lui permettant de fonctionner par lui-même de manière efficace. Par exemple, si la pollution impose des coûts élevés à la société et que ces coûts ne sont signalés par aucun prix faute de marché, le gouvernement peut imposer aux pollueurs de payer une taxe sur leurs émissions polluantes qui reflète ces coûts. Qu'ils choisissent ou non de payer la taxe, les pollueurs sont amenés à intégrer le prix de la pollution dans leurs calculs privés puisqu'une facture à ce sujet leur est adressée. Minimisant tous les coûts qu'ils supportent, les pollueurs doivent, en théorie, engager par eux-mêmes un effort efficace de dépollution. Cette approche politique est une solution de marché dans la mesure où le gouvernement affiche un prix pour la pollution et laisse les pollueurs décider quelle est la meilleure manière de payer ce prix. De manière équivalente, le gouvernement peut aussi organiser un marché de droits à émettre un montant limité de polluant. Un tel marché fonctionnera s'il y a beaucoup d'acheteurs et de vendeurs, si tous sont bien informés et si toutes les autres conditions du "premier théorème" sont remplies. Les échanges sur un marché de permis à polluer sont efficaces pourvu que toute entreprise affectée par des coûts élevés de dépollution puisse acheter à une entreprise à coûts faibles de manière à réduire le coût total de dépollution.

Dans ce cas, le rôle du gouvernement est de faire respecter les droits et devoirs des propriétaires de permis à polluer de sorte que chaque unité de pollution émise corresponde à la propriété d'un permis pour une unité exactement. Ainsi, le marché du produit polluant fonctionnera lui aussi puisque le producteur devra payer le prix pour chaque permis signalant le coût social de la pollution concernée.

Les marchés de permis échangeables offrent de bonnes solutions dans certains cas, mais ils n'en restent pas moins des marchés dont l'efficacité dépend de conditions particulières. Or, ces conditions ne sont pas toujours réunies. Ainsi, un pollueur peut détenir un trop grand pouvoir de marché, le gouvernement peut avoir du mal à mesurer soit le montant des dégâts sociaux causés par la pollution, soit la part de la pollution imputable à une industrie plutôt qu'à une autre. Les instruments de marché n'offrent pas toujours la solution adéquate à un problème d'environnement.

Le malentendu des prix de marché— Un autre malentendu est que les économistes ont recours à des prix de marché pour évaluer des solutions qui échappent au marché. Ils ont besoin de ces prix pour identifier un objectif public tel que, par exemple, la préservation de la faune ou de la flore, ou l'amélioration de la qualité de l'environnement. Ils essaient souvent d'estimer quelle mesure politique est la plus efficace au bénéfice net qu'elle rapporte. Bien sûr, cela suppose qu'on soit en mesure d'évaluer à la fois les coûts et les bénéfices d'une mesure politique. Pour cela, les économistes privilégient l'usage des prix du marché chaque fois que c'est possible, parce que ces prix révèlent la valeur que les membres d'une société attachent à une ressource commune ou à l'agrément d'un bien public.

Les économistes ont plus de réticence à demander directement aux usagers ce que les choses valent pour eux, car ils doutent de l'honnêteté des réponses. Ils pensent plus volontiers

que les gens révèlent leurs préférences à travers les décisions qu'ils prennent, comme par exemple lorsqu'ils paient pour vivre dans un environnement où l'air est moins pollué.

Cela ne signifie pas pour autant que les économistes sont exclusivement intéressés par la valeur monétaire des choses. Les flux monétaires qui constituent le produit national brut ne représentent qu'une partie des flux économiques. Le champ de l'économie englobe l'allocation et l'utilisation de toutes les ressources rares.

Par exemple, la valeur économique des dommages sanitaires dus à la pollution de l'environnement est plus grande que la somme des coûts des soins et des salaires perdus à cause des maladies, car elle inclut la souffrance et la douleur. Il se peut que les économistes utilisent le prix du marché comme une mesure indirecte des préférences révélées, plutôt que de se fier aux préférences déclarées, mais le but consiste à évaluer les pertes totales que subissent les individus.

Autre exemple, la valeur économique des forêts tropicales ne se limite pas à leur valeur financière en tant que réservoir de futurs produits pharmaceutiques ou site de tourisme écologique. Ces usages ne constituent qu'une petite part de la valeur économique correctement définie. Les économistes reconnaissent depuis longtemps l'importance de la valeur "hors-usage", comme la valeur de l'environnement liée à la biodiversité et au caractère naturel d'un site préservé de l'industrialisation. La nature publique de ces biens rend particulièrement difficile d'en mesurer la valeur de manière empirique puisqu'on ne dispose pas de prix de marché. Les analyses coût-bénéfice des politiques publiques ne peuvent pas s'appuyer exclusivement sur les prix de marché.

Les économistes insistent pour convertir toutes sortes de valeurs différentes en termes monétaires parce qu'on a besoin d'une unité de mesure commune pour les additionner. Comment autrement additionner les bénéfices d'un air plus propre, d'un climat moins perturbé par les gaz à effet de serre, et les comparer aux coûts de substituer les énergies renouvelables aux énergies fossiles? L'argent est un moyen de mesure imparfait, c'est évident, mais il a le mérite d'être disponible pour comparer divers biens et services entre eux.

Le malentendu de l'efficacité— Le dernier malentendu est que les analyses économiques sont plus concernées par l'efficacité que par la distribution des richesses. De nombreux économistes sont plus attentifs aux mesures du bien-être social agrégé qu'aux mesures de distribution entre membres de la société des coûts et des bénéfices générés par les politiques publiques. La raison en est qu'on peut déterminer l'amélioration de l'efficacité économique à travers un critère simple et non-ambigu, celui de l'augmentation des bénéfices nets totaux. En revanche, ce qui constitue une amélioration de l'équité en termes de distribution fait l'objet de profondes controverses. Il n'existe pas de consensus sur la manière d'unifier les problèmes d'efficacité et de distribution au sein d'un unique modèle économique.

Il arrive souvent que les instruments de régulation environnementale aient des effets redistributifs contestables comme l'a montré la réaction des "gilets jaunes" à l'augmentation du prix de l'essence. Au mieux, ce que peut faire un gouvernement grâce aux données disponibles, c'est d'estimer l'impact des politiques environnementales sur diverses catégories de la population.

3 - L'environnement naturel est un bien public

De manière générale, l'utilisation de l'environnement naturel par les agents économiques le distingue d'un bien privé pour deux raisons:

(i) L'usage de l'environnement ne crée pas de rivalité entre individus: la consommation d'environnement par l'un ne réduit pas la quantité consommable par les autres.

(ii) L'usage de l'environnement ne crée pas d'exclusion: on ne peut empêcher quiconque d'utiliser l'environnement dans la mesure où il est trop coûteux d'exclure quelqu'un des bienfaits de l'environnement.

C'est clairement le cas pour l'air propre ou le climat qui sont des biens publics purs. Les pays de la planète ont un intérêt commun à réagir au risque global que pose le changement climatique, et pourtant, certains d'entre eux sont réticents à réduire volontairement leurs émissions de gaz à effet de serre parce qu'on ne peut empêcher un pays de bénéficier de la protection du climat, qu'il ait ou non participé à un traité international à ce sujet.

D'autres biens publics sont considérés comme impurs. Par exemple, les ressources naturelles communes (les bancs de poissons, les réserves de gibier, les nappes d'eau, de pétrole) ne sont pas exclusives (tout le monde y a accès), mais elles sont sources de rivalité (une fois qu'une baleine est capturée par un chasseur, aucun autre ne peut plus la pêcher). Ou encore, certains biens dits "club", comme la qualité de l'eau d'un bassin municipal, sont sujets à exclusion mais non à rivalité.

L'idée de traiter la pollution de l'environnement essentiellement comme un problème de bien public remonte aux travaux de Coase (1960). Comme pour la plupart des biens publics, les droits de propriété sur l'environnement naturel sont largement incomplets. Il n'est pas possible (ou extrêmement coûteux) de rationner l'usage de l'environnement, c'est à dire d'exclure quelqu'un des bienfaits qu'il procure. En appliquant à l'environnement la définition que donne Samuelson d'un bien public, il n'y a aucun coût (ou un coût négligeable) à admettre qu'un individu supplémentaire jouisse des bienfaits de l'environnement. Les forêts sont, par exemple, de grandes pourvoyeuses de biens publics locaux en organisant des écosystèmes par le ruissellement, le drainage, l'érosion, le recyclage des nutriments, etc. Elles fournissent aussi des biens publics globaux en contribuant à préserver la biodiversité, à établir des liens entre les écosystèmes ou encore en séquestrant la carbone.

De façon symétrique, la détérioration de l'environnement par la pollution est un mal public: il est impossible ou très coûteux pour chacun de se protéger des dommages causés à l'environnement.

Dans la mesure où l'environnement naturel est un bien public auquel on peut accéder sans payer, bien des gens négligent d'apporter leur contribution financière si jamais il y a un coût à partager pour préserver l'environnement naturel. Tenter de bénéficier de l'action des autres sans payer est un comportement opportuniste qualifié de "passager clandestin". On doit à l'économiste suédois Knut Wicksell d'avoir le premier identifié le phénomène de passager clandestin. À cause de ce type de comportement, le marché ne fournit pas en général suffisamment de bien public en regard de ce qui serait socialement souhaitable. En ce qui concerne l'environnement, des ressources qui pourraient contribuer à sa préservation sont automatiquement détournées par le marché en faveur de biens privés pour lesquels il y a, à la fois, rivalité et exclusion.

3.1 - La logique socialement néfaste des comportements de passager clandestin

Dans les sociétés contemporaines, la plupart des consommations et des productions sont polluantes à des degrés divers. Les décisions de consommer ou de produire sont prises respectivement par les ménages et les entreprises sur la base de leur intérêt particulier qui n'intègre pas nécessairement le souci de respecter l'environnement. La recherche de l'intérêt particulier correspond à l'hypothèse communément admise dans les modèles économiques que les individus sont rationnels. C'est en quelque sorte un postulat d'"égoïsme" qui fonde la plupart des études formalisées. Cette rationalité consiste à prendre des décisions qui, pour un consommateur maximise son utilité, et pour une entreprise maximise son profit. L'utilité du consommateur peut dépendre, dans une certaine mesure, de la qualité de l'environnement s'il se sent concerné par cela. Mais tous les ménages n'ont pas la même sensibilité pour l'environnement (ou la même aversion pour la pollution). Et ceux qui s'en soucient ne prennent pas nécessairement en considération tous les bienfaits de l'environnement pour la société. De même, le profit d'un producteur peut intégrer un certain souci pour l'environnement, à travers la demande qui s'adresse à lui, ou les coûts qu'il supporte. Mais ce souci sera limité aux retombées de l'environnement pour son chiffre d'affaires et négligera les effets positifs de l'environnement sur le reste de la société, qui ne le concernent pas directement.

La négligence de chacun vis-à-vis de l'environnement est une variante du problème du "passager clandestin": chacun poursuivant son intérêt particulier ne veut contribuer au bien public qu'à hauteur du bénéfice qu'il en retire, donc sans tenir compte du bénéfice qu'il procure aux autres. Si tout le monde s'en tient à cette logique, la part que chacun soustrait spontanément de son revenu pour financer le bien public est insuffisante pour garantir un niveau socialement optimal.

Un individu, ménage ou entreprise, qui doit consacrer des ressources à limiter la pollution que génère sa consommation ou sa production, peut être réticent à le faire s'il lui en coûte plus qu'il n'en tire de bénéfice individuel. Conformément à l'hypothèse de rationalité, il n'est pas censé prendre en considération tout le bénéfice de l'environnement pour la société, mais seulement la part qui le concerne. Même si un environnement propre est socialement préférable à un environnement pollué, on peut être amené à laisser l'environnement se dégrader par simple calcul individuel. Le comportement de passager clandestin est un processus rationnel qui aboutit à une situation stable dont personne n'a intérêt à dévier unilatéralement: c'est la définition d'un équilibre de Nash. En l'occurrence, la solution d'équilibre de Nash n'est pas satisfaisante du point de vue de l'intérêt général. On dit aussi que les individus se piègent dans un "dilemme du prisonnier" par leur comportement de passager clandestin, pour traduire l'idée que la poursuite de l'intérêt particulier ne contribue pas à l'intérêt général. Il s'agit d'une situation diamétralement opposée à celle qu'illustre la métaphore de la "Main Invisible" d'Adam Smith pour l'allocation des biens privés par le marché, et que les économistes ont formalisée par le "premier théorème du bien-être". En général, l'allocation des biens publics par le marché, qui suppose de laisser les individus décider librement du montant de leur contribution au bien public, n'est pas socialement efficace. Par conséquent, laisser faire le marché en matière d'environnement risque d'être décevant du point de vue de l'intérêt général (voir à ce sujet Fullerton et Stavins, 1998).

Le problème du passager clandestin est en train de prendre une dimension internationale. La pollution ne respecte pas les frontières politiques. Comme exemples de pollutions trans-

frontalières, il y a les pluies acides, le changement climatique, la pollution de la Mer Noire ou de la Mer du Nord, ou encore le trou dans la couche d’ozone. La pollution transfrontalière peut avoir des effets régionaux sur des écosystèmes locaux (par exemple des dépôts acides dans une région particulière) ou des impacts planétaires sur des biens publics globaux (par exemple la perte de biodiversité due au changement climatique). Les nations devraient travailler ensemble pour résoudre ces problèmes de pollution – la responsabilité de réduire les risques imposés aux biens locaux ou globaux devrait être partagée entre les nations qui en bénéficient. Alors que les pays ont un intérêt commun à se protéger, ils peuvent ne pas être individuellement intéressés par une réduction volontaire de la pollution à un niveau socialement efficace. Ainsi, un pays peut se décharger sur les autres pour dépolluer, parce qu’on ne peut l’empêcher de bénéficier d’une réduction du risque global de pollution, qu’il ait ou non contribué à l’effort de dépollution.

3.2 - Livré à lui-même, le marché génère trop de pollution

Toutes les sociétés humaines produisent des déchets et polluent plus ou moins l’environnement. Pour un état donné des techniques de production, on ne pourrait supprimer toute pollution qu’en renonçant à produire et en réduisant nos consommations d’une manière drastique. Ce serait peu acceptable pour la plupart d’entre nous, habitués comme nous le sommes aux niveaux de bien-être procurés par la croissance. À l’inverse, la pollution peut s’accumuler jusqu’à atteindre des taux insupportables pour les sociétés qui l’ont générée. Il existe un niveau intermédiaire appelé par les économistes “niveau de pollution optimal”, qui concilie au mieux la nécessité de produire et l’objectif de limiter la pollution. Il dépend des préférences sociales et de l’état des techniques de production et de dépollution que maîtrise la société. Ainsi, le niveau de pollution optimal sera plutôt faible dans une société particulièrement sensible à la pollution ou disposant de techniques de production peu polluantes.

Le libre jeu du marché conduit à un niveau de pollution qui dépasse ce niveau de pollution optimal. Les signaux qu’envoie le marché au travers du prix de vente des produits ne concernent pas les dégâts causés par la pollution et, de ce fait, échouent à donner aux producteurs de bonnes incitations en matière environnementale. C’est un cas remarquable où la “main invisible” dont parlait Adam Smith ne parvient plus à orienter les intérêts privés vers la satisfaction des besoins de la société.

Le marché d’un bien polluant

La validité du premier théorème du bien-être suppose que les agents économiques n’interagissent entre eux que par l’intermédiaire du système de prix. À l’équilibre concurrentiel, le prix d’un bien ou d’un service indique quel est le coût marginal pour la société de produire le bien ou le service. Il n’en est pas ainsi lorsque des entreprises polluent leur environnement. Dans la mesure où de telles entreprises n’ont à payer aucun prix pour la pollution qu’elles émettent, elles imposent à la société une nuisance dont aucun prix ne reflète le coût dans une économie de marché pure. Il en découle que les entreprises polluantes n’intègrent pas dans leur calcul économique le coût du dommage environnemental qu’elles infligent à la société.

Sur un marché concurrentiel, un bien polluant est offert en surabondance par rapport à l’optimum social. L’allocation socialement efficace (ou le niveau socialement optimal) est telle que l’utilité marginale du bien pour la société est égale à son coût marginal social qui

englobe le coût marginal privé de production supporté par le producteur, et le dommage marginal causé par la pollution à l'environnement.

Considérons le marché d'un bien polluant.

- La pollution

Le producteur produit une quantité x de bien qui génère un niveau $e = \varepsilon x$ d'émissions polluantes, où ε représente le taux de pollution par unité de production. Si, par exemple, les émissions polluantes sont des gaz à effet de serre et le bien polluant est de l'électricité, ε mesure l'utilisation d'énergies fossiles comme le charbon, le gaz naturel ou le pétrole.

- Dommage environnemental associé à l'échange d'une quantité x de bien polluant.

Le dommage environnemental est en général représenté par une fonction convexe $\mathcal{D}(e)$ telle que $\mathcal{D}_m(e) = \mathcal{D}'(e) > 0$ et $\mathcal{D}''(e) > 0$. Cette fonction est un raccourci : production et consommation de x unités de bien génèrent des émissions polluantes dont le dommage social (en termes de risques pour la santé, de perte de biodiversité, etc...) est mesurable en unités monétaires. Par exemple, $\mathcal{D}(e) = \delta e^2/2 = \delta (\varepsilon x)^2/2$, où le paramètre $\delta > 0$ mesure l'évaluation du dommage par le gouvernement.

- Programme du consommateur

L'intérêt qu'un consommateur représentatif retire d'acheter un bien en quantité x sur un marché est mesuré par son surplus net $S(x)$. Le consommateur rationnel prend sa décision d'achat de manière à en extraire le plus grand surplus possible. Il calcule ainsi sa fonction de demande pour tout prix unitaire p affiché sur le marché

$$\max_x S(x) = u(x) - px,$$

où la fonction d'utilité $u(x)$ représente la satisfaction, évaluée en termes monétaires, que le consommateur retire de consommer x unités de bien.

La monnaie est l'intermédiaire des échanges le plus communément répandu dans les sociétés humaines. Les prix sont exprimés en monnaie sur les marchés de biens ou services, aussi hétérogènes soient-ils. C'est par commodité que les économistes convertissent la valeur de toute chose en monnaie. À l'instar des marchés, ils se servent de la monnaie comme unité commune de compte pour additionner et comparer les valeurs des biens et services que les hommes échangent entre eux.

La condition nécessaire de premier ordre du programme de maximisation du consommateur (qui en donne ici la solution du fait que l'utilité est une fonction concave) correspond à la courbe inverse de demande: $p = u_m(x)$ où $u_m(x)$ est l'utilité marginale du consommateur (la valeur du bien pour lui au niveau x , ce qu'il est prêt à payer pour obtenir une $x^{\text{ème}}$ unité de bien). C'est en général une fonction décroissante de x (puisque l'utilité est une fonction concave) qui reflète les goûts de consommation dans la société considérée (en inversant cette fonction, on obtient la demande de bien polluant pour tout prix p). L'équation $p = u_m(x)$ caractérise le libre arbitre du consommateur vis-à-vis de la quantité qu'il consomme et indique qu'il arrête son choix là où le prix qu'il paie coïncide exactement avec la valeur qu'il attache à sa consommation.

En guise d'exemple, on peut prendre la fonction d'utilité $u(x) = \alpha(x - x^2/2)$, qui donne la courbe de demande inverse $u_m(x) = \alpha - \alpha x$. Les fondements microéconomiques de cette fonction peuvent être comme suit. Les consommateurs n'attribuent pas tous la même valeur au bien polluant. Ils sont distribués de manière uniforme avec densité unitaire sur l'intervalle $[0, \alpha]$ selon la valeur croissante indicée par v qu'ils attachent au bien. Chacun achète au plus une unité du bien. Le surplus du consommateur indicé par v est représenté par $v - p$, qui donne la fonction de demande globale $x_d(p) = \frac{\alpha - p}{\alpha}$ correspondant à la demande inverse $u_m(x) = \alpha - \alpha x$.

