

Politiques publiques, firmes et environnement

Cours du Professeur Philippe Mahenc

1 - Introduction

Les décisions de consommation et de production génèrent différentes sortes de nuisances pour l'environnement. Un exemple à la une de l'actualité et qui fait l'objet d'un consensus scientifique est la combustion d'énergie fossile découlant de l'activité économique. Celle-ci est responsable de l'émission de gaz à effet de serre et du réchauffement climatique, comme l'a reconnu le Protocole de Kyoto. 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 ou végétales trop consommées ou menacées par la production industrielle, la destruction des terres arables en raison de l'utilisation intensive des produits chimiques, 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. Toutes ces externalités négatives ont en commun d'être générées par le développement de l'industrie et de la société de consommation.

Faute d'évaluation par le marché, il est souvent difficile de connaître précisément l'étendue des dommages causés à l'environnement par une activité économique. Une entreprise devrait informer correctement les consommateurs des dégradations générées par son activité. Lorsqu'un producteur consacre des ressources à réduire l'impact négatif de ses activités sur la Nature, il a intérêt à en faire connaître le montant aux consommateurs. Pourtant, ceux-ci peuvent difficilement savoir quel est le niveau exact de qualité environnementale associée à une production particulière. Les producteurs détiennent une information privée dont ne disposent pas les consommateurs et qu'il n'est pas toujours évident de transmettre.

En plus de vendre des services ou des marchandises, il arrive que des entreprises poursuivent des objectifs sociaux, qu'ils soient d'ordre environnemental, éthique, politique, sanitaire ou religieux. Besley et Ghatak (2007) voient dans le développement de la responsabilité sociale de l'industrie la preuve que les entreprises veulent avoir un rôle social plus important. Baron (2010) observe qu'un nombre croissant d'entreprises s'engage dans la réduction des externalités, la redistribution de la richesse ou la participation au bien public: cet économiste qualifie ces activités pro-sociales d' "auto-regulation". Il ne s'agit pas pour une entreprise de faire acte de bienveillance gratuitement. Elle peut trouver un avantage particulier à défendre une cause sociale dans la mesure où celle-ci augmente la valeur de son produit pour les consommateurs et donc le surplus de consommation qu'elle peut extraire dans son propre intérêt en jouant de son pouvoir de marché.

La bienveillance sociale dont une entreprise entoure son activité a la caractéristique d'un "bien de confiance" au sens de Darby and Karni (1973): ce souci d'intérêt général est difficile voire impossible à vérifier par les consommateurs qui sont pourtant prêts à payer plus

cher pour le produit ou le service de l'entreprise qui s'en prévaut. Les produits labellisés "bio", "commerce équitable", "durable", etc., étendent le concept de qualité du produit à des préoccupations écologiques, éthiques, sanitaires ou philosophiques pour attirer les consommateurs qui y sont sensibles. Contrairement aux biens de "recherche" ou d' "expérience", les consommateurs ne sont pas parfaitement informés des caractéristiques de "confiance" même après avoir acheté et essayé le produit. Il existe une asymétrie d'information entre consommateurs et producteurs, qui subsiste après la transaction.

Les entreprises cherchent à communiquer leur information privée sur la qualité environnementale de leurs produits en affichant leurs propres labels ou en ayant recours à une certification externe, qu'elle soit publique ou privée. Il existe de nombreux exemples de labels proclamant le respect de bonnes pratiques environnementales. Ainsi, les constructeurs automobiles comme Volkswagen affichaient la mention "Clean Diesel" sur certains modèles de 2009 à 2015 pour dire leur préoccupation de respecter l'environnement. Un autre exemple est le label "Forest Stewardship Council" censé garantir que l'exploitation forestière réduit l'abattage illégal des arbres et améliore la gouvernance dans une optique durable. Dans le domaine éthique, des certificateurs comme Fairtrade International accorde le logo Fair Trade à des fermiers et des coopératives qui respectent des standards en faveur du développement durable et la redistribution équitable des richesses dans les pays en voie de développement.

Toutefois, la certification ne parvient pas toujours à transmettre aux consommateurs une information crédible sur la conscience sociale de l'industrie. La fraude aux émissions polluantes des moteurs diesel révélée par le scandale Volkswagen en 2015 a semé le doute sur le respect des standards environnementaux et la confiance que l'on peut accorder à la certification propre dans l'industrie automobile.