- Programme du producteur

Le producteur cherche à obtenir le plus grand profit possible. On suppose ici qu'il n'a pas de pouvoir de marché et se comporte donc de manière parfaitement concurrentielle. Sa seule variable de décision est la quantité de bien qu'il met sur le marché. Le producteur détermine sa courbe d'offre en fonction du prix du bien p que lui impose le marché, en résolvant le programme suivant

$$\max_x \pi(x) = px - c(x)$$

La condition nécessaire de premier ordre (qui suffit ici à caractériser la solution du programme du fait que le coût est une fonction convexe) donne la courbe inverse d'offre: $p = c_m(x)$ où $c_m(x)$ est le coût marginal du producteur (le prix qu'il paie pour utiliser du travail, de l'énergie et tout facteur nécessaire à la production d'une $x^{\text{ème}}$ unité de bien). C'est en général une fonction croissante de x (puisque le coût est une fonction convexe) qui représente les techniques de production en vigueur dans la société (en inversant cette fonction, on obtient l'offre de bien polluant pour tout prix p). L'équation $p = c_m(x)$ caractérise le libre arbitre du producteur concernant la quantité qu'il met en marché. Cette équation indique que le producteur concurrentiel arrête son choix là où le prix qu'il reçoit représente exactement ce qui lui en coûte de produire.

Par exemple, la fonction de coût peut être $c(x) = cx^2/2$; ainsi, le coût marginal est $c_m(x) = cx$ et l'offre de bien s'écrit $x_o(p) = \frac{p}{c}$.

- L'équilibre du marché s'établit au prix p^e qui ajuste l'offre à la demande de bien.

$$p^e = u_m(x^e) = c_m(x^e)$$

Ce prix d'équilibre reflète à la fois l'utilité marginale du consommateur et le coût marginal du producteur au niveau de bien échangé. Il renseigne sur le niveau des goûts et des techniques de production utilisées dans la sphère privée.

Dans notre exemple où $u(x) = \alpha(x - x^2/2)$ et $c(x) = cx^2/2$, on obtient, à l'équilibre concurrentiel du marché, l'allocation $x^e = \frac{\alpha}{\alpha + c}$.

- Programme du régulateur

On suppose que le régulateur est socialement bienveillant et respectueux de l'environnement. C'est la recherche de l'intérêt général qui dicte son comportement. Il s'agit par exemple d'un gouvernement omniscient (il observe et mesure parfaitement les dégâts de

la pollution sur l'environnement), non corrompu (il n'est pas soumis à la pression de groupes d'intérêt dont l'objectif diffère de l'intérêt général), et soucieux de limiter les dégâts de la pollution tout en garantissant un niveau de production satisfaisant pour la société. Le régulateur maximise une fonction de bien-être social qui représente la somme des intérêts de tous les agents économiques (consommateur et producteur) et prend en considération le dommage causé par la pollution à l'environnement. Il calcule l'allocation de bien socialement efficace (correspondant au niveau de pollution optimal)

$$\max_x S(x) + \pi(x) - \mathcal{D}(\varepsilon x)$$

où $\mathcal{D}(\varepsilon x)$ est le dommage environnemental susmentionné.

L'allocation du bien socialement efficace x^* vérifie la condition de premier ordre

$$u_m(x^*) = c_m(x^*) + \varepsilon \mathcal{D}_m(\varepsilon x^*)$$

Dans les coûts imposés à la société pour produire le bien dont tient compte le régulateur, il y a la part due à la pollution que néglige le producteur. D'où le résultat:

L'allocation d'équilibre concurrentiel est caractérisée par une quantité de bien plus grande que celle socialement efficace:

$$x^* < x^e$$

Reprenons l'exemple déjà étudié en considérant que le dommage dû à la pollution est représenté par la fonction linéaire $\mathcal{D}(\varepsilon x) = \varepsilon x$. On obtient $x^ = \frac{\alpha - \varepsilon}{\alpha + c} < x^e = \frac{\alpha}{\alpha + c}$.*

Le producteur ne tient pas compte du coût qu'il inflige à la collectivité lorsqu'il effectue son calcul de maximisation du profit. Il produit donc trop de bien polluant en comparaison de ce que requiert l'efficacité sociale. Le niveau socialement efficace de production et d'échange du bien est garanti par l'égalisation entre l'utilité marginale du bien et la somme des coûts marginaux que génère sa production, y compris le coût de la pollution pour l'environnement. Le marché d'un bien polluant ne peut à lui tout seul établir un échange satisfaisant du point de vue social.

Problème 1: Pollution sur le marché du charbon

Sur le marché du charbon, une estimation de la demande donne la fonction $D(p) = \alpha - p$ où p est le prix d'une tonne de charbon. On suppose ce marché fonctionne en concurrence parfaite. Le coût total privé de produire du charbon est décrit par la fonction $c(q) = cq^2/2$, où q le niveau de production, mesuré en tonnes. La production de charbon génère des particules et des gaz polluants. Le montant total de ces émissions polluantes $E(q)$ est égal à la quantité produite de charbon: $E(q) = q$. Le dommage que la pollution fait subir à la société est mesuré par la fonction $\mathcal{D}(E) = dE^2/2$ par rapport aux émissions polluantes, de sorte que le dommage marginal de la pollution dépend de la quantité produite de charbon selon la fonction $\mathcal{D}_m(E(q)) = dq$.

6. Montrer que le coût marginal social de produire du charbon est égal à $(c + d)q$.

7. Représenter graphiquement les courbes de demande et d'offre de charbon, ainsi que le coût marginal social de produire du charbon.
8. Déterminer le prix et la quantité d'équilibre concurrentiel du marché du charbon.
9. Quelle quantité de charbon serait-il économiquement efficace d'échanger, compte tenu de la pollution associée à cette production? Commenter.
10. Calculer la quantité que produirait une entreprise en monopole sur ce marché. Ce monopole est-il plus ou moins polluant que le marché concurrentiel? À quelle condition sur d le monopole est-il trop polluant?

3.3 - Le problème de la pollution transfrontalière

Le maintien ou l'amélioration de la qualité de l'environnement est un problème de bien public. Dans le cas d'une pollution transfrontalière, la dégradation de l'environnement touche plusieurs états nationaux qui partagent une ressource commune. Il peut s'agir de l'atmosphère, d'un fleuve, d'un lac, d'une mer, d'un océan, d'un écosystème étendu comme la forêt, d'une réserve de biodiversité globale incluant faune et flore— les poissons, les troupeaux d'animaux sauvages, la végétation migrent et se déploient au-delà des frontières politiques — Ces ressources communes ont une caractéristique de bien public: aucun état ne peut être exclu de la jouissance de la ressource, par conséquent, aucun état ne peut en revendiquer la propriété privée¹.

En l'absence de propriété établie, les états sont libres de polluer leurs voisins à leur guise. Comme nous l'avons vu, l'absence d'exclusivité est propice aux comportements de passager clandestin. Une différence cruciale entre un problème de pollution au niveau national et un problème de pollution au niveau international est qu'en général, il n'existe pas d'autorité supranationale susceptible de régler le problème de passager clandestin par la force de la loi.

Certes, la déclaration de l'OCDE sur l'environnement à la conférence de Stockholm en 1972 dit que "states... have the responsibility to ensure that activities do not cause damage to the environment of other states". L'Union Européenne (UE) peut, par exemple, officiellement exiger de ses nations membres de respecter les directives sur la pollution de l'UE en les introduisant sous forme de décrets ou de lois à l'échelon national. Mais l'application d'une telle législation environnementale reste inégale d'un pays à l'autre. En l'absence d'une autorité internationale compétente qui inciterait ou obligerait les pays à internaliser leurs débordements environnementaux, des accords volontaires internationaux sont indispensables pour sauvegarder les ressources communes globales (comme, par exemple, celui de réduire les émissions de CO_2 d'un certain pourcentage). Une difficulté inhérente à ce genre d'accord est précisément lié au caractère de bien public non-exclusif que revêt la protection des ressources communes globales. On peut ainsi imputer à la logique de passager clandestin l'échec des nations à parvenir à un accord sur la réduction des émissions de dioxyde de carbone à la conférence sur le climat qui s'est tenue à Copenhague en décembre 2009. Ce qui suit illustre par deux exemples le problème du passager clandestin à l'échelle internationale.

¹Voir à ce sujet le chapitre *Transboundary pollution and global public goods* du livre "Environmental Economics in Theory and Practice" (2007) de Hanley N., J. F. Shogren and B. White.

Planter des arbres pour accroître la qualité de l'environnement

Considérons que le monde est constitué de M pays supposés identiques, concernés par un problème de pollution transfrontalière. Planter des arbres ou entretenir des forêts est un moyen de limiter cette pollution.

- Programme d'un pays

Les habitants de chaque pays retirent du bien-être à la fois de consommer un bien privé en quantité x et de jouir d'un environnement dont la qualité dépend du nombre total d'arbres $A = a + a_e$ qui sont plantés dans le monde entier (a pour un pays et a_e pour le reste du monde – l'indice e est pour "étranger"). Cette qualité est un bien public qui bénéficie à tous les pays, indépendamment de l'endroit où sont plantés les arbres. Le gouvernement de chaque pays (par le biais d'une agence environnementale ou d'un organisme qui gère la forêt) doit décider de sa contribution au bien public en tenant compte de la dépense des habitants en bien privé, tout en respectant une contrainte budgétaire liée à la richesse disponible dans le pays. Pour cela, un gouvernement finance le coût $c \times a$ d'entretenir et de planter un nombre d'arbres a en prélevant ce montant sur sa richesse, ce qui réduit d'autant les dépenses en bien privé. Idem pour le reste du monde avec a_e . On suppose que les pays disposent de la même richesse w , supportent le même coût moyen c de planter un arbre et ont les mêmes préférences pour le bien privé et le bien public. Tout est mesuré dans la même unité monétaire et le prix du bien privé est normalisé à 1. Soit $u(A)$ le bien-être que procure à un pays que soient plantés A arbres dans le monde entier (on note le caractère non-exclusif du bien public).

$$\begin{aligned} & \max_{x,a} x + u(A) \\ \text{s.c. } & x + c.a = w \text{ et } A = a + a_e \end{aligned}$$

Le nombre d'arbres que choisit de planter un gouvernement est donné par la condition du premier ordre de ce problème de maximisation. La solution notée \hat{a} vérifie donc

$$u_m(\hat{a} + a_e) = c,$$

où $u_m(\cdot)$ est l'utilité marginale du bien public pour un pays, c'est à dire, ici, le bien-être que procure un arbre de plus à ses habitants. L'utilité marginale reflète, d'une certaine manière, la sensibilité environnementale du pays (en inversant cette fonction, on obtient la demande d'arbres pour chaque pays, relative au prix c d'un arbre) qui peut être mesurée par le montant des ressources que les habitants sont prêts à affecter à l'amélioration de la qualité de l'environnement, en les soustrayant à d'autres objectifs sociaux comme l'éducation, la protection sociale ou la défense nationale. On fait l'hypothèse habituelle que la fonction $u(\cdot)$ est concave et donc que $u_m(\cdot)$ est décroissante. En désignant par \bar{a} le nombre maximum d'arbres que plante un pays lorsque le reste du monde n'en plante pas (c'est-à-dire $a_e = 0$), on doit avoir

$$u_m(\bar{a}) = c.$$

Par conséquent, la meilleure réponse d'un pays à ce que décident les autres est $\hat{a}(a_e) = \bar{a} - a_e$.

Il y a M équations du type $u_m(\hat{a} + a_e) = c$ (autant que de pays) qui s'écrivent de manière équivalente $\hat{a}(a_e) = \bar{a} - a_e$. Il en résulte un équilibre de Nash symétrique: $\hat{a}_e = (M - 1) \hat{a}$, où $\hat{a} = \frac{\bar{a}}{M}$. Le nombre total d'arbres obtenu en laissant faire le marché est $\hat{A} = M\hat{a}$ tel que

$$u_m(\hat{A}) = c$$

Cette dernière équation qui caractérise le libre arbitre de chaque pays, indique dans quelle logique le gouvernement choisit le nombre d'arbres à planter: il le fait de manière à ajuster le prix d'un arbre c à la valeur qu'il représente pour un pays compte tenu de ce que fait le reste du monde à l'équilibre. Comme tous les pays suivent cette même logique, le prix de l'arbre agit comme un aimant qui égalise entre elles toutes les utilités marginales. Si elles étaient différentes d'un pays à l'autre, le prix de l'arbre serait aussi le niveau auquel s'égalisent les utilités marginales, mais les gouvernements devraient choisir de planter des quantités d'arbres différentes pour s'ajuster à ce prix.

- Programme du régulateur

La décision de planter les arbres au niveau international (ou au niveau fédéral s'il s'agit d'une fédération d'états) est prise par un gouvernement supranational qui a autorité sur tous les pays. On le suppose bienveillant, autrement dit il se préoccupe du bien-être de l'ensemble des pays, compris comme la somme des utilités de chaque pays.

$$\begin{aligned} & \max_{x,A} M(x + u(A)) \\ \text{s.c. } & Mx + c.A = Mw \end{aligned}$$

Le nombre d'arbres socialement optimal A^* vérifie

$$Mu_m(A^*) = c$$

On voit que la logique qui détermine le choix du gouvernement fédéral diffère de celle d'un gouvernement national. Pour être collectivement optimal, le nombre d'arbres à planter est choisi de manière à égaliser la somme des utilités marginales de tous les pays au prix d'un arbre. On reconnaît là une variante de la condition de Samuelson.

On obtient finalement

$$u_m(A^*) = \frac{c}{M} < u_m(\hat{A}) = c$$

Comme $u_m(\cdot)$ est une fonction décroissante, on conclut:

Le nombre d'arbres qu'il est socialement optimal de planter est supérieur à celui déterminé par l'équilibre de Nash du jeu entre pays:

$$\hat{A} < A^*$$

Livrés à eux-mêmes, les pays ne plantent pas suffisamment d'arbres. Leur gouvernement a un comportement de passager clandestin. Chacun contribue à améliorer la qualité de l'environnement en ne tenant compte que du bénéfice qu'il en retire pour ses propres habitants, $u_m(\hat{a} + a_e)$, donc en négligeant l'externalité positive que procurent aux habitants des autres pays les arbres que l'on plante.

Problème 2: Pollution d'air transfrontalière.

Les habitants de deux pays voisins, indicés $i = 1, 2$, attachent de l'importance à la qualité de l'air qu'ils respirent. Les habitants du pays i disposent d'une richesse mesurée par w_i unités d'une monnaie commune entre les deux pays. Ils utilisent cette richesse pour acheter des véhicules qu'ils consomment en quantité $x_i, i = 1, 2$. Les véhicules polluent l'air, mais le gouvernement de chaque pays peut réduire la pollution de l'air en investissant dans une technique de dépollution. Cette technique est la même pour les deux pays. Elle est décrite par la fonction:

$$c(a_i) = ca_i,$$

signifiant qu'il coûte $c(a_i)$ unités monétaires au pays i pour obtenir une qualité d'air d'un niveau a_i . Le gouvernement de chaque pays a suffisamment d'autorité sur ses habitants pour prélever sur la richesse du pays le montant qu'il juge nécessaire à dépolluer l'air.

Les deux pays se distinguent par leurs préférences pour le bien privé (les véhicules) et le bien public (la qualité de l'air). La fonction d'utilité du consommateur représentatif du pays i a pour expression:

$$u_i(x_i, a) = x_i + \beta_i \ln a, i = 1, 2,$$

où $a = a_1 + a_2$ représente la qualité de l'air obtenue par les efforts conjugués des deux pays. Le gouvernement du pays i représente l'intérêt de ses habitants. Il maximise donc l'utilité de son consommateur représentatif en décidant de la quantité x_i de bien privé et de la qualité a_i de bien public qui l'intéressent, tout en respectant la contrainte budgétaire:

$$x_i + c(a_i) \leq w_i, i = 1, 2.$$

On considère que le pays 1 a plus de goût pour la qualité de l'air que le pays 2, aussi $\beta_1 > \beta_2$.

11. Pourquoi l'air pur peut-il être considéré comme un bien public? De quelle manière distingue-t-on le bien public du bien privé dans la formule de l'utilité?
12. Montrer que chaque gouvernement doit saturer sa contrainte budgétaire pour résoudre son problème de maximisation. Ce problème se réduit donc à

$$\max_{a_i} w_i - ca_i + \beta_i \ln a.$$

13. Dédurre de la question précédente que la fonction de réaction du gouvernement du pays i peut s'écrire

$$\hat{a}_i(a_j) = \max \left\{ \frac{\beta_i}{c} - a_j, 0 \right\}, i \neq j.$$

14. Représenter graphiquement les deux fonctions de réaction dans un repère (a_1, a_2) .
15. Déterminer l'équilibre de Nash en qualité d'air (\hat{a}_1, \hat{a}_2) correspondant aux décisions prises simultanément par les deux gouvernements. Commenter le résultat obtenu: qui est le passager clandestin? Pourquoi?
16. Déterminer le niveau optimal d'air pur que souhaiterait une autorité internationale représentant l'intérêt global des deux pays. Commenter le résultat obtenu.

4 - Les marchés de produits verts, respectueux de l'environnement

Les entreprises se sont mises à afficher plus ostensiblement en début de siècle leur intention de moins malmenager l'environnement. Ce phénomène s'observe par un recours plus ou moins spontané à la certification environnementale et à la multiplication de labels « verts », « bio » ou « durables », garantissant que les produits vendus respectent d'une manière ou d'une autre l'environnement.

À titre d'illustration, voyons comment la certification environnementale est apparue en agriculture. Dans l'Union Européenne, la réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) en 1999 a fait de la protection de l'environnement l'une de ses priorités. Cette initiative a ouvert pour les États intéressés des possibilités de financement pour des formes d'agriculture non soutenues jusqu'alors, comme l'agriculture biologique. Les décideurs politiques envisagent d'imposer certaines limites techniques (par exemple, la quantité d'engrais qui peut être apportée à un sol).

En France, la PAC est appliquée au travers de “contrats territoriaux d'exploitation” ou “contrats d'agriculture durable” par lesquels l'agriculteur s'engage volontairement, pour une durée de 5 ans, à intégrer à son objectif une bonne gestion des ressources naturelles (sol, eau, biodiversité, paysage...) en respectant un cahier des charges, en contrepartie de quoi il bénéficie d'une aide financière de l'État. Simultanément, et conformément au mouvement de décentralisation que connaît actuellement la France, les collectivités territoriales (le département, la région) sont amenées à jouer un rôle croissant dans le domaine agricole.

La PAC établit aussi le cadre légal dans lequel des denrées agricoles peuvent être produites, introduites, ou mises en vente en Europe. Ainsi, la PAC veille à renforcer les signes de qualité et d'origine sous le contrôle des ministères de l'agriculture. Il existe en particulier un signe qui atteste du caractère naturel et apparaît sous la marque “Agriculture Biologique”, propriété du Ministère de l'agriculture. L'agriculture biologique se fonde sur des modes de production très différents de ceux de l'agriculture conventionnelle. Les labels bio refusent notamment un certain nombre d'intrants chimiques tels que les engrais, les pesticides, les insecticides, les nitrates ou les antibiotiques. Il en résulte des produits de qualité distincte des produits agricoles conventionnels. L'agriculture biologique impose d'importants surcoûts de production, dus notamment à un temps prolongé d'utilisation de la main d'oeuvre et à des rendements inférieurs. Néanmoins, aucune subvention directe n'est jusqu'à aujourd'hui destinée à ce mode de production en France.

En agriculture biologique, plusieurs certifications existent qui correspondent à des standards différents et n'exigent donc pas le même engagement des producteurs. Le classement des labels selon l'exigence des standards, du moins sévère au plus sévère, est le suivant:

1. Le label “AB” pour Agriculture Biologique; il intervient à la quatrième année d'une culture réalisée sans engrais ni pesticide ni OGM. Pendant la période de conversion à la production bio, des contrôles sont effectués une fois par an, auxquels s'ajoute une inspection surprise.
2. Le label “Biocoherence”.
3. Le label “Demeter”.

L'organisme de certification Certis concerne seulement AB. Certipaq vérifie à la fois les produits pour AB et Demeter. Ecocert offre ses services pour les trois labels.

Pour un même standard, les certificateurs proposent des tarifs différents aux entreprises. Par exemple, le tarif d'Ecocert inclut des frais de vérification et des frais supplémentaires

basés sur la superficie et le nombre d’animaux (en-dessous de 20 acres, les coûts de certification d’Ecocert sont environ de 1000 \$). D’autres certificateurs comme Certipaq Bio, Bureau veritas, Certisud, Certis, demandent un droit d’adhésion fixe ou des tarifs qui varient en fonction de la complexité et de l’étendue de la certification.

L’introduction d’un label environnemental permet de segmenter le marché entre les deux variantes d’un produit: la variante conventionnelle qui ne tient pas compte de l’environnement et la variante écologique qui s’en préoccupe. Dans la suite, on examinera deux manières pour une entreprise de s’engager en faveur de l’environnement: elle peut améliorer la qualité de l’environnement en associant au produit conventionnel un service écologique ou bien elle peut réduire les externalités négatives générées par son activité.

4.1 - Exemple de monopole obtenu par différenciation verte du produit

Pour se différencier des produits conventionnels qui négligent la protection de l’environnement, une entreprise peut choisir de lier la vente de son produit à un service environnemental accrédité par un label spécifique (comme un label bio ou un label garantissant l’absence d’hormones de croissance pour le bétail, le nettoyage du sol après culture, le traitement “humain” des animaux, ou encore un label indiquant l’emploi d’énergies renouvelables ou à faible rejet de carbone dans le processus de production, le recyclage des matériaux, etc.). Cette stratégie a pour effet de segmenter le marché en partageant la demande entre une clientèle achetant le produit conventionnel et une clientèle “verte” qui accorde une plus grande valeur au service environnemental. Ici, on fait l’hypothèse que la production conventionnelle est en régime de concurrence parfaite. La vente liée par le service environnemental permet à l’entreprise qui la propose d’acquérir du pouvoir de marché en se démarquant de la production conventionnelle.

Dans la littérature économique, on fait généralement l’hypothèse que l’investissement dans un processus de production plus respectueux de l’environnement accroît les coûts de production de l’entreprise verte relativement à une entreprise qui se contente d’un processus de production conventionnel. La différence de coûts entre production verte et production conventionnelle peut apparaître à deux niveaux.

Soit la production verte entraîne un coût fixe supplémentaire: on l’interprète comme un coût d’adoption, censé être irrécupérable durant l’étape de production; il s’agit par exemple d’acquérir de nouvelles machines qui fonctionnent avec moins d’énergie fossile, ou bien avec des énergies renouvelables, ce qui n’affecte pas les coûts variables de production.

Soit la production verte augmente le coût marginal de production pour un niveau de production donné, par exemple pour satisfaire des standards de production plus sévères en matière de protection environnementale: si le producteur s’engage à utiliser des emballages recyclables, il peut acheter ceux-ci à un prix plus élevé que celui des emballages traditionnels, sans avoir pour autant à acheter de nouvelles machines. Dans le modèle ci-dessous, on néglige les coûts fixes de production et on fait l’hypothèse que le service environnemental augmente le coût marginal de production, supposé constant.

L’investissement par une entreprise dans un processus de production respectueux de l’environnement est justifié par l’objectif de capturer la clientèle “verte” constituée des consommateurs prêts à payer plus pour des produits qui protègent l’environnement.

La littérature en économie environnementale a mis en évidence l'existence de consommateurs verts. Teisl, Roe et Hicks (2002) montrent que l'introduction du label "dolphin-safe" accroît les parts de marché du thon en conserve. Casadesus-Masanell, Crooke et Vasisht (2009) trouvent que les consommateurs sont prêts à payer plus pour des vêtements de sport en coton bio qui nécessitent un usage moindre de pesticides et d'engrais chimiques. Le Steering Committee of the State-of-Knowledge Assessment of Standards and Certification (2012) a publié une bonne revue de littérature sur le thème de la certification et des labels environnementaux². À la page 50 de ce document, on trouve les références d'articles qui montrent que les consommateurs soucieux de l'environnement paient effectivement un prix plus élevé pour les produits écologiques. De manière générale, la demande et le consentement à payer varient sensiblement d'un marché à l'autre. Ainsi, par exemple, l'agriculture bio occupe une part importante et croissante du marché agricole, alors que l'énergie propre semble n'attirer qu'une petite part du marché de l'énergie. Il semble que les produits certifiés comme étant bons pour la santé humaine font l'objet d'une majoration de prix par rapport aux autres produits.

Label bio et pouvoir de marché

Dans cette partie, le label garantit la fourniture d'un service environnemental qui augmente la valeur du produit aux yeux des consommateurs et le différencie du produit conventionnel. On étudie dans quelles circonstances une entreprise certifiée bio trouve profitable d'agrémenter le produit qu'elle offre d'un service environnemental. La stratégie de différenciation des produits permet à l'entreprise bio de fixer le prix de son produit. On montre que si le produit bio est socialement souhaitable alors une entreprise a intérêt à l'introduire sur le marché pour acquérir du pouvoir de marché.

Le service environnemental consiste, par exemple, à financer des organisations non-gouvernementales de protection de l'environnement, à soutenir des programmes de pêche ou d'agriculture durables ou bien à s'assurer que les fournisseurs de l'entreprise ont des pratiques qui préservent la qualité de l'environnement. On suppose qu'il existe un organisme ou une institution capable de certifier que l'entreprise honore ses engagements concernant l'environnement.

On considère le marché d'un produit vendu par deux entreprises. Celles-ci ont la possibilité d'offrir le produit avec ou sans service environnemental. Soient p_b le prix de la variante bio du produit vendu avec le service environnemental et p_c le prix de la variante conventionnelle du produit vendu sans ce service. Les consommateurs attachent la même valeur v au produit conventionnel. Le service environnemental est différemment apprécié par les consommateurs dont la conscience environnementale est plus ou moins forte. On fait l'hypothèse que les préférences des consommateurs sont hétérogènes en raison de la valeur qu'ils attachent à la qualité de l'environnement. Cette qualité est mesurée par un indicateur e . Le goût des consommateurs pour l'environnement est représenté par un indice s uniformément distribué sur un intervalle de longueur l selon une évaluation croissante du service environnemental.

Le consommateur indicé par $s = 0$ est celui qui apprécie le moins le service tandis que celui indicé par $s = l$ est celui qui l'apprécie le plus. Chaque consommateur achète au plus une unité de produit, et la valeur v est supposée suffisamment large pour qu'à l'équilibre

²<https://www.resolve.ngo/docs/report-only.pdf>

tout le monde achète une unité. L'utilité du consommateur $s \in [0, l]$ est donnée par

$$u = \begin{cases} v - p_c & \text{si le produit est conventionnel} \\ v + se - p_b & \text{si le produit est bio} \\ 0 & \text{s'il n'y a pas d'achat} \end{cases} \quad (1)$$

Ainsi, le produit bio est verticalement différencié du produit conventionnel dans la mesure où si tous les deux sont vendus au même prix, chaque consommateur préfère le produit bio.

Soient c le coût moyen de production du produit conventionnel, et e le coût de fournir le service environnemental qui inclut tous les efforts supplémentaires pour respecter l'environnement (et comprend éventuellement le prix à payer pour obtenir le label bio s'il existe). On fait donc l'hypothèse que les coûts marginaux de production dépendent de la qualité environnementale du produit et non de la quantité produite. Implicitement, cela revient à supposer que l'industrie du produit considéré est petite en regard de la taille globale de l'industrie, si bien que l'offre de facteurs utilisés dans les secteurs bio et conventionnel est parfaitement élastique. Supposons que le marché du produit conventionnel soit parfaitement concurrentiel. Les entreprises qui offrent ce produit étant preneuses de prix, le prix du produit conventionnel s'établit au niveau du coût marginal (égal au coût moyen): $p_c = c$.

L'entreprise qui décide de lier la vente du produit au service environnemental est en monopole, ce qui lui permet de choisir son prix.

Le partage du marché est donné par S qui correspond au consommateur indifférent entre les deux produits ou encore à la part de marché de l'entreprise conventionnelle:

$$v - c = v + Se - p_b \quad (2)$$

D'où $\frac{l-S}{l}$ est la part de marché de l'entreprise verte. Ainsi:

$$S = \begin{cases} l & \text{si } p_b \geq c + le \\ \frac{p_b - c}{e} & \text{si } c < p_b \leq c + le \\ 0 & \text{si } p_b \leq c \end{cases} \quad (3)$$

L'entreprise verte a un profit $(p_b - c - e) \left(\frac{l-S}{l}\right)$ tandis que l'entreprise conventionnelle a un profit $(p_c - c) \frac{S}{l}$ où S est défini comme ci-dessus.

Le monopole choisit son prix suivant le programme

$$\max_p (p - c - e) (le + c - p) / le, \quad (4)$$

en supposant que $c < p \leq c + le$.

Le monopole fixe un prix p_m qui doit vérifier la condition du premier ordre:

$$le + c - p_m - (p_m - c - e) = 0. \quad (5)$$

La solution intérieure de cette équation existe à condition que $l > 1$. Elle est caractérisée par $p_m = c + \frac{e}{2}(1 + l)$ qui donne au monopole une marge de profit $p_m - c - e = \frac{e}{2}(l - 1)$. Il est donc nécessaire que les goûts des consommateurs pour l'environnement soient suffisamment hétérogènes ($l > 1$) pour qu'une entreprise ait intérêt à offrir sur le marché un produit

bio. Avec ce prix de monopole, les parts de marché pour le bio et le conventionnel sont, respectivement,

$$\begin{aligned}\frac{l - S_m}{l} &= \frac{l - 1}{2l}, \\ \frac{S_m}{l} &= \frac{l + 1}{2l}.\end{aligned}\tag{6}$$

On note que le marché est partagé entre produits bio et conventionnel à condition que $l > 1$. Sinon, les consommateurs sont si peu soucieux de l'environnement qu'une entreprise en monopole produisant bio n'aurait pas un seul client. Les profits d'équilibre correspondants sont

$$\begin{aligned}\pi_b^m &= \frac{(l - 1)^2}{4l}e, \\ \pi_c^m &= 0.\end{aligned}\tag{7}$$

L'entreprise bio dégage donc une marge de profit positive, contrairement aux entreprises conventionnelles en concurrence parfaite. On vérifie que le monopole est malthusien: il vend une quantité plus faible et à un prix plus élevé que si le bio était parfaitement concurrentiel.

Lorsque le coût du service e augmente, le prix du produit bio augmente sans changer pour autant le partage du marché.

Le marché livré à lui-même génère-t-il trop ou pas assez de service environnemental du point de vue du bien-être social?

Le partage socialement optimal du marché donné par S^* est obtenu sous tarification au coût marginal $p_b^* = c + e$ et $p_c = c$. Par conséquent,

$$\frac{S^*}{l} = \frac{1}{l} < \frac{S_m}{l} \Leftrightarrow 1 < l.\tag{8}$$

Lorsque $1 < l$, la demande pour le produit bio vendu à son coût marginal est

$$\frac{l - S^*}{l} = \frac{l - 1}{l} > 0\tag{9}$$

qui signifie que la présence sur le marché du produit bio est socialement efficace puisque la demande est strictement positive. Sans l'hypothèse que $1 < l$, l'existence d'un produit bio sur le marché irait à l'encontre de l'intérêt général. Avec cette hypothèse, il est socialement justifié que le produit bio soit offert sur le marché. Si en outre le produit bio est offert par un monopole, le marché livré à lui-même ne génère pas assez de produit bio et donc trop de produit conventionnel puisque

$$\frac{S^*}{l} < \frac{S_m}{l}.\tag{10}$$

L'intuition est que le coût plus élevé du bio relativement au produit conventionnel ainsi que le pouvoir de marché de l'entreprise bio incitent celle-ci à fixer un prix élevé. L'entreprise bio perd ainsi de la clientèle au bénéfice des entreprises conventionnelles.

Problème 3: Boulanger bio

Pour se différencier des boulangers conventionnels, le boulanger Biopain choisit de respecter un cahier des charges qui améliore la qualité environnementale du pain qu'il fabrique. Cette stratégie a pour effet de segmenter le marché en partageant la demande entre une clientèle pour le pain conventionnel, et une clientèle concernée par la protection de l'environnement, qui préfère le pain bio de Biopain. Les consommateurs sont prêts à payer plus cher pour le pain bio que pour le pain conventionnel qui est offert par une multitude de boulangers en concurrence parfaite.

On note p le prix du pain bio et p_c le prix du pain conventionnel. Les consommateurs attachent la même valeur v au pain conventionnel. Le pain bio, lui, est différemment apprécié par les consommateurs: le goût b pour le pain bio est uniformément distribué sur un intervalle de longueur 1, suivant une densité unitaire. Chaque consommateur achète au plus une baguette de pain, et v est supposée suffisamment large pour qu'à l'équilibre tout le monde achète une baguette. L'utilité du consommateur $b \in [0, 1]$ est donnée par

$$u = \begin{cases} v - p_c & \text{pour le pain conventionnel} \\ v + b - p & \text{pour le pain bio} \end{cases}$$

Le coût moyen de produire le pain conventionnel est supposé nul si bien que $p_c = 0$. Soit c le coût supplémentaire que supporte Biopain pour satisfaire un cahier des charges plus sévère, avec $0 < c < 1$.

17. Pourquoi $p_c = 0$?
18. Déterminer la demande pour le pain bio.
19. Exprimer le prix qu'a intérêt à fixer Biopain en fonction de c , et la part de marché qu'obtient le boulanger à ce prix.
20. Quel serait le partage socialement optimal du marché entre le pain bio et le produit conventionnel? La présence sur le marché du pain bio est-elle socialement souhaitable?
21. Le boulanger Biopain offre-t-il assez de produit? Faut-il ou non le subventionner?

4.2 - Duopole avec une entreprise écologique différenciée verticalement

Précédemment, nous avons vu que l'existence d'un label environnemental permet à une entreprise de différencier son produit de la variante conventionnelle et d'acquérir du pouvoir de marché en ciblant la clientèle verte. Nous faisons alors l'hypothèse que les entreprises conventionnelles étaient parfaitement concurrentielles de sorte que l'entreprise bio jouissait d'une position de monopole. Dans ces conditions, la motivation pour offrir un produit bio est extrême puisque le label donne à l'entreprise le pouvoir de fixer le prix. Que se passe-t-il si les entreprises conventionnelles ont elles aussi le pouvoir de fixer le prix de leur produit? L'entreprise bio doit alors composer avec la pression concurrentielle qu'exercent les entreprises rivales, ce qui réduit les perspectives de profit que le label permet d'espérer. On peut alors se demander quels sont les profits à attendre d'un label bio en régime de concurrence en prix à la Bertrand.

À la différence de la concurrence parfaite, la concurrence imparfaite dote les entreprises en oligopole d'un pouvoir de marché qui leur permet d'adopter un comportement stratégique. Influençant par leurs décisions le comportement de leurs rivales, les entreprises se soucient des réactions qu'elles provoquent et les intègrent à leur calcul de maximisation du profit sous la forme d'anticipations. Lorsque toutes les entreprises en concurrence se livrent à cet exercice de calcul au mieux pour soi en tenant compte que les autres font de même dans leur coin, les prises de décisions sont simultanées et non-coopératives, c'est à dire que les entreprises ne communiquent pas entre elles et aucune n'a la possibilité d'observer les choix des autres. Les situations qui en résultent sont prédictibles par le concept d'équilibre de Nash.

L'équilibre de Cournot est ainsi un équilibre de Nash résultant d'une situation concurrentielle où les variables stratégiques sont les quantités de produit que mettent les entreprises sur le marché. C'est un équilibre satisfaisant pour l'intuition puisqu'il met en évidence que les entreprises en concurrence imparfaite exploitent leur pouvoir de marché en dégageant une marge de profit (d'autant moins forte que le nombre d'entreprises en concurrence est plus élevé). Néanmoins, le jeu qui sous-tend l'équilibre de Cournot est criticable à deux égards. Premièrement, il se focalise sur des produits homogènes, négligeant ainsi la possibilité que les consommateurs perçoivent des différences entre produits d'entreprises aux noms ou logos distincts et les considèrent ainsi plutôt comme des substituts imparfaits. Ensuite, une hypothèse centrale du modèle de Cournot est que les prix sont choisis par un commissaire-priseur fictif qui n'existe pas en réalité. Sur bien des marchés en concurrence imparfaite, les prix sont bel et bien choisis et affichés par les entreprises qui s'engagent alors à satisfaire la clientèle désireuse d'acheter à ces prix.

En rupture avec le modèle de Cournot, Bertrand (1883) propose de considérer les prix plutôt que les quantités comme les variables stratégiques pertinentes d'une concurrence imparfaite. Mais il obtient un résultat paradoxal dans le cadre d'un duopole à rendements constants offrant des produits identiques: les deux entreprises fixent à l'équilibre le prix qui prévaudrait si la concurrence était parfaite. Au vu de ce résultat, il semblerait que le nombre d'entreprises en présence sur le marché n'a aucune importance pour étudier leur comportement en prix. Ce n'est pas très réaliste. On observe plutôt que les entreprises détentrices d'un pouvoir de marché l'exercent effectivement et en tirent un profit conséquent. Toutefois, le paradoxe de Bertrand disparaît dès lors que l'on considère une concurrence en prix entre produits différenciés ainsi que nous allons le voir.

Reprenons le modèle de vente liée précédemment exposé dans le cadre du monopole. Pour se différencier d'un produit conventionnel, une entreprise lie la vente de son produit à un service environnemental certifié par un label. Cette stratégie partage le marché entre la clientèle pour le produit conventionnel et la clientèle pour le produit bio qui fournit le service environnemental.

Le jeu entre les entreprises se déroule en deux étapes. Tout d'abord, chaque entreprise décide de lier ou non la vente du produit au service environnemental. Ensuite, les entreprises se concurrencent en prix.

Caractérisons les solutions d'équilibre du sous-jeu de concurrence en prix.

- Les deux entreprises lient le service au produit, ou bien aucune ne le fait.

Dans les deux cas, les produits en concurrence sont identiques et le résultat de concurrence à la Bertrand s'applique: les entreprises tarifent au coût marginal, elles font

donc un profit nul et le marché est arbitrairement divisé entre les deux.

- Une seule entreprise lie le service au produit.

Le partage du marché est donné par S qui correspond au consommateur indifférent entre les deux produits ou encore à la part de marché de l'entreprise conventionnelle:

$$v - p_c = v + Se - p_b \quad (11)$$

D'où $\frac{l-S}{l}$ est la part de marché de l'entreprise verte. Ainsi:

$$S = \begin{cases} l & \text{si } p_b - p_c \geq le \\ \frac{p_b - p_c}{e} & \text{si } 0 < p_b - p_c \leq le \\ 0 & \text{si } p_b \leq p_c \end{cases} \quad (12)$$

On en déduit les parts de marché, respectivement, pour l'entreprise conventionnelle

$$D_c(p_b, p_c) = \frac{S}{l} = \frac{p_b - p_c}{le}$$

et pour l'entreprise bio

$$D_b(p_b, p_c) = \frac{l - S}{l} = \frac{le - p_b + p_c}{le}$$

L'entreprise verte a un profit $\pi_b(p_b, p_c) = (p_b - c - e) D_b(p_b, p_c)$ tandis que l'entreprise conventionnelle a un profit $\pi_c(p_b, p_c) = (p_c - c) D_c(p_b, p_c)$. Les fonctions de réaction en prix $\hat{r}_c(p_b)$ et $\hat{r}_b(p_c)$ se déduisent des programmes de maximisation des deux entreprises:

$$\max_p (p - c) \frac{p_b - p}{le} \quad (13)$$

et

$$\max_p (p - c - e) \frac{le - p + p_c}{le} \quad (14)$$

La condition du premier ordre pour l'entreprise conventionnelle donne sa fonction de réaction

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_c(p_b, p_c)}{\partial p_c} &= \frac{p_b - p_c}{le} - \frac{p_c - c}{le} = 0 \\ \Rightarrow \hat{r}_c(p_b) &= \frac{c + p_b}{2} \end{aligned}$$

Idem pour l'entreprise bio

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_b(p_b, p_c)}{\partial p_b} &= \frac{le - p_b + p_c}{le} - \frac{p_b - c - e}{le} = 0 \\ \Rightarrow \hat{r}_b(p_c) &= \frac{(1 + l)e + c + p_c}{2} \end{aligned}$$

À l'équilibre de Nash en prix noté $(\widehat{p}_b, \widehat{p}_c)$, chaque entreprise anticipe que sa rivale choisit son prix d'équilibre si bien que

$$\begin{aligned}\widehat{r}_b(\widehat{p}_c) &= \widehat{p}_b \\ \text{et } \widehat{r}_c(\widehat{p}_b) &= \widehat{p}_c\end{aligned}$$

Il existe une solution intérieure d'équilibre de Nash en prix $(\widehat{p}_b, \widehat{p}_c)$ caractérisée par

$$\begin{aligned}\widehat{p}_b &= c + \frac{2}{3}(1+l)e, \\ \widehat{p}_c &= c + \frac{1}{3}(1+l)e.\end{aligned}\tag{15}$$

La condition $\frac{1}{2} < l$ garantit que $\widehat{p}_b - \widehat{p}_c < le$. Si $l \leq \frac{1}{2}$, l'entreprise bio est exclue du marché.

On a vu précédemment que lorsque le paramètre e tend vers 0, la qualité environnementale du produit bio décroît jusqu'à s'annuler. Les deux produits avec et sans service deviennent des substituts parfaits aux yeux des consommateurs. En même temps, la différence entre les coûts de production disparaît. Finalement, lorsque $e = 0$, les deux entreprises offrent le même produit au même prix égal au coût marginal c : on retrouve le résultat d'équilibre de la concurrence à la Bertrand entre produits identiques.

Aux prix d'équilibre, les parts de marché pour le bio et le conventionnel sont, respectivement,

$$\begin{aligned}\frac{l - \widehat{S}}{l} &= \frac{2l - 1}{3l} > 0 \text{ si } \frac{1}{2} < l, \\ \frac{\widehat{S}}{l} &= \frac{1 + l}{3l}.\end{aligned}\tag{16}$$

Et les profits d'équilibre correspondants sont

$$\begin{aligned}\widehat{\pi}_b &= \frac{(2l - 1)^2}{9l}e, \\ \widehat{\pi}_c &= \frac{(1 + l)^2}{9l}e.\end{aligned}\tag{17}$$

Dans le cas où $\frac{1}{2} < l$, si une seule entreprise lie le service environnemental au produit, les deux entreprises dégagent une marge de profit positive, contrairement aux deux cas précédents où les deux entreprises offrent le service. Par conséquent, la solution du jeu complet est qu'une entreprise choisit de produire bio tandis que sa rivale opte pour le produit conventionnel.

Lorsque le coût du service e augmente, la concurrence en prix se relâche: les deux prix d'équilibre augmentent en raison de leur complémentarité stratégique. Toutefois, le partage du marché ne change pas.

Le marché livré à lui-même génère-t-il trop ou pas assez de service environnemental du point de vue du bien-être social?

On a vu précédemment que le partage socialement optimal du marché donné par S^* est obtenu sous tarification au coût marginal $p_b^* = c + e$ et $p_c = c$. Par conséquent,

$$\frac{S^*}{l} = \frac{1}{l} < \frac{\widehat{S}}{l} \Leftrightarrow 2 < l\tag{18}$$

Lorsque $1 < l$, on a $S^* < 1$, autrement dit le partage du marché entre produits bio et conventionnel est socialement souhaitable du moment que les goûts pour le service environnemental sont suffisamment hétérogènes.

Mais si $2 < l$, on a $S^* < \widehat{S}$ et le marché livré à lui-même génère trop de produit conventionnel.

Si, en revanche, $1 < l < 2$, la présence des deux produits est socialement souhaitable, néanmoins les ventes de bio sont trop importantes puisque $S^* > \widehat{S}$. L'intuition est qu'une hétérogénéité forte des goûts pour l'environnement pousse les deux entreprises à augmenter leur prix, mais l'entreprise conventionnelle perd de la clientèle alors que l'entreprise bio en gagne.

Enfin si $\frac{1}{2} < l < 1$, on a $S^* > 1$ si bien que la présence du bio sur le marché n'est pas socialement souhaitable car l'hétérogénéité des goûts pour l'environnement est insuffisante. Néanmoins, on trouve le produit bio sur le marché.

Problème 4: Vin bio et vin conventionnel

Considérons une économie dans laquelle le revenu des consommateurs de vin est distribué uniformément le long d'une échelle $[0, 1]$. Dans cette économie, il y a deux producteurs de vin, l'un propose un vin conventionnel et l'autre un vin bio, certifié par le label AB. Le producteur de vin conventionnel offre son produit au prix unitaire p_1 et le producteur de vin bio propose le sien au prix unitaire p_2 . Les deux producteurs ont le même coût moyen de production que l'on supposera nul. Le vin conventionnel est moins apprécié que le vin bio de sorte qu'un consommateur dont le revenu est situé au niveau x de l'échelle $[0, 1]$, est disposé à payer au plus x pour le vin bio, alors qu'il ne consent à payer que αx pour le vin conventionnel, avec $\alpha \in [0, 1]$. Chaque consommateur achète une seule unité de vin et, s'il n'achète pas, son utilité est nulle. On note \bar{x} le revenu du consommateur de vin indifférent entre les deux vins, et \underline{x} le revenu du consommateur indifférent entre le vin conventionnel et ne rien acheter.

22. Ecrire le surplus d'un consommateur dont le revenu est x , selon qu'il achète son vin chez le producteur de vin conventionnel ou le producteur de vin bio.
23. Ecrire l'équation caractérisant \bar{x} . Que signifierait une inégalité telle que $\bar{x} < 0$? Qu'est-ce qui pourrait provoquer une telle situation?
24. Ecrire l'équation caractérisant \underline{x} . Montrer que le nombre de clients pour le vin conventionnel est donné par $\bar{x} - \underline{x}$. En déduire que la demande pour le vin conventionnel est

$$D_1(p_1, p_2) = \frac{\alpha p_2 - p_1}{\alpha(1 - \alpha)}$$

25. Exprimer la demande pour le vin bio en fonction des prix et de α .
26. Calculer les prix et les demandes d'équilibre de duopole. Montrer que le profit d'équilibre pour le vin conventionnel est

$$\widehat{\pi}_1 = \frac{\alpha(1 - \alpha)}{(4 - \alpha)^2}.$$

Montrer que cette fonction admet un maximum en $\alpha = \frac{4}{7}$.

27. En supposant que le producteur de vin conventionnel puisse choisir le niveau de qualité de son vin, que gagne-t-il à augmenter la qualité biologique de son vin en éliminant pesticides et engrais chimiques jusqu'au niveau $\alpha = 1$? Pourquoi?
28. Quel niveau α le producteur de vin conventionnel a-t-il intérêt à choisir?

4.3 - Le choix de la qualité environnementale en régime de concurrence en prix

À quel niveau se situe le curseur de la qualité environnementale? Les critères qui définissent ce qu'est un produit écologiquement responsable, le cahier des charges que doit respecter son processus de production et de distribution, peuvent être plus ou moins sévères. Il existe une logique économique qui explique en partie le niveau d'exigence requis pour la qualité environnementale.

Considérons l'exemple de l'Agriculture Biologique. Tel que défini par l'Institut National des Appellations d'Origine (INAO), c'est un mode de production qui "allie les pratiques environnementales optimales, le respect de la biodiversité, la préservation des ressources naturelles et l'assurance d'un niveau élevé de bien-être animal. C'est aussi un mode de production qui exclut l'usage des OGM et qui limite le recours aux intrants, en privilégiant l'emploi de ressources naturelles et renouvelables dans le cadre de systèmes agricoles organisés à l'échelle locale, et en restreignant strictement l'utilisation de produits chimiques de synthèse".

Les opérateurs qui s'engagent en Agriculture Biologique doivent respecter un cahier des charges rigoureux qui privilégie les procédés non polluants, respectueux de l'écosystème et des animaux. Dans ce cahier des charges, on trouve en particulier la liste des ingrédients autorisés dans la composition d'un produit alimentaire labellisé bio. Doit-on ou non y inclure les extraits d'algues qui servent d'agents gélifiant ou épaississant comme les carraghénanes ou l'agar-agar? Ce genre de décision fait partie, avec une multitude d'autres, d'un mécanisme plus général de détermination du niveau de qualité environnementale: elle comprend l'ensemble des normes que les entreprises s'engagent à respecter, qu'un label garantit et qu'un organisme de contrôle est capable de vérifier.

Nous allons étudier les motivations économiques qui sont à l'oeuvre derrière le choix de la qualité environnementale dans un régime de concurrence en prix entre un producteur bio et un producteur conventionnel. Pour cela, nous utilisons un modèle de différenciation verticale inspiré de Shaked et Sutton (1982), adapté au problème de l'environnement par Amacher, Koskela et Ollikainen (2004).

Illustration:

En France, sur le marché du vin, du fromage et autres produits laitiers, les producteurs peuvent faire le choix d'offrir une qualité supérieure garantie par une appellation d'origine contrôlée (AOC). L'AOC est attribuée par l'INAO qui emploie des inspecteurs chargés de vérifier que le produit est conforme à un cahier des charges exigeant. Ainsi, pour le vin, l'AOC, fondée sur le respect des "usages loyaux, locaux et constants", repose sur des critères liés au terroir, aux types de cépage, à la taille de la vigne, au rendement maximal à l'hectare ou à la teneur maximale en sucre naturel avant un éventuel enrichissement.

Sur le marché des vins biologiques, plusieurs certifications existent qui n'exigent pas le même engagement des producteurs. La certification la plus courante est le label "AB"

d’Ecocert qui intervient à la quatrième année d’une culture réalisée sans engrais ni pesticide ni OGM. Pendant la période de conversion à la production bio, des contrôles sont effectués une fois par an auxquels s’ajoute une inspection surprise. La mention Demeter qui certifie les vins biodynamiques impose le respect d’un cahier des charges encore plus contraignant que celui de “AB”.

Pour ce qui est de la pêche et des produits de la mer “durables”, censés respecter la reproduction naturelle de la ressource, le label bleu du Marine Stewardship Council domine le marché de la certification.

Dans l’Union Européenne et aux Etats-Unis, le système de certification pour les produits agricoles et les denrées alimentaires repose essentiellement sur les organisations de producteurs qui décident des critères de qualité, et les rendent contraignants par la force de la loi. En Europe, on distingue deux niveaux de contrôle pour la qualité des produits agricoles: l’“Appellation d’Origine Protégée” qui impose le cahier des charges le plus contraignant, et l’“Indication Géographique Protégée” qui est moins sévère. Les organisations de producteurs sont aussi chargées, en Europe, de promouvoir l’adoption de techniques de production respectueuses de l’environnement (voir à ce sujet, les articles de Moschini et al., 2013; et Zago, 1999).

Modèle:

On considère le marché d’un produit vendu par deux entreprises sous des variantes qui diffèrent par leur qualité environnementale. La variante conventionnelle (indiquée par $i = c$) est produite avec une technologie polluante. La variante écologique du produit (indiquée par $i = b$) est produite par une technologie qui ne dégrade pas l’environnement. Les technologies de production sont à rendements constants (les coûts marginaux sont constants). On néglige le coût de produire la variante conventionnelle. Produire écologique impose un coût spécifique c qu’entraîne la dépollution, l’utilisation d’énergies renouvelables ou la perte de productivité (en agriculture) liée à la lutte sans produits chimiques contre les nuisibles, les ravageurs et les maladies de la plante.

Les consommateurs ont des préférences hétérogènes qui diffèrent par leur intérêt pour la qualité environnementale. Tous les consommateurs attribuent la même valeur v au produit conventionnel. La qualité environnementale du produit est mesurée par un indicateur $e \in [0, \bar{e}]$. Un consommateur est représenté par son paramètre de goût x pour la qualité environnementale, que l’on suppose distribué de manière uniforme et continue sur l’intervalle $[0, 1]$. Un consommateur de goût x est prêt à payer au plus le montant $v + xe$ pour un produit de qualité e , où $e = 0$ correspond au produit conventionnel. Les deux variantes du produit sont verticalement différenciées dans la mesure où si toutes les deux sont vendues au même prix, chaque consommateur préfère la qualité écologique. Chaque consommateur achète au plus une unité de produit. Le nombre des consommateurs est normalisé à 1. Chaque consommateur dispose d’un revenu m .

Soit p_b le prix de la qualité écologique et p_c le prix de la qualité conventionnelle.

L’utilité indirecte d’un consommateur de goût x qui achète le produit i dont le niveau de qualité environnementale est e est donné par

$$V_i(p_i, e, x) = m + v + xe_i - p_i, i = b, c, \tag{19}$$

où $e_b = e$ et $e_c = 0$.

La stratégie de différenciation des produits a pour effet de segmenter le marché en partageant la demande entre une clientèle achetant la qualité écologique et une clientèle

destinée à la qualité conventionnelle. Le niveau de préférence critique pour le consommateur X qui est indifférent entre le produit écologique et le produit conventionnel est déterminé par l'équation

$$m + v - p_c = m + v + Xe - p_b, \quad (20)$$

dont la solution est

$$X = \frac{p_b - p_c}{e}. \quad (21)$$

Tous les consommateurs de goût x tel que $x \geq X$ achètent le produit écologique et les consommateurs restant achètent le produit conventionnel pourvu que

$$p_c < v \quad (22)$$

Les demandes pour le produit écologique et le produit conventionnel sont respectivement définies par

$$\begin{aligned} D_b(p_b, p_c, e) &= 1 - X = 1 - \frac{p_b - p_c}{e} = \frac{e - p_b + p_c}{e}, \\ D_c(p_b, p_c, e) &= X = \frac{p_b - p_c}{e}. \end{aligned} \quad (23)$$

Il se peut qu'à l'équilibre du marché pour le produit écologique le coût de produire écologique soit tellement élevé que la demande soit nulle, même si le produit écologique est vendu au coût marginal. Pour garantir que cela n'arrivera pas, on fait l'hypothèse que

$$D_b(p_b = c, p_c = 0, e) = \frac{e - c}{e} > 0. \quad (24)$$

Autrement dit

$$c < e. \quad (25)$$

L'entreprise de qualité écologique a un profit $\pi_b(p_b, p_c, e) = (p_b - c) D_b(p_b, p_c, e)$ tandis que l'entreprise de qualité conventionnelle a un profit $\pi_c(p_b, p_c, e) = p_c D_c(p_b, p_c, e)$.

Le jeu entre les entreprises se déroule en deux étapes. Tout d'abord, l'entreprise écologique décide du niveau de qualité environnementale qu'elle offre. Ensuite, les entreprises se concurrencent en prix en ayant connaissance des qualités précédemment choisies. Le choix de la qualité écologique précède la décision en prix car décider d'un certain niveau de qualité pour un produit nécessite des investissements importants qui rendent le choix de la qualité irréversible au moment de fixer le prix. Si, par exemple, le cahier des charges qu'implique un certain niveau de qualité requiert le travail d'un ingénieur ou d'un expert, alors le prix du produit n'est fixé qu'une fois terminé le travail de ce spécialiste-là (qui d'ailleurs indique parfois lui-même le prix auquel on doit vendre). La solution de ce jeu en deux étapes est un équilibre "parfait" que l'on détermine en suivant le principe de récurrence vers l'amont (backward induction). Il signifie que le choix de qualité par l'entreprise écologique doit intégrer l'impact sur la concurrence ultérieure en prix.

Caractérisons d'abord les solutions d'équilibre de Nash du sous-jeu de concurrence en prix, puis les solutions d'équilibre du jeu en qualité.

- Equilibre du sous-jeu en prix

Programmes des entreprises

$$\begin{aligned} \max_{p_b} \pi_b(p_b, p_c, e) \\ \text{et } \max_{p_c} \pi_c(p_b, p_c, e) \end{aligned} \quad (26)$$

Il existe une solution intérieure d'équilibre de Nash en prix $(\hat{p}_b(e), \hat{p}_c(e))$ caractérisée par les conditions du premier ordre de ces deux programmes:

$$\begin{aligned} -\frac{p_b - c}{e} + \frac{e - p_b + p_c}{e} &= 0, \\ \frac{p_b - p_c}{e} - \frac{p_c}{e} &= 0. \end{aligned} \quad (27)$$

Celles-ci donnent les fonctions de réaction des entreprises (la meilleure réponse en prix de chacune au choix anticipé de l'autre):

$$\begin{aligned} \hat{r}_b(p_c, e) &= \frac{1}{2}(p_c + c + e), \\ \hat{r}_c(p_b, e) &= \frac{p_b}{2}. \end{aligned} \quad (28)$$

On note que chaque réponse est croissante en fonction du prix anticipé de l'entreprise rivale: il y a complémentarité stratégique des prix, contrairement aux quantités dans le modèle de Cournot, qui sont substitués stratégiques. Anticiper que le prix concurrent se relâche incite l'entreprise à augmenter son propre prix. Autrement dit, se montrer moins agressif en prix rend le concurrent lui-même moins agressif. Les industries où les entreprises rivalisent en prix sur des produits différenciés offrent un terrot favorable à la collusion tacite.

À l'intersection des fonctions de réaction se trouve l'équilibre de Nash $(\hat{p}_b(e), \hat{p}_c(e))$:

$$\begin{aligned} \hat{r}_b(\hat{p}_c(e), e) &= \hat{p}_b(e) \\ \hat{r}_c(\hat{p}_b(e), e) &= \hat{p}_c(e) \end{aligned} \quad (29)$$

Après résolution, on obtient

$$\begin{aligned} \hat{p}_b(e) &= \frac{2}{3}(c + e), \\ \hat{p}_c(e) &= \frac{1}{3}(c + e). \end{aligned} \quad (30)$$

À ces prix, les parts de marché pour les qualités b et c sont respectivement:

$$\begin{aligned} D_b(\hat{p}_b(e), \hat{p}_c(e), e) &= \frac{e - \hat{p}_b(e) + \hat{p}_c(e)}{e} \\ &= \frac{2e - c}{3e} \end{aligned} \quad (31)$$

qui est positive puisque $c < 2e$ sous l'hypothèse (25) que $c < e$, et

$$\begin{aligned} D_c(\hat{p}_b(e), \hat{p}_c(e), e) &= \frac{\hat{p}_b(e) - \hat{p}_c(e)}{e} \\ &= \frac{e + c}{3e} \end{aligned} \quad (32)$$

qui est toujours positive.

La marge de profit du producteur écologique est

$$\widehat{p}_b(e) - c = \frac{2e - c}{3} \quad (33)$$

qui est positive et croissante avec e .

Les profits d'équilibre correspondant sont

$$\begin{aligned} \widehat{\pi}_b(e) &= \frac{(2e - c)^2}{9e}, \\ \widehat{\pi}_c(e) &= \frac{(e + c)^2}{9e}. \end{aligned} \quad (34)$$

Le paramètre e garantit que les deux produits sont différenciés tant que $e > c$ d'après l'hypothèse (25). Lorsque e tend vers c en même temps que c tend vers 0, la qualité environnementale du produit écologique e se rapproche de la qualité conventionnelle qui est nulle, et le supplément de coût dû au cahier des charges écologique tend à s'annuler. On retrouve alors le résultat d'équilibre de la concurrence à la Bertrand entre produits identiques: $\widehat{p}_b(0) = \widehat{p}_c(0) = 0$.

On remarque que:

1. Le produit écologique est vendu plus cher que le produit conventionnel;
2. Les deux entreprises dégagent des marges de profit positives;
3. L'impact sur les prix d'équilibre d'une augmentation de la qualité environnementale est mesuré par les dérivées:

$$\frac{\partial \widehat{p}_b(e)}{\partial e} = \frac{2}{3} \quad (35)$$

qui est positive. De même, une augmentation de la qualité environnementale pousse le prix du produit conventionnel à la hausse.

$$\frac{\partial \widehat{p}_c(e)}{\partial e} = \frac{1}{3} \quad (36)$$

Finalement, la concurrence en prix entre les deux producteurs se relâche lorsque e augmente.

• Choix optimal de la qualité environnementale

On peut maintenant remonter à la première étape du jeu pour déterminer le choix optimal de la qualité environnementale \widehat{e}_b . L'entreprise écologique doit prévoir comment son choix de qualité influence non seulement sa demande mais aussi l'intensité de la concurrence en prix. On utilise la forme réduite des fonctions de profit

$$\widehat{\pi}_b(e) = \pi_b(\widehat{p}_b(e), \widehat{p}_c(e), e) = (\widehat{p}_b(e) - c) D_b(\widehat{p}_b(e), \widehat{p}_c(e), e), \quad (37)$$

et

$$\widehat{\pi}_c(e) = \pi_c(\widehat{p}_b(e), \widehat{p}_c(e), e) = \widehat{p}_c(e) D_c(\widehat{p}_b(e), \widehat{p}_c(e), e), \quad (38)$$

La solution recherchée doit satisfaire $e \in [0, \bar{e}]$ et la contrainte (25): $c < e$.

Le programme du producteur écologique est $\max_e \widehat{\pi}_b(e)$.

En dérivant le profit, on obtient:

$$\frac{\partial \widehat{\pi}_b(e)}{\partial e} = (\widehat{p}_b(e) - c) \frac{\partial D_b(\cdot)}{\partial e} + \frac{\partial \pi_b(\cdot)}{\partial p_b} \frac{\partial \widehat{p}_b(e)}{\partial e} + \frac{\partial \pi_b(\cdot)}{\partial p_c} \frac{\partial \widehat{p}_c(e)}{\partial e} \quad (39)$$

Le théorème de l'enveloppe indique que $\frac{\partial \pi_b(\cdot)}{\partial p_b} \frac{\partial \widehat{p}_b(e)}{\partial e} = 0$ puisqu'à l'équilibre en prix du sous-jeu, la condition $\frac{\partial \pi_b(\cdot)}{\partial p_b} = 0$ est satisfaite. Comme $\frac{\partial \pi_b(\cdot)}{\partial p_c} = (\widehat{p}_b(e) - c) \frac{\partial D_b(\cdot)}{\partial p_c}$, il en ressort que

$$\frac{\partial \widehat{\pi}_b(e)}{\partial e} = (\widehat{p}_b(e) - c) \left(\frac{\partial D_b(\cdot)}{\partial e} + \frac{\partial D_b(\cdot)}{\partial p_c} \frac{\partial \widehat{p}_c(e)}{\partial e} \right). \quad (40)$$

Un changement dans le niveau de qualité écologique a deux effets sur le profit du producteur écologique: il modifie directement la demande pour le bio (premier terme positif) et il redistribue les consommateurs entre l'écologique et le conventionnel en perturbant le prix d'équilibre de la qualité conventionnelle (second terme, lui aussi positif: toute augmentation de e augmente le prix du profit conventionnel, ce qui accroît la demande pour le produit écologique).

Plus précisément, le détail des calculs donne:

$$\widehat{p}_b(e) - c = \frac{2e-c}{3} \text{ (déjà vu: positif sous l'hypothèse que } c < e),$$

$$\frac{\partial D_b(\cdot)}{\partial e} = \frac{\widehat{p}_b(e) - \widehat{p}_c(e)}{e^2} = \frac{c+e}{3e^2} > 0,$$

$$\frac{\partial D_b(\cdot)}{\partial p_c} = \frac{1}{e},$$

$$\text{et } \frac{\partial \widehat{p}_c(e)}{\partial e} = \frac{1}{3}$$

Finalement, on obtient

$$\frac{\partial \widehat{\pi}_b(e)}{\partial e} = \frac{2e-c}{3} \left(\frac{c+e}{3e^2} + \frac{1}{3e} \right) > 0 \quad (41)$$

On en déduit que $\widehat{e} = \bar{e}$. Le producteur écologique a intérêt à cibler la meilleure qualité possible pour deux raisons:

- 1° Attirer plus de consommateurs verts avec le produit le plus attrayant possible,
- 2° Pousser vers le haut le prix du conventionnel pour détourner à son profit la clientèle du concurrent.

5 - Le système incitatif de régulation environnementale

Ce système englobe toutes les mesures prises par l'autorité de régulation (le gouvernement ou l'agence de protection de l'environnement) qui visent à orienter les choix des acteurs économiques par l'intermédiaire de prix, tels que les taxes ou les prix de permis à polluer. Le rôle du prix est de signaler à un acteur économique la valeur estimée de la pollution qu'il génère, de sorte qu'il en tienne compte dans son calcul économique. Il peut ainsi "internaliser

l'externalité": grâce à l'incitation financière dont le régulateur assortit une activité polluante, le pollueur est incité à se comporter d'une manière socialement souhaitable. Un système incitatif décentralisé a plus la faveur des économistes qu'une réglementation centralisée dans la mesure où il permet de contourner certains inconvénients propres à la réglementation. Un premier avantage est celui de la décentralisation puisque la décision d'ajustement appartient à l'acteur économique visé par la mesure incitative. Elle est ensuite plus souple qu'une réglementation qui doit fixer les modalités à suivre pour respecter la norme. Mais les mesures incitatives soulèvent d'autres problèmes. En particulier, elles supposent une bonne connaissance prévisionnelle de la manière dont réagissent les acteurs économiques au signal en prix qui leur est transmis, autrement dit, il faut savoir calculer les élasticités-prix du côté de la demande et les élasticités de substitution entre facteurs du côté de l'offre, sur les marchés dont l'activité génère de la pollution. La mise en place d'un système incitatif décentralisé nécessite donc, en amont, des études d'impact de la mesure concernée sur les comportements économiques, et, en aval, un suivi attentif des effets réalisés pour pouvoir procéder à des ajustements le cas échéant. En France, par exemple, un système de subvention-taxe appelé "bonus-malus" a été mis en place dans l'industrie automobile depuis 2008. Il est destiné à encourager l'achat de véhicules neufs à faibles émissions en CO_2 , tout en dissuadant l'utilisation de véhicules à fortes émissions en CO_2 . Ces mesures fiscales s'inspirent dans une certaine mesure de la taxe sur les "gas guzzler" – les autos gourmandes en essence – instauré par l'Energy Tax Act de 1978 aux Etats-Unis. Selon le ministre français de l'environnement, le système des "bonus-malus" a fait basculer 40% du marché automobile français vers des véhicules plus "verts". Mais le système a essuyé les critiques du ministre des finances pour avoir augmenté le coût des fonds publics.

Il existe deux types de mesures reposant sur une logique incitative: la taxe (ou subvention) environnementale et la création de marchés de droits ou permis à polluer.

5.1 - Taxes et subventions environnementales

Toutes deux ont pour objectif de modifier les coûts privés de production des pollueurs pour faire en sorte qu'ils correspondent aux coûts publics associés au dommage environnemental.

Une taxe sur la pollution générée par une entreprise a pour effet d'augmenter les coûts supportés par celle-ci pour rester sur le marché en y ajoutant le coût de la pollution. L'entreprise est donc incitée à réduire sa production pour l'adapter au niveau de pollution optimal, quitte à trouver des moyens nouveaux et peu coûteux d'y parvenir. La taxe permet en fait de créer un "prix" de la pollution là où il n'en existait pas. Suivant la règle établie par Pigou (1920) pour un marché en concurrence parfaite, l'autorité environnementale doit imposer une taxe sur chaque unité de pollution émise. En théorie, la taxe doit refléter exactement le dommage supplémentaire que causerait à la santé humaine ou à l'écosystème une unité en plus d'émission polluante qui viendrait s'ajouter au niveau de pollution optimal. Ainsi, dans une industrie ou sur un marché parfaitement concurrentiel, le calcul de la taxe dite "Pigouvienne" suppose que l'on est capable d'estimer le dommage marginal correspondant au niveau de pollution optimal qui donne le montant de cette taxe. Si, par exemple, l'émission d'une tonne de CO_2 crée des dommages à l'environnement évalués à 100€, chaque entreprise se verra taxée de ce montant par tonne de CO_2 émise.

Grâce à cette mesure fiscale, les pollueurs intègrent – les économistes disent "internalisent" – la valeur estimée de l'externalité dans leur calcul économique, l'externalité étant ici constituée

par la différence entre le coût social de la dégradation de l'environnement due à la production et le coût de celle-ci. Le marché concurrentiel, corrigé par la taxe environnementale, est censé orienter l'allocation de bien polluant conformément au niveau de pollution optimal.

Dans le cas de la pollution par émission de dioxyde de carbone, William Nordhaus (2008) plaide pour une taxe carbone en ces termes:

« Augmenter le prix de l'utilisation du carbone par une taxe a pour objectif premier de créer de fortes incitations à réduire les émissions de CO₂. Par quatre mécanismes distincts. Premièrement, cela fournira des signaux aux consommateurs sur les produits et services qui génèrent de fortes émissions de CO₂ et sont donc à utiliser avec parcimonie. Deuxièmement, cela fournira des signaux aux producteurs sur les sources d'énergie les plus génératrices de CO₂ (comme l'électricité issue du charbon), et celles qui en génèrent moins ou pas du tout (comme l'énergie éolienne), ce qui devrait les pousser à s'orienter vers les technologies peu émettrices. Troisièmement, cela rendra le marché favorable aux inventeurs et innovateurs qui développent des produits et des processus peu émetteurs de CO₂ capables de se substituer aux technologies actuelles.

Enfin, un prix de marché pour le carbone réduira la somme d'informations requises pour accomplir ces trois tâches. Aujourd'hui, le consommateur responsable soucieux de minimiser son "empreinte carbone" (la quantité de carbone qu'il utilise) peut difficilement calculer les émissions comparées de CO₂ qu'il génère, par exemple en prenant soit sa voiture soit l'avion. Avec une taxe sur le carbone, le prix de toutes les activités émettrices de CO₂ augmenterait en proportion du contenu en carbone des sources d'énergie utilisées. Bien des consommateurs continueront de ne pas savoir quelle part du prix est due au contenu en carbone, mais ils pourront prendre leurs décisions en sachant qu'ils paient pour le coût social du carbone qu'ils utilisent. »

Un premier avantage de la taxe environnementale sur la réglementation est que l'on n'a pas en prendre en compte la diversité des techniques de production puisque la taxe doit porter directement sur les émissions polluantes. Un autre avantage est que l'autorité régulatrice laisse l'entreprise polluante répondre à la taxe de la manière qu'elle entend, plutôt que de lui imposer le montant à réduire d'émissions polluantes. Ainsi, certaines sources polluantes restreindront immédiatement leur production, et du même coup leurs émissions, tandis que d'autres préféreront payer la taxe. Simultanément, l'introduction d'une taxe sur la pollution rend relativement moins coûteuse l'utilisation de techniques de production alternatives, plus respectueuses de l'environnement, et renforce l'incitation des entreprises à se tourner vers de telles techniques.

En pratique, le niveau de la taxe est toutefois délicat à établir. S'il est trop bas, le niveau de pollution sera excessif et si, à l'inverse, il est trop haut, la production et la consommation du bien polluant seront réduites en-dessous du niveau souhaitable. Le bon fonctionnement de la taxe suppose donc une connaissance précise des phénomènes écologiques et de leurs conséquences, permettant de mesurer les coûts marginaux. Ce n'est pas une mince affaire. Comment évaluer, par exemple, une légère augmentation du risque de contracter une maladie respiratoire chronique ou de détruire des étangs, un site historique? Donner un équivalent monétaire à de tels dommages n'est pas toujours facile.

En France, la taxe environnementale prend non seulement la forme d'une taxe proprement dite, c'est à dire un versement effectué sans contrepartie dans l'esprit de Pigou, mais

aussi celle d'une redevance, c'est à dire un versement effectué avec contrepartie, ou encore d'allègement et d'exonérations fiscales, de crédits ou remboursements d'impôts bénéficiant à certains contribuables qui agissent en faveur de l'environnement.

Les principales taxes pour la protection de l'environnement sont:

- La Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers (TIPP) qui vise à atténuer la pollution produite par l'utilisation des énergies fossiles,
- Les taxes et redevances perçue dans le secteur de l'eau pour la protection de la ressource en eaux, le traitement des eaux usées et l'assainissement des collectivités,
- Les taxes et redevances perçues pour la collecte et le traitement des déchets,
- Le système de "bonus-malus" mis en place dans l'industrie automobile en 2008 et sur les produits électroménagers en 2012: téléviseurs, lave-linge, climatiseurs et lampes sont taxés sur la base de 0,02€ par kilowattheure; la somme récoltée finance une "vignette verte" de 150€ destinée aux ménages modestes (2 millions de ménages selon l'Ademe) pour tout achat d'un réfrigérateur ou d'un congélateur peu gourmand en électricité; le but est d'éviter que la mesure soit fiscalement déficitaire comme cela s'est avéré pour l'automobile,
- La taxe carbone. Prévues en France dès 2010, elle était fixée à 17€/tonne de CO₂, puis elle fut censurée par le Conseil constitutionnel en raison du trop grand nombre d'exemptions qui auraient accompagné sa mise en place. La taxe carbone réapparaît dans le budget 2014 sous le nom de Contribution Climat-Énergie (CCE), définie par le gouvernement comme une « composante carbone » proportionnelle aux émissions de CO₂ dans les taxes sur les énergies fossiles. Fixée à 32€ la tonne, la CCE devrait augmenter jusqu'à 100€ la tonne en 2030.

Plusieurs pays nordiques ont introduit au début des années 1990 une taxe carbone dans leur économie (Finlande, Suède, Norvège et Danemark). Elle a pris la forme d'un impôt indirect comme la TVA et elle a été compensée dans chaque cas par une baisse des impôts sur le revenu ou des cotisations sociales. Elle est de 20€ la tonne en Finlande, et de 109€ la tonne en Suède. Selon une étude du département d'économétrie de l'Université de Cambridge, la taxe carbone a un "effet réduit mais positif" sur l'activité, à hauteur de 0,5% dans 6 pays qui l'ont introduite.

Le Monde du 9 novembre 2011:

"Le gouvernement australien mettra en oeuvre une taxe carbone en juillet 2012. Les 500 entreprises les plus polluantes devront payer le montant de 23 dollars (soit 17€) par tonne de CO₂ émise. Pour faire accepter au public cette mesure, le gouvernement s'est engagé à reverser la moitié de la taxe perçue sous forme de baisses d'impôts, dirigées en particulier vers les ménages à revenus modestes."

Dans les années 1990, certains économistes de l'environnement ont suggéré qu'introduire des taxes environnementales permettrait de réaliser un "double dividende" en utilisant le revenu fiscal qu'elles génèrent à réduire les distorsions causées dans l'économie par l'impôt sur le revenu ou sur le capital. Le premier dividende est l'amélioration de la qualité de l'environnement et le second dividende consiste en un gain net de bien-être pour la société par compensation des perturbations inhérentes au système fiscal. Toutefois, l'existence d'un

double dividende n'a pas été validée par la recherche académique (cf Bovenberg et de Mooij, 1994). Le débat a attiré l'attention sur trois effets distincts de la taxe environnementale en termes de bien-être social: le gain direct en bien-être, l'effet de recyclage du revenu et l'effet d'interaction des taxes. Le gain direct en bien-être provient de la régulation de la pollution: si le coût d'une tonne de carbone supplémentaire est de 32€ (ainsi que l'estime le rapport Quinet sur "la valeur tutélaire du carbone" en 2009/2010), on devrait taxer les émissions de carbone de 32€ de sorte que les pollueurs réduisent leurs émissions au niveau indiqué par la taxe, améliorant ainsi le bien-être de la société. Le produit de la taxe doit pour cela être retourné de manière forfaitaire à la société. L'idée du double dividende est de ne pas reverser ainsi la taxe mais plutôt de s'en servir pour alléger d'autres taxes distortives sur le travail ou le capital. Cela devrait être bénéfique à la société en augmentant l'emploi et le bien-être: c'est l'effet positif de recyclage du revenu de la taxe environnementale. Néanmoins, il existe un troisième effet négatif en terme de bien-être social, lié au fait que la taxe environnementale est elle-même distortive: elle peut décourager le travail de certains en réduisant le salaire réel des ménages. C'est la somme de ces trois effets qui détermine l'impact global de la taxe environnementale sur le bien-être social. Malheureusement, des simulations numériques sur un modèle d'équilibre général des Etats-Unis (cf Bovenberg et Goulder, 1996) montre que l'effet d'interaction des taxes est plus important que l'effet de recyclage du revenu. Une conséquence dans l'exemple de taxation des émissions de carbone à leur coût social de 32€, est qu'il serait exagéré de fixer la taxe à ce niveau.

5.2 - La règle de Pigou en concurrence parfaite

Reprenons l'exemple déjà développé du bien polluant échangé sur un marché concurrentiel. Dans cet exemple, la quantité de bien x est transformée en émissions polluantes e par le processus de production suivant la fonction linéaire $e = \varepsilon x$, où ε est le taux de pollution par unité de bien: on fait donc l'hypothèse que la pollution est proportionnelle à la quantité échangée de bien x . Le dommage causé à l'environnement dépend indirectement de la quantité de bien par l'intermédiaire de ce processus. Pour en tenir compte, on note $\mathcal{D}(e)$ la mesure du dommage causé par la pollution, et donc $\varepsilon \mathcal{D}_m(e)$ exprime le dommage marginal par unité de bien x . Rappelons que, dans ce cas, l'allocation du bien socialement efficace x^* vérifie l'égalité

$$u_m(x^*) = c_m(x^*) + \varepsilon \mathcal{D}_m(\varepsilon x^*)$$

Soit t une taxe par unité de bien polluant, imposée au producteur par le régulateur. C'est une solution préconisée par Pigou (1936) pour restaurer l'optimum social.

- Programme du producteur

$$\max_x \pi(x) = px - c(x) - te$$

Il en résulte la courbe inverse d'offre:

$$p = c_m(x) + t\varepsilon$$

- L'équilibre du marché concurrentiel s'établit au prix p^e qui ajuste l'offre à la demande de bien polluant

$$p^e = u_m(x^e) = c_m(x^e) + t\varepsilon$$

Pour obtenir que les seules forces du marché réalisent l'allocation de bien socialement efficace x^* , c'est à dire $x^e = x^*$, le régulateur doit fixer la taxe $t^* = \mathcal{D}_m(\varepsilon x^*)$ exactement égale au dommage marginal pour une allocation efficace. C'est la règle initialement établie par Pigou. Le dommage marginal correspond à la somme que le consommateur serait prêt à payer pour réduire à la marge la pollution du niveau socialement optimal. Confronté à une taxe d'un tel montant, le pollueur est incité à prendre en considération dans son calcul économique l'externalité qu'il impose au reste de la société.

5.3 - La règle de Pigou en monopole

En monopole, le producteur a le pouvoir de fixer le prix du marché (contrairement au producteur concurrentiel qui, lui, est preneur de prix). Ce pouvoir de marché se traduit par un comportement malthusien: le monopole vend une quantité moindre et à un prix plus élevé que le producteur concurrentiel. Bien entendu, cette déviance par rapport à l'allocation du marché concurrentiel génère une perte sociale, due au fait que des consommateurs sont exclus du marché en raison du prix de monopole trop élevé, alors qu'ils devraient y être. Le seul frein à la tentation du monopole de vendre le plus cher possible est la contrainte de la demande. Ainsi, lorsqu'il fait son calcul de maximisation du profit, le monopole doit tenir compte de la sensibilité de la demande aux changements de prix – les économistes appellent cela "l'élasticité" de la demande. Une conséquence sur l'environnement du comportement de monopole est que, livré à lui-même, il est plus vertueux que le producteur concurrentiel. Du fait que le monopole est malthusien, il produit moins que le producteur concurrentiel et il émet donc moins de pollution. Le régulateur doit tenir compte de ces différences de comportement et d'impact sur l'environnement. Ainsi, la règle de Pigou valable pour la taxe environnementale destinée au producteur concurrentiel, doit être corrigée pour pouvoir s'appliquer efficacement au monopole.

Calculons la taxe optimale calibrée pour un monopole polluant. Pour cela, il est pratique d'introduire la notion d'élasticité-prix de la demande qui mesure la sensibilité de la consommation aux variations de prix. On a vu que la courbe inverse de demande est donnée par la relation $p = u_m(x)$ qui caractérise le comportement rationnel du consommateur. Il sera plus pratique ici de travailler avec la courbe de demande $x(p)$ qui donne la quantité achetée du bien en fonction du prix, ce qui revient donc à inverser la relation $p = u_m(x)$. Associée à la demande, l'élasticité-prix notée $\eta(p)$ est ainsi définie: $\eta(p) \equiv -x'(p)\frac{p}{x}$, où $x'(p)$ est la dérivée de $x(p)$ par rapport au prix. On mesure donc bien avec $\eta(p)$ de quel pourcentage varie la demande lorsque le prix change de 1%. Le régulateur doit fixer une taxe t par unité de pollution émise en tenant compte du comportement de monopole du pollueur.

- Programme du producteur

$$\max_p \pi(p, x(p)) = px(p) - c(x(p)) - t\varepsilon x(p)$$

Le monopole fixe un prix p^m qui doit vérifier:

$$(p - c_m(x(p)) - t\varepsilon)x'(p) + x(p) = 0$$

On voit que le comportement de maximisation du profit conduit le monopole à exploiter son pouvoir de marché en dégagant une marge de profit $p - c_m(x(p)) - t\varepsilon$ positive.

On peut réécrire la condition ci-dessus en faisant apparaître l'élasticité de la demande:

$$\frac{p^m - c_m(x(p^m)) - t\varepsilon}{p^m} = \frac{1}{\eta(p^m)},$$

à condition que l'élasticité soit supérieure à 1 (sinon, le monopole choisirait un prix si élevé qu'il ne susciterait plus aucun achat). À taxe donnée, la marge de profit (nette du paiement de la taxe) est d'autant plus grande que la demande est moins élastique.

- Programme du régulateur

$$\max_t S(x) + \pi(x) - \mathcal{D}(\varepsilon x) = u(x) - c(x) - \mathcal{D}(\varepsilon x)$$

sous contrainte que la demande est $x(p)$ et le pollueur se comporte en monopole.

Le régulateur choisit une taxe t^* qui doit satisfaire:

$$u_m(x) - c_m(x) - \varepsilon \mathcal{D}_m(\varepsilon x) = 0,$$

où $x = x(p)$ et $p = p^m$ vérifie $p^m - c_m(x(p^m)) = t^*\varepsilon + \frac{p^m}{\eta(p^m)}$.

Comme $p^m = u_m(x(p^m))$, on obtient:

$$t^*\varepsilon + \frac{p^m}{\eta(p^m)} - \varepsilon \mathcal{D}_m(\varepsilon x(p^m)) = 0$$

et finalement:

$$t^* = \mathcal{D}_m(\varepsilon x(p^m)) - \frac{p^m}{\varepsilon \eta(p^m)}$$

La taxe optimale n'est donc plus strictement égale au dommage marginal comme l'indique la règle de Pigou. Elle doit être fixée à un niveau inférieur au dommage marginal, de manière à prendre en considération la tendance naturelle du monopole à réduire son offre pour vendre plus cher. C'est le sens du terme correctif négatif $-\frac{p^m}{\varepsilon \eta(p^m)}$. Comme le régulateur environnemental est bienveillant, il a un double souci lié à deux défaillances du marché: il lui faut inciter le producteur à moins polluer (en l'amenant à réduire sa production), tout en corrigeant sa tendance à abuser de son pouvoir de marché (qui l'amène déjà à réduire sa production). Avec pour seul instrument la taxe, le régulateur choisit un niveau intermédiaire qui équilibre ces deux exigences.

Problème 5: Régulation de la pollution en concurrence parfaite et monopole

Sur le marché du ciment, une estimation de la demande donne la fonction $D(p) = 300 - p$, où p est le prix d'une tonne de ciment. On suppose pour le moment que ce marché fonctionne en concurrence parfaite. Le coût total privé de produire du ciment est décrit par la fonction $c(q) = q^2$, où q le niveau de production, mesuré en tonne. La production de ciment génère des particules et des gaz polluants. Le montant total de ces émissions polluantes $E(q)$ est égal à la quantité produite de ciment: $E(q) = q$. Le dommage que la pollution impose à la société est mesuré par la fonction $\mathcal{D}(E) = \frac{E^2}{2}$ par rapport aux émissions polluantes, de sorte que le dommage marginal de la pollution dépend de la quantité produite de ciment selon la fonction $\mathcal{D}_m(E(q)) = E(q)$.

29. Donnez le montant de la taxe Pigouvienne pour un niveau de production q , sans faire de calcul.
30. Montrer que le coût marginal social de produire du ciment est égal à $3q$.
31. Représenter graphiquement les courbes de demande et d'offre de ciment, ainsi que le coût marginal social de produire du ciment.
32. Déterminer le prix et la quantité d'équilibre concurrentiel du marché du ciment.
33. Quelle quantité de ciment serait-il économiquement efficace d'échanger, compte tenu de la pollution associée à cette production? Commenter.
34. On impose aux entreprises de payer une taxe Pigouvienne. Écrire le programme de maximisation d'une entreprise. Déterminer le montant de la taxe Pigouvienne.
35. En supposant maintenant que le marché du ciment est monopolisé par une entreprise, calculer le montant de la taxe environnementale qui permettrait de réguler son comportement. Commenter.

5.4 - Procédé de dépollution en fin de cycle

On modifie le modèle précédent pour considérer que le producteur a la possibilité d'utiliser un procédé de dépollution en fin de cycle de production. Le marché du bien polluant est parfaitement concurrentiel.

- La pollution

Le producteur produit une quantité x de bien qui génère un niveau $e = (1 - \gamma)x$ d'émissions polluantes, où γx représente le niveau de dépollution dont le producteur est capable en fonction de la technologie de dépollution dont il dispose, et $1 - \gamma > 0$ représente le taux de pollution par unité de production. Si, par exemple, les émissions polluantes sont des gaz à effet de serre et le bien polluant est de l'électricité, γ mesure l'utilisation d'énergies renouvelables dans la production, et $1 - \gamma$ mesure l'utilisation d'énergies fossiles comme le charbon, le gaz naturel ou le pétrole.

Le dommage environnemental est représenté par la fonction $\mathcal{D}(e)$ telle que $\mathcal{D}_m(e) = \mathcal{D}'(e) > 0$ et $\mathcal{D}''(e) > 0$. Par exemple, $\mathcal{D}(e) = \delta e^2/2 = \delta [(1 - \gamma)x]^2/2$ avec $\delta > 0$.

- La technologie de dépollution

Le producteur dispose d'une technologie qui lui permet de réduire sa pollution. On suppose que les coûts de production sont négligeables. Le producteur ne supporte donc que les coûts de dépollution donnés par la fonction croissante et convexe $c(a)$, où a représente la quantité de bien dépollué: $a = \gamma x$, avec $c'(a) > 0$ et $c''(a) > 0$. Par exemple, $c(a) = ca^2/2$.

- Programme du consommateur

L'intérêt qu'un consommateur représentatif retire d'acheter un bien en quantité x sur le marché est mesuré par sa fonction d'utilité $u(x)$ (par exemple, $u(x) = \alpha x - x^2/2$).

Le consommateur calcule sa fonction de demande pour tout prix unitaire p affiché sur le marché en résolvant le programme

$$\max_x S(x) = u(x) - px$$

La condition nécessaire de premier ordre de ce programme donne $p = u_m(x)$ (dans l'exemple précédent d'utilité quadratique, on obtient une courbe de demande qui a pour équation: $p = \alpha - x$).

Taxe pigouvienne

- Programme du producteur

Le producteur cherche à obtenir le plus grand profit possible. Il se comporte de manière parfaitement concurrentielle, de sorte que sa seule variable de décision est la quantité de bien qu'il met sur le marché. Le producteur doit payer la taxe t par unité d'émission polluante. Le producteur détermine sa courbe d'offre en fonction du prix du bien p que lui impose le marché, en résolvant le programme suivant

$$\max_x \pi(x) - te = px - c(a) - te$$

sous les contraintes que

$$a = \gamma x \text{ et } e = (1 - \gamma)x$$

La condition nécessaire de premier ordre donne la courbe inverse d'offre

$$p = \gamma c'(\gamma x) + t(1 - \gamma)$$

Par exemple, avec $c(a) = ca^2/2$; ainsi, le coût marginal est $\gamma c'(\gamma x) = c\gamma^2 x$ et l'offre de bien s'écrit $x_o(p) = \frac{p-t(1-\gamma)}{c\gamma^2}$.

- L'équilibre du marché s'établit au prix p^e qui ajuste l'offre à la demande de bien

$$p^e = u_m(x^e) = \gamma c'(\gamma x^e) + t(1 - \gamma)$$

Dans l'exemple où $u(x) = \alpha x - x^2/2$ et $c(a) = ca^2/2$, on obtient, à l'équilibre concurrentiel du marché, l'allocation $x^e = \frac{\alpha+t(\gamma-1)}{t+c\gamma^2}$.

- Programme du régulateur

On suppose que le régulateur est socialement bienveillant et respectueux de l'environnement. Il calcule l'allocation de bien socialement efficace (correspondant au niveau de pollution optimal) en résolvant le programme

$$\max_x u(x) - px + te + \pi(x) - te - \mathcal{D}(e) = u(x) - c(a) - \mathcal{D}(e),$$

L'allocation du bien socialement efficace x^* vérifie

$$u_m(x^*) = \gamma c'(\gamma x^*) + (1 - \gamma) \mathcal{D}_m((1 - \gamma)x^*)$$

Dans l'exemple où $\mathcal{D}(e) = \delta e^2/2 = \delta [(1 - \gamma)x]^2/2$, on obtient $x^* = \frac{\alpha}{1+c\gamma^2+\delta(1-\gamma)^2}$.

Le régulateur fixe la taxe de manière à ajuster x^e à x^* . On retrouve ainsi la taxe pigouvienne

$$t^* = \mathcal{D}_m((1 - \gamma)x^*)$$

Dans l'exemple où $\mathcal{D}(e) = \delta e^2/2 = \delta [(1 - \gamma)x]^2/2$, le calcul de la taxe donne $t^* = \frac{\alpha\delta(1-\gamma)}{1+c\gamma^2+\delta(1-\gamma)^2}$.

Marché de permis à polluer Supposons que le consommateur ait le droit d'avoir un environnement propre et que ce droit soit exécutoire. Un marché concurrentiel de permis à polluer est créé, sur lequel le régulateur bienveillant vend au producteur une quantité e d'émissions polluantes, au prix unitaire τ . Comme précédemment, on a $e = (1 - \gamma)x$, où γ est le taux de dépollution par unité de bien. En achetant $(1 - \gamma)x$ permis à polluer, le producteur est autorisé à produire x unités de bien polluant, ce qui inflige un dommage $\mathcal{D}(e)$ à l'environnement.

- Programme du producteur

$$\max_x \pi(x) - \tau e = px - c(a) - \tau e$$

sous les contraintes que

$$a = \gamma x \text{ et } e = (1 - \gamma)x$$

Il en résulte une courbe inverse d'offre de bien

$$p = \gamma c'(\gamma x) + \tau(1 - \gamma)$$

et une demande de permis: $e_d = (1 - \gamma)x$.

- L'équilibre du marché concurrentiel s'établit au prix p^e qui fait coïncider l'offre et la demande de bien polluant

$$p^e = u_m(x^e) = \gamma c'(\gamma x^e) + \tau(1 - \gamma)$$

- Programme du régulateur

$$\max_x u(x) - c(\gamma x) - \mathcal{D}((1 - \gamma)x)$$

Le régulateur doit choisir l'allocation x^* qui vérifie

$$u_m(x^*) = \gamma c'(\gamma x^*) + (1 - \gamma)\mathcal{D}_m((1 - \gamma)x^*)$$

et offrir un nombre de permis $e_o = (1 - \gamma)x^*$.

À l'équilibre du marché des permis, le prix τ fait coïncider l'offre de permis avec la demande $e_d = (1 - \gamma)x^e$. Il en résulte que $x^* = x^e$, de sorte que

$$\tau = \mathcal{D}_m((1 - \gamma)x^*)$$

Le prix d'équilibre sur le marché des permis est donc équivalent à la taxe pigouvienne.

En conclusion, la création par le régulateur d'un marché concurrentiel pour l'externalité de pollution instaure une situation satisfaisante pour la société. Les externalités ont ainsi été vues par Meade (1952) comme étant des phénomènes inhérents à l'absence de certains marchés concurrentiels. De là provient l'idée de compléter un système de marchés par autant de marchés ou d'instruments de marché qu'il n'y a d'externalités afin d'atteindre un résultat socialement efficace.

Problème 6: Taxes pigouviennes et droits de pollution

On suppose que le marché de l'électricité fonctionne en concurrence parfaite. La demande d'électricité est donnée par la fonction $D(p) = 40 - p$, où p est le prix d'un mégawatt/heure d'électricité. La production d'électricité est polluante lorsqu'elle utilise la combustion d'énergie fossile. Une quantité x d'électricité, mesurée en mégawatt/heure, génère un niveau $e = \frac{x}{2}$ d'émissions polluantes. Toutefois, les producteurs d'électricité peuvent combiner l'énergie fossile avec des énergies renouvelables moins polluantes, telles que le solaire, l'éolien, la biomasse ou l'hydroélectricité. Le coût d'introduire des énergies renouvelables dans le processus de production est donné par la fonction $c(a) = a^2/2$, où $a = \frac{x}{2}$ représente la quantité d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables. On suppose que les coûts de production d'électricité à partir de la combustion d'énergie fossile sont négligeables.

Le dommage environnemental causé par la combustion d'énergies fossiles est représenté par la fonction $\mathcal{D}(e) = e^2$.

36. Représenter graphiquement les courbes de demande d'électricité, d'offre et le coût marginal social de produire de l'électricité.
37. Déterminer le prix et la quantité d'équilibre concurrentiel du marché de l'électricité.
38. Quelle quantité d'électricité serait-il économiquement efficace d'échanger, compte tenu de la pollution associée à cette production? Commenter.
39. Calculer le montant de la taxe pigouvienne qui permettrait de restaurer l'efficacité économique.
40. Un régulateur organise un marché où s'échangent des permis à polluer entre les producteurs d'électricité. Le prix qui égalise offre et demande sur ce marché s'établit au niveau τ par unité d'émissions polluantes. En achetant e permis à polluer au régulateur, un producteur est autorisé à produire x unités d'électricité. Calculer le prix d'équilibre du marché des permis à polluer.
41. En supposant maintenant que le marché de l'électricité est dominé par un monopole, calculer le montant de la taxe environnementale qui permettrait de réguler son comportement. Commenter.

5.5 - Le système du dépôt remboursé (la consigne)

Pour un contrôle efficace de la pollution, Pigou (1920) préconisait de taxer directement les émissions polluantes ou les déchets à un taux égal au dommage marginal qu'ils causent à l'environnement. Ainsi, la taxe Pigouvienne incite un producteur à substituer un facteur

propre à un facteur polluant en augmentant le prix de celui-ci. Sinon, ce type de taxe réduit la demande pour un produit polluant en augmentant son prix. La mise en place d'une taxe Pigouvienne par un régulateur suppose que celui-ci est capable d'observer le dommage environnemental, de localiser la source des émissions polluantes et d'identifier le pollueur.

Il est tout à fait concevable de mettre en place une taxe Pigouvienne pour les émissions de carbone car on peut obtenir des estimations précises du dommage marginal d'après le contenu en carbone des essences fossiles achetées sur le marché. Néanmoins, il peut être compliqué d'envisager des taxes directes sur certains déchets ou émissions, soit que la pollution s'avère difficile à mesurer, soit que la taxe ne semble pas applicable. Dans ce cas, il existe des méthodes incitatives alternatives qui réduisent le besoin de contrôler et exécuter.

Un exemple pratique est le système du dépôt remboursé (la consigne) appliqué sur des produits comme les bouteilles en verre ou les cannettes en aluminium. L'avantage de ce système est qu'il contourne les problèmes de mesure et d'exécution d'une taxe sur la pollution en appliquant la taxation à des transactions de marché observable, telles que l'achat d'un produit par le consommateur, tout en subventionnant d'autres transactions de marché comme l'achat par une entreprise polluante de facteurs de production propres.

Le modèle suivant montre qu'il est équivalent d'utiliser une taxe Pigouvienne ou d'avoir recours au système du dépôt remboursé. Ce modèle est développé par Fullerton et Wolverton (2005).

Dans une économie, il y a n ménages identiques qui détiennent une unité de ressource, comme par exemple un montant fixe de temps disponible qui peut être vendu sous forme de travail l sur un marché ou bien utilisé à la maison. Cette ressource leur donne un revenu qui leur permet d'acheter un bien privé propre en quantité c et un bien privé sale en quantité d . Une autre interprétation est que c est une caractéristique de la ressource consommée qui en réduit les émissions polluantes, tandis que d est une caractéristique qui accentue ces émissions.

Les ménages peuvent aussi conserver une partie de la ressource sous forme de temps de loisir $h = 1 - l$ ou de production domestique. Le bien privé sale génère une externalité environnementale négative $D = nd$ que les ménages ignorent quand ils décident de leur consommation de bien sale.

Les producteurs de biens privés propres ou sales ont recours à une technologie à rendements d'échelle constants qui utilise le travail. La contrainte de ressource de l'économie est donnée par

$$\alpha n l = \alpha n (1 - h) = nc + nd \quad (42)$$

La productivité du travail correspond au salaire α qui rémunère le travail et ce salaire sert de numéraire.

Le ménage représentatif augmente son utilité par la consommation de biens privés ou de loisir, et la diminue de travailler ou de supporter l'externalité négative:

$$u(c, d, h, D)$$

Dans une économie planifiée, un régulateur social maximise l'utilité sociale sous contrainte de la ressource

$$\max_{c,d,h} u(c, d, h, D) + \lambda (\alpha (1 - h) - c - d)$$

où λ est le multiplicateur de Lagrange (non-négatif) qui représente la valeur marginale sociale de la ressource.

Les conditions du premier ordre de ce programme sont

1° Le taux marginal de substitution entre le loisir et le bien propre doit être égal au prix du travail (le taux marginal de transformation correspondant)

$$u_c = \lambda = \frac{u_h}{\alpha} \quad (43)$$

2° L'utilité marginale du bien propre (u_c) doit être égale à celle du bien sale, corrigée par un terme qui tient compte de l'externalité négative ($nu_D < 0$)

$$u_d + nu_D = \lambda \quad (44)$$

La solution de premier rang caractérisée par (43) et (44) est réalisable dans une économie décentralisée avec marchés concurrentiels, à condition de pouvoir mettre en place des taxes, des subventions et des transferts forfaitaires T .

L'équilibre du marché du travail est donné par

$$1 = h + l$$

En normalisant les prix des marchés à un, la contrainte budgétaire du ménage est

$$c(1 + t_c) + d(1 + t_d) = \alpha(1 - h)(1 - t_l) + T$$

où t_c et t_d sont des taxes spécifiques sur les biens propres et sales, respectivement; $\alpha(1 - t_l)$ représente le coût d'opportunité du loisir, c'est à dire ce qu'on gagne à travailler, déduction faite d'une taxe sur le temps de travail.

Lorsque le ménage maximise son utilité, il traite l'externalité négative comme une donnée qui échappe à sa décision:

$$\max_{c,d,h} u(c, d, h, D) + \mu(\alpha(1 - h)(1 - t_l) + T - c(1 + t_c) - d(1 + t_d))$$

où μ (non-négatif) représente l'utilité marginale privée du revenu.

Les conditions de premier ordre de la solution de marché sont

$$\begin{aligned} u_c &= \mu(1 + t_c) \\ u_d &= \mu(1 + t_d) \\ &\text{et} \\ u_h &= \mu\alpha(1 + t_l) \end{aligned}$$

Les combinaisons optimales de taxes sont obtenues en faisant coïncider les conditions ci-dessus avec la solution de premier rang caractérisée par (43) et (44). Ainsi, lorsqu'on se contente de taxer directement le bien sale, on a

$$\begin{aligned} t_c &= t_l = 0 \\ &\text{et} \\ t_d &= -\frac{nu_D}{\mu} \end{aligned}$$

Ce résultat donne le montant de la taxe Pigouvienne: la perte d'utilité marginale pour les n ménages, causée par l'externalité de pollution, qui est convertie en monnaie en divisant par l'utilité marginale du revenu. Il s'agit bien du dommage marginal infligé par la pollution à l'environnement.

La contrainte de budget du gouvernement détermine alors le montant du revenu fiscal qui doit être restitué aux ménages sous forme de transferts forfaitaires

$$nT = t_d n d.$$

Supposons maintenant qu'on ne puisse pas utiliser t_d comme instrument politique, soit parce qu'il est politiquement délicat à imposer, soit parce que la consommation de bien sale est difficile à observer. Lorsque $t_d = 0$, on utilise à la place t_c et t_l , ce qui donne

$$t_c = \frac{nu_D}{\mu} < 0$$

et

$$t_l = -\frac{nu_D}{\mu} > 0$$

On trouve qu'il faut taxer positivement le travail, alors qu'on subventionne le bien propre d'un montant équivalent. La combinaison de ces deux instruments garantit que le marché satisfera l'optimum social aussi bien que la taxe Pigouvienne. L'association taxe-subvention peut s'interpréter comme un système de dépôt et de remboursement. Il remplace avantageusement la taxation directe de la consommation polluante dans les cas où celle-ci n'est pas commode à mesurer ou appliquer, comme il arrive lorsque la pollution émane d'une multitude de petits agents économiques, entreprises ou ménages.

Une illustration de ce modèle est le système de consigne pour les bouteilles. Pour un même produit vendu en bouteille, le ménage peut le consommer de manière propre (c) en recyclant les déchets (la bouteille sale) ou de manière sale (d) en abandonnant les déchets sur la voie publique. Le système de consigne revient ici à une combinaison entre une taxe sur l'achat du produit embouteillé (on prélève un dépôt au moment de l'achat sur le revenu du consommateur) et une subvention à la consommation propre (on rembourse le dépôt au ménage qui restitue la bouteille pour qu'elle soit recyclée). Il n'est pas facile de taxer la consommation sale car on ne peut pas surveiller le comportement de chaque individu pour savoir s'il jette ou recycle sa bouteille vide. À la place, on peut envisager de taxer le produit au moment où il est acheté. De fait, la transaction est plus facilement observable que l'acte de salir la voie publique. En outre, le montant de la taxe est restitué à ceux qui viennent rendre la bouteille pour qu'elle soit recyclée.

Une autre illustration du système de remboursement de dépôt concerne la circulation en ville. Un citoyen a le choix entre prendre les transports publics qui ne créent pas d'embouteillage (la circulation est fluide, sans externalité négative) ou circuler en automobile au risque d'encombrer l'espace et d'augmenter la pollution de l'air (deux externalités négatives). Plutôt que de taxer la circulation polluante, le décideur politique peut taxer tous les citoyens, quitte à subventionner les transports publics. Suivant la même logique, une ville qui veut encourager la végétalisation (la plantation d'arbres ou de massifs) pourrait la subventionner en utilisant la taxe foncière.

Autre exemple, la pollution automobile peut être régulée par le système de dépôt remboursé. Il peut être coûteux ou compliqué pour un gouvernement de mesurer les émissions

polluantes de chaque véhicule (par le biais du contrôle technique). Au lieu de ça, le gouvernement pourrait taxer la propriété du véhicule (au moment de l'achat) et, grâce à ce revenu fiscal, subventionner l'installation et l'entretien par le propriétaire d'un équipement qui réduit la pollution.

Enfin, un dernier exemple est la pollution du sol et de l'eau par les produits chimiques utilisés en agriculture. Ce type de pollution est souvent difficile à localiser et donc à contrôler. Dans ce cas, la combinaison fiscale revient à, d'une part, taxer l'achat d'engrais et de pesticides, pour, d'autre part, subventionner les paysans qui créent des zones de végétation jouant le rôle de tampons. Ces zones tampons interceptent les sédiments, les nutriments et les pesticides dans les eaux de ruissellement. Elles réduisent la pollution des eaux peu profondes du sous-sol, offrent un habitat et des corridors biologiques dans les zones agricoles. Elles contribuent à fournir de l'ombre. Elles peuvent aussi jouer un rôle clé dans la régulation de l'érosion des sols en stabilisant les berges des cours d'eau.

Réponses

Problème 1: Pollution sur le marché du charbon

Sur le marché du charbon, une estimation de la demande donne la fonction $D(p) = \alpha - p$ où p est le prix d'une tonne de charbon. On suppose ce marché fonctionne en concurrence parfaite. Le coût total privé de produire du charbon est décrit par la fonction $c(q) = cq^2/2$, où q le niveau de production, mesuré en tonnes. La production de charbon génère des particules et des gaz polluants. Le montant total de ces émissions polluantes $E(q)$ est égal à la quantité produite de charbon: $E(q) = q$. Le dommage que la pollution fait subir à la société est mesuré par la fonction $\mathcal{D}(E) = dE^2/2$ par rapport aux émissions polluantes, de sorte que le dommage marginal de la pollution dépend de la quantité produite de charbon selon la fonction $\mathcal{D}_m(E(q)) = dq$.

42. Montrer que le coût marginal social de produire du charbon est égal à $(c + d)q$.

Le coût marginal social est la somme du coût marginal de production, égal à $c_m(q) = cq$, et du dommage marginal, égal à dq .

43. Représenter graphiquement les courbes de demande et d'offre de charbon, ainsi que le coût marginal social de produire du charbon.

44. Déterminer le prix et la quantité d'équilibre concurrentiel du marché du charbon.

Le prix d'équilibre du marché concurrentiel ajuste l'utilité marginale au coût marginal du charbon

$$\begin{aligned} \alpha - q^e &= cq^e \\ \Rightarrow q^e &= \frac{\alpha}{1+c} \text{ et } p^e = \frac{c\alpha}{1+c} \end{aligned}$$

45. Quelle quantité de charbon serait-il économiquement efficace d'échanger, compte tenu de la pollution associée à cette production? Commenter.

Le régulateur bienveillant et concerné par l'environnement a pour objectif de maximiser le bien-être général (surplus des consommateurs, $u(q) - pq$, + profit des producteurs,

$\pi(q) = pq - c(q)$ moins le dommage environnemental, $\mathcal{D}(E(q)) = d\frac{q^2}{2}$. Comme $u(q) = \int_0^q (\alpha - s)ds = \alpha q - \frac{q^2}{2} + \text{constante}$, le programme est

$$\max_q \alpha q - \frac{q^2}{2} - pq + pq - c\frac{q^2}{2} - d\frac{q^2}{2}$$

La condition du premier ordre donne

$$\begin{aligned} \alpha - q &= cq + dq \\ \Rightarrow q^* &= \frac{\alpha}{1+c+d} \\ q^* &< q^e \end{aligned}$$

Livrés à eux-mêmes, les producteurs de charbon négligent l'externalité de pollution. Ils produisent et polluent trop par rapport à ce qui est socialement souhaitable.

46. Calculer la quantité que produirait une entreprise en monopole sur ce marché. Ce monopole est-il plus ou moins polluant que le marché concurrentiel? A quelle condition sur d le monopole est-il trop polluant?

Programme du monopole

$$\begin{aligned} \max_p \pi(D(p)) &= pD(p) - c(D(p)) \\ &= p(\alpha - p) - c(\alpha - p)^2 / 2 \end{aligned}$$

ou, de manière équivalente,

$$\begin{aligned} \max_q \pi(q) &= u_m(q)q - c(q) \\ &= (\alpha - q)q - cq^2/2 \end{aligned}$$

La condition du premier ordre lorsque la variable de décision est p donne

$$\begin{aligned} \alpha - 2p + c(\alpha - p) &= 0 \\ \Rightarrow p^m &= \alpha \frac{c+1}{c+2} > p^e = \frac{c\alpha}{1+c} \end{aligned}$$

Le monopole est malthusien et donc moins polluant que le marché concurrentiel

$$\begin{aligned} q^m &= \frac{\alpha}{2+c} < q^e = \frac{\alpha}{1+c} \\ E(q^m) &< E(q^e) \end{aligned}$$

Le monopole pollue trop par rapport à ce qui est socialement souhaitable lorsque

$$\begin{aligned} q^m &> q^* \\ \Leftrightarrow d &> 1 \end{aligned}$$

Problème 2: Pollution d'air transfrontalière.

Les habitants de deux pays voisins, indicés $i = 1, 2$, attachent de l'importance à la qualité de l'air qu'ils respirent. Les habitants du pays i disposent d'une richesse mesurée par w_i unités d'une monnaie commune entre les deux pays. Ils utilisent cette richesse pour acheter des véhicules qu'ils consomment en quantité $x_i, i = 1, 2$. Les véhicules polluent l'air, mais le gouvernement de chaque pays peut réduire la pollution de l'air en investissant dans une technique de dépollution. Cette technique est la même pour les deux pays. Elle est décrite par la fonction:

$$c(a_i) = ca_i,$$

signifiant qu'il coûte $c(a_i)$ unités monétaires au pays i pour obtenir une qualité d'air d'un niveau a_i . Le gouvernement de chaque pays a suffisamment d'autorité sur ses habitants pour prélever sur la richesse du pays le montant qu'il juge nécessaire à dépolluer l'air.

Les deux pays se distinguent par leurs préférences pour le bien privé (les véhicules) et le bien public (la qualité de l'air). La fonction d'utilité du consommateur représentatif du pays i a pour expression:

$$u_i(x_i, a) = x_i + \beta_i \ln a, i = 1, 2,$$

où $a = a_1 + a_2$ représente la qualité de l'air obtenue par les efforts conjugués des deux pays. Le gouvernement du pays i représente l'intérêt de ses habitants. Il maximise donc l'utilité de son consommateur représentatif en décidant de la quantité x_i de bien privé et de la qualité a_i de bien public qui l'intéressent, tout en respectant la contrainte budgétaire:

$$x_i + c(a_i) \leq w_i, i = 1, 2.$$

On considère que le pays 1 a plus de goût pour la qualité de l'air que le pays 2, aussi $\beta_1 > \beta_2$.

47. Pourquoi l'air pur peut-il être considéré comme un bien public? De quelle manière distingue-t-on le bien public du bien privé dans la formule de l'utilité?
48. Montrer que chaque gouvernement doit saturer sa contrainte budgétaire pour résoudre son problème de maximisation. Ce problème se réduit donc à

$$\max_{a_i} w_i - ca_i + \beta_i \ln a.$$

Supposons au contraire que la contrainte n'est pas saturée avec une solution optimale a_i

On peut augmenter a_i de ε de manière à respecter la contrainte budgétaire: $x_i + c(a_i + \varepsilon) \leq w_i$. On obtient

$$u_i(x_i, a + \varepsilon) = x_i + \beta_i \ln(a_i + a_{-i} + \varepsilon) > u_i(x_i, a) = x_i + \beta_i \ln(a_i + a_{-i})$$

Par conséquent a_i n'est pas une solution optimale

Le programme des gouvernements est

$$\begin{aligned} \max_{x_i, a_i} u_i(x_i, a) &= x_i + \beta_i \ln(a_i + a_{-i}) \\ \text{s. c. } x_i &= w_i - ca_i \end{aligned}$$

En substituant l'équation de contrainte budgétaire, le problème se réduit à

$$\max_{a_i} w_i - ca_i + \beta_i \ln(a_i + a_{-i})$$

49. Dédurre de la question précédente que la fonction de réaction du gouvernement du pays i peut s'écrire

$$\widehat{a}_i(a_j) = \max \left\{ \frac{\beta_i}{c} - a_j, 0 \right\}, i \neq j.$$

Condition du premier ordre du programme de maximisation pour solution $a_i > 0$

$$\frac{\beta_i}{a_i + a_{-i}} = c$$

On en déduit la fonction de réaction

$$a_i = \frac{\beta_i}{c} - a_{-i} > 0$$

50. Représenter graphiquement les deux fonctions de réaction dans un repère (a_1, a_2) .
51. Déterminer l'équilibre de Nash en qualité d'air $(\widehat{a}_1, \widehat{a}_2)$ correspondant aux décisions prises simultanément par les deux gouvernements. Commenter le résultat obtenu: qui est le passager clandestin? Pourquoi?

Comme $\beta_1 > \beta_2$, l'intersection des fonctions de réaction donne

$$\widehat{a}_1 = \frac{\beta_1}{c} \text{ et } \widehat{a}_2 = 0$$

C'est le pays le plus concerné par la qualité de l'air qui finance à lui seul la dépollution de l'air. Les deux pays ont des comportements de passager clandestin: chacun néglige l'effet bénéfique de son effort de dépollution sur le bien-être de l'autre pays.

52. Déterminer le niveau optimal d'air pur que souhaiterait une autorité internationale représentant l'intérêt global des deux pays. Commenter le résultat obtenu.

Le programme est

$$\begin{aligned} \max_{x_1, a_1, x_2, a_2} u_1(x_1, a) + u_2(x_2, a) &= x_1 + x_2 + (\beta_1 + \beta_2) \ln(a_1 + a_2) \\ \text{s. c. } x_1 + x_2 &= w_1 + w_2 - c(a_1 + a_2) \end{aligned}$$

En substituant, le programme devient

$$\max_a w_1 + w_2 - ca + (\beta_1 + \beta_2) \ln a$$

La solution est

$$a^* = \frac{\beta_1 + \beta_2}{c} > \frac{\beta_1}{c}$$

L'effort de dépollution est insuffisant lorsqu'on laisse les pays en décider par eux-mêmes: en calculant son effort pour améliorer la qualité de l'air, un pays ne tient compte que de son propre bien-être et ignore les répercussions de sa politique sur le bien-être de l'autre pays.

Problème 3: Boulanger bio

Pour se différencier des boulangers conventionnels, le boulanger Biopain choisit de respecter un cahier des charges qui améliore la qualité environnementale du pain qu'il fabrique. Cette stratégie a pour effet de segmenter le marché en partageant la demande entre une clientèle pour le pain conventionnel, et une clientèle concernée par la protection de l'environnement, qui préfère le pain bio de Biopain. Les consommateurs sont prêts à payer plus cher pour le pain bio que pour le pain conventionnel qui est offert par une multitude de boulangers en concurrence parfaite.

On note p le prix du pain bio et p_c le prix du pain conventionnel. Les consommateurs attachent la même valeur v au pain conventionnel. Le pain bio, lui, est différemment apprécié par les consommateurs: le goût b pour le pain bio est uniformément distribué sur un intervalle de longueur 1, suivant une densité unitaire. Chaque consommateur achète au plus une baguette de pain, et v est supposée suffisamment large pour qu'à l'équilibre tout le monde achète une baguette. L'utilité du consommateur $b \in [0, 1]$ est donnée par

$$u = \begin{cases} v - p_c & \text{pour le pain conventionnel} \\ v + b - p & \text{pour le pain bio} \end{cases}$$

Le coût moyen de produire le pain conventionnel est supposé nul si bien que $p_c = 0$. Soit c le coût supplémentaire que supporte Biopain pour satisfaire un cahier des charges plus sévère, avec $0 < c < 1$.

53. Pourquoi $p_c = 0$?

Les boulangers conventionnels sont en concurrence parfaite. Le prix du marché s'impose à eux. À l'équilibre concurrentiel, le prix est égal au coût marginal de faire du pain conventionnel, qui est nul.

54. Déterminer la demande pour le pain bio.

L'acheteur indifférent entre acheter du pain conventionnel ou du pain bio est solution en b de l'équation

$$\begin{aligned} v &= v + b - p \\ \Leftrightarrow b &= p \end{aligned}$$

Tous les acheteurs de goût b situé dans l'intervalle $[p, 1]$ achètent du pain bio. D'où la demande

$$D_b(p) = 1 - p$$

55. Exprimer le prix qu'a intérêt à fixer Biopain en fonction de c , et la part de marché qu'obtient le boulanger à ce prix.

$$\max_p \pi(p) = (p - c) D_b(p)$$

Il existe une solution intérieure \hat{p} caractérisée par la condition du premier ordre

$$\frac{\partial \pi(p)}{\partial p} = 1 - p - (p - c) = 0$$

On obtient

$$\hat{p} = \frac{1+c}{2}$$

La marge de profit est

$$\hat{p} - c = \frac{1-c}{2} > 0$$

La part de marché pour le boulanger bio est

$$D_b(\hat{p}) = 1 - \hat{p} = \frac{1-c}{2} > 0$$

56. Quel serait le partage socialement optimal du marché entre le pain bio et le produit conventionnel? La présence sur le marché du pain bio est-elle socialement souhaitable?

Si $p^* = c$ alors

$$D_b(p^*) = 1 - c > 0$$

Il est socialement souhaitable qu'il y ait du pain bio sur le marché puisque qu'il y a des acheteurs lorsque ce pain est vendu au coût marginal

57. Le boulanger Biopain offre-t-il assez de produit? Faut-il ou non le subventionner?

On compare

$$D_b(p^*) = 1 - c > D_b(\hat{p}) = \frac{1-c}{2}$$

Il n'y a pas assez de pain bio par rapport à ce qui est socialement souhaitable parce que le boulanger bio a un comportement de monopole: il vend moins que s'il était en concurrence parfaite, à un prix supérieur au coût marginal de produire bio. En le subventionnant, on réduit son coût ce qui l'incite à produire plus de pain bio.

Problème 4: Vin bio et vin conventionnel

Considérons une économie dans laquelle le revenu des consommateurs de vin est distribué uniformément le long d'une échelle $[0, 1]$. Dans cette économie, il y a deux producteurs de vin, l'un propose un vin conventionnel et l'autre un vin bio, certifié par le label AB. Le producteur de vin conventionnel offre son produit au prix unitaire p_1 et le producteur de vin bio propose le sien au prix unitaire p_2 . Les deux producteurs ont le même coût moyen de production que l'on supposera nul. Le vin conventionnel est moins apprécié que le vin bio de sorte qu'un consommateur dont le revenu est situé au niveau x de l'échelle $[0, 1]$, est disposé à payer au plus x pour le vin bio, alors qu'il ne consent à payer que αx pour le vin conventionnel, avec $\alpha \in [0, 1]$. Chaque consommateur achète une seule unité de vin et, s'il n'achète pas, son utilité est nulle. On note \bar{x} le revenu du consommateur de vin indifférent entre les deux vins, et \underline{x} le revenu du consommateur indifférent entre le vin conventionnel et ne rien acheter.

58. Ecrire le surplus d'un consommateur dont le revenu est x , selon qu'il achète son vin chez le producteur de vin conventionnel ou le producteur de vin bio.

$$u = \begin{cases} \alpha x - p_1 & \text{pour le vin conventionnel} \\ x - p_2 & \text{pour le vin bio} \end{cases}$$

59. Ecrire l'équation caractérisant \bar{x} . Que signifierait une inégalité telle que $\bar{x} < 0$? Qu'est-ce qui pourrait provoquer une telle situation?

En égalisant les surplus

$$\alpha\bar{x} - p_1 = \bar{x} - p_2$$

on obtient

$$\bar{x} = \frac{p_2 - p_1}{1 - \alpha}$$

Si $\bar{x} < 0$, alors il n'y a pas de clientèle pour le producteur conventionnel. Une chute du prix p_2 en-dessous du prix p_1 peut provoquer cela.

60. Ecrire l'équation caractérisant \underline{x} . Montrer que le nombre de clients pour le vin conventionnel est donné par $\bar{x} - \underline{x}$. En déduire que la demande pour le vin conventionnel est

$$D_1(p_1, p_2) = \frac{\alpha p_2 - p_1}{\alpha(1 - \alpha)}$$

En égalisant les surplus

$$\alpha\underline{x} - p_1 = 0$$

on obtient

$$\underline{x} = \frac{p_1}{\alpha}$$

61. Exprimer la demande pour le vin bio en fonction des prix et de α .

$$D_2(p_1, p_2) = 1 - \bar{x} = \frac{1 - \alpha - p_2 + p_1}{1 - \alpha}$$

62. Calculer les prix et les demande d'équilibre de duopole. Montrer que le profit d'équilibre pour le vin conventionnel est

$$\hat{\pi}_1 = \frac{\alpha(1 - \alpha)}{(4 - \alpha)^2}.$$

Montrer que cette fonction admet un maximum en $\alpha = \frac{4}{7}$.

Les programmes de maximisation sont

$$\begin{aligned} \max_{p_1} \pi_1(p_1, p_2) &= p_1 \frac{\alpha p_2 - p_1}{\alpha(1 - \alpha)} \\ \text{et } \max_{p_2} \pi_2(p_1, p_2) &= p_2 \frac{1 - \alpha - p_2 + p_1}{1 - \alpha} \end{aligned}$$

Il existe une solution intérieure d'équilibre de Nash en prix (\hat{p}_1, \hat{p}_2) caractérisée par les conditions du premier ordre de ces deux programmes:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_1(p_1, p_2)}{\partial p_1} &= -\frac{p_1}{\alpha(1 - \alpha)} + \frac{\alpha p_2 - p_1}{\alpha(1 - \alpha)} = 0 \\ \text{et} \\ \frac{\partial \pi_2(p_1, p_2)}{\partial p_2} &= \frac{1 - \alpha - p_2 + p_1}{1 - \alpha} - \frac{p_2}{1 - \alpha} = 0 \end{aligned}$$

Celles-ci donnent les fonctions de réaction en prix

$$\begin{aligned}\widehat{r}_1(p_2) &= \frac{\alpha p_2}{2}, \\ \widehat{r}_2(p_1) &= \frac{1 - \alpha + p_1}{2}\end{aligned}$$

On pose

$$\begin{aligned}\widehat{r}_1(\widehat{p}_2) &= \widehat{p}_1 \\ \widehat{r}_2(\widehat{p}_1) &= \widehat{p}_2\end{aligned}$$

On remplace par les expressions des fonctions de réaction

$$\begin{aligned}\alpha \frac{\widehat{p}_2}{2} &= \widehat{p}_1 \\ \frac{1 - \alpha + \widehat{p}_1}{2} &= \widehat{p}_2\end{aligned}$$

Finalement, on obtient

$$\begin{aligned}\widehat{p}_1 &= \frac{\alpha(1 - \alpha)}{4 - \alpha} \\ \widehat{p}_2 &= \frac{2(1 - \alpha)}{4 - \alpha}\end{aligned}$$

On obtient par calculs

$$\frac{d\widehat{\pi}_1}{d\alpha} = \frac{7\alpha - 4}{(4 - \alpha)^3} \text{ et } \frac{d^2\widehat{\pi}_1}{d\alpha^2} = -\frac{2(8 + 7\alpha)}{(4 - \alpha)^4} < 0$$

63. En supposant que le producteur de vin conventionnel puisse choisir le niveau de qualité de son vin, que gagne-t-il à augmenter la qualité biologique de son vin en éliminant pesticides et engrais chimiques jusqu'au niveau $\alpha = 1$? Pourquoi?
64. Quel niveau α le producteur de vin conventionnel a-t-il intérêt à choisir?

Problème 5: Régulation de la pollution en concurrence parfaite et monopole

Sur le marché du ciment, une estimation de la demande donne la fonction $D(p) = 300 - p$, où p est le prix d'une tonne de ciment. On suppose pour le moment que ce marché fonctionne en concurrence parfaite. Le coût total privé de produire du ciment est décrit par la fonction $c(q) = q^2$, où q le niveau de production, mesuré en tonne. La production de ciment génère des particules et des gaz polluants. Le montant total de ces émissions polluantes $E(q)$ est égal à la quantité produite de ciment: $E(q) = q$. Le dommage que la pollution impose à la société est mesuré par la fonction $\mathcal{D}(E) = \frac{E^2}{2}$ par rapport aux émissions polluantes, de sorte que le dommage marginal de la pollution dépend de la quantité produite de ciment selon la fonction $\mathcal{D}_m(E(q)) = E(q)$.

65. Donnez le montant de la taxe Pigouvienne pour un niveau de production q , sans faire de calcul.

La taxe Pigouvienne t^ doit être égale au dommage marginal pour réaliser une allocation efficace du bien polluant: ainsi, $t^* = q$.*

66. Montrer que le coût marginal social de produire du ciment est égal à $3q$.

Le coût marginal social est la somme du coût marginal de production, égal à $2q$, et du dommage marginal, égal à q .

67. Représenter graphiquement les courbes de demande et d'offre de ciment, ainsi que le coût marginal social de produire du ciment.

68. Déterminer le prix et la quantité d'équilibre concurrentiel du marché du ciment.

Le prix d'équilibre du marché concurrentiel ajuste l'utilité marginale au coût marginal de l'électricité:

$$\begin{aligned} 300 - q^e &= 2q^e \\ \Rightarrow q^e &= 100 \text{ et } p^e = 200 \end{aligned}$$

69. Quelle quantité de ciment serait-il économiquement efficace d'échanger, compte tenu de la pollution associée à cette production? Commenter.

Le régulateur a pour objectif de maximiser le bien-être général (surplus des consommateurs, $u(q) - pq$, + profit des producteurs, $\pi(q) = pq - c(q)$) moins le dommage environnemental, $\mathcal{D}(E(q)) = \frac{q^2}{2}$. Comme $u(q) = \int_0^q (300 - s)ds = 300q - \frac{q^2}{2} + \text{constante}$, le programme est

$$\max_q 300q - \frac{q^2}{2} - pq + pq - q^2 - \frac{q^2}{2}$$

La condition du premier ordre donne

$$300 - q = 2q + q \Rightarrow q^* = 75$$

Livrées à elles-mêmes, les entreprises de ciment négligent l'externalité de pollution. Elles produisent et polluent trop par rapport à ce qui est socialement souhaitable.

70. On impose aux entreprises de payer une taxe Pigouvienne. Écrire le programme de maximisation d'une entreprise. Déterminer le montant de la taxe Pigouvienne.

Le programme d'une entreprise taxée est

$$\max_q \pi(q) - tq = pq - c(q) - tE(q) = pq - q^2 - tq$$

L'offre de l'entreprise taxée est donnée par

$$p = 2q + t$$

où t est la taxe. L'équilibre du marché concurrentiel devient

$$p^e = 300 - q^e = 2q^e + t$$

ce qui donne

$$q^e = \frac{1}{3}(300 - t)$$

Le régulateur fixe la taxe de manière à ajuster q^e à q^* . On retrouve ainsi la taxe pigouvienne

$$t^* = \mathcal{D}_m(E(q^e)) = \frac{1}{3}(300 - t^*) = q^* = 75$$

71. En supposant maintenant que le marché du ciment est monopolisé par une entreprise, calculer le montant de la taxe environnementale qui permettrait de réguler son comportement. Commenter.

Programme du monopole

$$\begin{aligned} \max_p \pi(D(p)) &= pD(p) - c(D(p)) - tE(D(p)) \\ &= p(300 - p) - (300 - p)^2 - t(300 - p) \end{aligned}$$

Le monopole fixe un prix

$$p^m = \frac{900 + t}{4}$$

Le régulateur choisit une taxe t^ qui donne l'allocation $q^* = 75$, de sorte que*

$$300 - q^* = p^m = \frac{900 + t}{4}$$

On obtient finalement une taxe nulle pour le monopole

$$t^* = 0$$

Ici, la taxe corrige deux défaillances de marché. D'un côté, elle incite l'entreprise à moins produire pour moins polluer. De l'autre, elle corrige la tendance du monopole à abuser de son pouvoir de marché en ne produisant pas assez. Il se trouve que le monopole produit spontanément la quantité socialement souhaitable en tenant compte de l'environnement.

Problème 6: Taxes pigouviennes et droits de pollution

On suppose que le marché de l'électricité fonctionne en concurrence parfaite. La demande d'électricité est donnée par la fonction $D(p) = 40 - p$, où p est le prix d'un mégawatt/heure d'électricité. La production d'électricité est polluante lorsqu'elle utilise la combustion d'énergie fossile. Une quantité x d'électricité, mesurée en mégawatt/heure, génère un niveau $e = \frac{x}{2}$ d'émissions polluantes. Toutefois, les producteurs d'électricité peuvent combiner l'énergie fossile avec des énergies renouvelables moins polluantes, telles que le solaire, l'éolien, la

biomasse ou l'hydroélectricité. Le coût d'introduire des énergies renouvelables dans le processus de production est donné par la fonction $c(a) = a^2/2$, où $a = \frac{x}{2}$ représente la quantité d'électricité produite à partir d'énergies renouvelables. On suppose que les coûts de production d'électricité à partir de la combustion d'énergie fossile sont négligeables.

Le dommage environnemental causé par la combustion d'énergies fossiles est représenté par la fonction $\mathcal{D}(e) = e^2$.

72. Représenter graphiquement les courbes de demande d'électricité, d'offre et le coût marginal social de produire de l'électricité.

73. Déterminer le prix et la quantité d'équilibre concurrentiel du marché de l'électricité.

Le prix d'équilibre du marché concurrentiel ajuste l'utilité marginale au coût marginal de l'électricité:

$$\begin{aligned} 40 - x^e &= \frac{x^e}{4} \\ \Rightarrow x^e &= 32 \end{aligned}$$

74. Quelle quantité d'électricité serait-il économiquement efficace d'échanger, compte tenu de la pollution associée à cette production? Commenter.

Le régulateur a pour objectif de maximiser le bien-être général (surplus des consommateurs, $u(x) - px$, + profit des producteurs taxés, $px - c(a) - te$) moins le dommage environnemental, en transférant aux consommateurs le produit de la taxe, te .

Comme $u(x) = \int_0^x (40 - s)ds = 40x - \frac{x^2}{2} + \text{constante}$, le programme est

$$\max_x 40x - \frac{x^2}{2} - px + te + px - c(a) - te - \mathcal{D}(e) = 40x - \frac{x^2}{2} - \frac{x^2}{8} - \frac{x^2}{4},$$

La condition du premier ordre donne:

$$\begin{aligned} 40 - x &= x/4 + x/2 \\ \Rightarrow x^* &= \frac{160}{7} = 22,8 \end{aligned}$$

75. Calculer le montant de la taxe pigouvienne qui permettrait de restaurer l'efficacité économique.

L'offre de l'entreprise taxée est donnée par

$$p = \frac{x}{4} + \frac{t}{2}$$

où t est la taxe. L'équilibre du marché concurrentiel devient

$$p^e = 40 - x^e = \frac{x^e}{4} + \frac{t}{2},$$

ce qui donne: $x^e = \frac{4}{5} \left(40 - \frac{t}{2}\right)$. Le régulateur fixe la taxe de manière à ajuster x^e à x^* . On retrouve ainsi la taxe pigouvienne

$$t^* = \mathcal{D}_m \left(\frac{x^*}{2} \right) = x^* = \frac{160}{7}$$

76. Un régulateur organise un marché où s'échangent des permis à polluer entre les producteurs d'électricité. Le prix qui égalise offre et demande sur ce marché s'établit au niveau τ par unité d'émissions polluantes. En achetant e permis à polluer au régulateur, un producteur est autorisé à produire x unités d'électricité. Calculer le prix d'équilibre du marché des permis à polluer.

Programme du producteur

$$\max_x \pi(x) - \tau e = px - c(x) - \tau e = px - \frac{x^2}{8} - \tau \frac{x}{2}$$

Il en résulte une courbe inverse d'offre de bien

$$p = \frac{x}{4} + \frac{\tau}{2}$$

et une demande de permis: $e_d = \frac{x}{2}$.

L'équilibre du marché concurrentiel s'établit au prix p^e qui fait coïncider l'offre et la demande de bien polluant

$$p^e = 40 - x^e = \frac{x^e}{4} + \frac{\tau}{2}$$

ce qui donne $x^e = \frac{2}{5} (80 - \tau)$

Le régulateur doit choisir l'allocation $x^ = \frac{160}{7}$ et offrir un nombre de permis $e_o = \frac{x^*}{2}$.*

À l'équilibre du marché des permis, le prix τ fait coïncider l'offre de permis avec la demande $e_d = \frac{x^e}{2}$. Il en résulte que $x^ = x^e$, de sorte que le prix d'équilibre du marché des permis est*

$$\tau^* = \frac{160}{7}$$

Le prix d'équilibre sur le marché des permis est donc équivalent à la taxe pigouvienne.

77. En supposant maintenant que le marché de l'électricité est dominé par un monopole, calculer le montant de la taxe environnementale qui permettrait de réguler son comportement. Commenter.

Programme du monopole

$$\begin{aligned} \max_p \pi(p, x(p)) &= px(p) - c(x(p)) - t\epsilon x(p) \\ &= p(40 - p) - \frac{(40 - p)^2}{8} - t \frac{(40 - p)}{2} \end{aligned}$$

Le monopole fixe un prix

$$p^m = \frac{2(100 + t)}{9}$$

Le régulateur choisit une taxe t^* qui donne l'allocation $x^* = \frac{160}{7}$, de sorte que

$$40 - x^* = p^m = \frac{2(100 + t)}{9},$$

On obtient finalement une subvention pour le monopole

$$t^* = -\frac{160}{7}$$

Références

References

- [1] **Amacher, G. S., E. Koskela, and M. Ollikainen.** 2004. Environmental Quality Competition and Eco-Labeling, *Journal of Environmental Economics and Management* 47, 284–306
- [2] **Baron, D. P.** 1985. Regulation of Prices and Pollution under Incomplete Information, *Journal of Public Economics* 28, 211–231.
- [3] **Bjorner T. B., G. Hansen, and C. S. Russell.** 2004. Environmental labeling and consumers' choice—an empirical analysis of the effect of the Nordic Swan, *Journal of Environmental Economics and Management* 47, 411–34.
- [4] **Bovenberg, A. and F. van der Ploeg.** 1994. Environmental policy, public finance and the labour market in a second-best world. *Journal of Public Economics* 55 (3), 349–390.
- [5] **Bovenberg, A., and R. A. de Mooij.** 1994. Environmental levies and distortionary taxation, *American Economic Review* 84, 1085–1089.
- [6] **Bovenberg, A. L. and L. H. Goulder.** 1996. Optimal Environmental Taxation in the Presence of Other Taxes: General-Equilibrium Analyses, *American Economic Review* 86, 985–1000)
- [7] **Casadesus-Masanell, R., M. Crooke, F. Reinhardt, and V. Vasisht.** 2009. Households' Willingness to Pay for “Green” Goods: Evidence from Patagonia's Introduction of Organic Cotton Sportswear, *Journal of Economics and Management Strategy* 18, 203–233
- [8] **Cason, T. N., and L. Gangadhara.** 2002. Environmental Labelling and Incomplete Consumer Information in Laboratory Experiments, *Journal of Environmental Economics and Management* 43, 113–134
- [9] **Coase, R.** 1960. The Problem of Social Cost, *Journal of Law and Economics* 3, 1–44.
- [10] **Cornes, R., and T. Sandler.** 1983. On Commons and Tragedies, *American Economic Review* 73, 787–792.

- [11] **Fullerton, D. and R. Stavins.** 1998. How Economists See the Environment, *Nature*, 433-434.
- [12] **Fullerton, D. and A. Wolverton.** 2005. The Two-part Instrument in a Second-best World, *Journal of Public Economics*, 1961-1975.
- [13] **Hanley, N., J. F. Shogren, and B. White.** 2007. Environmental Economics in Theory and Practice, Palgrave Macmillan.
- [14] **Haverman, R.** 1973. Common Property, Congestion and Environmental Pollution, *Quarterly Journal of Economics* 87, 278–287.
- [15] **Laffont, J.- J.** 1994. Regulation of Pollution with Asymmetric Information in C. Dosi and T. Tomasi (eds), *Nonpoint Source Pollution Regulation: Issues and Analysis*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 39-66.
- [16] **Meade J. E.** 1952. External Economies and Diseconomies in a Competitive Situation, *The Economic Journal*, vol. 62, no 245, 54–67.
- [17] **Mahenc, P.** 2007. Are Green Products Over-Priced?, *Environmental and Resource Economics*, 38(4), 461-473
- [18] **Mahenc, P.** 2008. Signalling the Environmental Performance of Polluting Products, *International Journal of Industrial Organization* 26(1), 59-68
- [19] **Moschini, G. C., L. Menapace, and D. Pick.** 2013. Geographical Indications and the Competitive Provision of Quality in Agricultural Markets, *American Journal of Agricultural Economics* 90, 794–812.
- [20] **Nordhaus, W.** 2008. A Question of Balance. Weighing the Options on Global Warming Policies, Yale University Press.
- [21] **Pigou, A. C.** 1920. The Economics of Welfare. London, Macmillan.
- [22] **Shaked, A. and J. Sutton.** 1982. Relaxing Price Competition through Product Differentiation, *Review of Economic Studies* 49, 3–13.
- [23] Steering Committee of the State-of-Knowledge Assessment of Standards and Certification 2012. *Toward Sustainability: The Roles and Limitations of Certification*. Technical report, RESOLVE, Inc., Washington, DC.
- [24] **Teisl, M., B. Roe, et R. Hicks.** 2002. Can Eco-Labels Tune a Market? Evidence from Dolphin-Sage Labeling, *Journal of Environmental Economics and Management* 43, 339–359.
- [25] **Wasik J. F.** 1996. Green Marketing and Management: a Global Perspective. Blackwell Publishers, Inc, Cambridge
- [26] **Weitzman, M.** 1974. Free Access vs. Private Ownership as Alternative Systems of Managing Common Property, *Journal of Economic Theory* 8, 225–234.

- [27] **Zago A. M.** 1999. Quality and Self-Regulation in Agricultural Markets: How Do Producer Organisations Make the Rules?, *European Review of Agricultural Economics* 26, 199–218.