Le scandale fut révélé par la découverte de logiciels installés sur certains véhicules pour contourner les tests de pollution de l'air. Durant le test, le logiciel ajustait le moteur de la voiture pour réduire les émissions polluantes d'oxyde d'azote en particulier. L'automobile était bien plus polluante lorsqu'elle roulait sur la route. L'ONG International Council on Clean Transportation (ICCT) découvrit qu'il existait un écart entre émissions réelles et émissions contrôlées sur des moteurs diesel de Volkswagen. Le club automobile allemand ADAC prouva que dans des conditions de conduite normale, des voitures diesel comme la Volvo S60, la Renault Espace Energy et la Jeep Renegade, dépassaient de plus de dix fois les limites européennes légales d'émission d'oxyde d'azote. ICCT et ADAC prouvèrent que les déviations les plus graves concernaient Volvo, Renault, Jeep, Hyundai, Citroën et Fiat.

Par ailleurs, des organisations non-gouvernementales ont alerté depuis longtemps sur l'abattage illégal des arbres en Afrique, en Chine, au Pérou et en Roumanie par des compagnies qui portent le label du Forest Stewardship Council (voir 20/02/2018 Greenwashed Timber: How Sustainable Forest Certification Has Failed). Des problèmes semblables ont été soulevés avec la certification Fair Trade (Weitzman, Hal (9 September 2006). "The bitter cost of Fair Trade coffee": <https://www.ft.com/content/d191adbc-3f4d-11db-a37c-0000779e2340>) ou le label Marine Stewardship Council qu'une organisation non-gouvernementale attribue à des entreprises de pêche durable (Jacquet et al., 2010).

L'asymétrie d'information est reconnue par la littérature économique pour perturber l'efficacité du marché. C'est une défaillance qui peut causer une mauvaise allocation des ressources et un certain gaspillage relativement à l'optimum de Pareto, au même titre que l'abus de pouvoir de marché. Lorsque les consommateurs ont moins d'information que les producteurs sur la qualité des produits, les meilleurs d'entre eux risquent de dis-

paraître du marché en échappant aux acheteurs qui accordent de la valeur à la qualité. L'asymétrie d'information entraîne deux types de comportements opportunistes. L'un est appelé "sélection adverse". Il survient lorsqu'une caractéristique du produit est mal connue des consommateurs (ou du gouvernement). Akerlof (1970) illustre ce problème avec le marché des "lemons" (voitures d'occasion). Il montre que le risque de fraude peut conduire à l'effondrement d'un marché. L'autre comportement opportuniste est appelé "aléa moral". Dans ce cas, ce sont les actions des entreprises pour promouvoir un produit qui ne sont pas observées par les consommateurs (ou le gouvernement). Sélection adverse et aléa moral posent aussi un problème aux entreprises qui consacrent des ressources à améliorer leurs produits et n'en tirent aucun crédit faute de pouvoir communiquer une information correcte.

En matière de qualité environnementale, la communication d'information pose un problème particulièrement épineux.

Ce problème a fait l'objet de nombreuses études en économie industrielle depuis l'article fondateur d'Akerlof (1970). Il analyse les défaillances du mécanisme de marché pour un produit de qualité incertaine en l'illustrant par l'exemple des "lemons" — voitures d'occasion dont la qualité médiocre n'est pas observable — Bien des produits polluants sont assimilables à des "lemons" en ce que leur fabrication entraîne une dégradation de l'environnement que les consommateurs peuvent difficilement observer. Mais la qualité de l'environnement est un bien public qui échappe à l'appropriation privée, ce qui la différencie de la qualité privée d'une voiture dont seul bénéficie le propriétaire. Cette dimension publique de la qualité environnementale n'a pas été pleinement étudiée par la littérature en économie industrielle sur l'asymétrie d'information. Néanmoins, cette littérature offre des outils d'analyse et une connaissance fine des mécanismes de marché, qui sont utiles pour analyser le problème d'information soulevé par la qualité environnementale des produits.

Il y a abondance de preuves que le public se montre de plus en plus préoccupé par la pollution liée à l'activité économique, et souhaite passer de comportements conventionnels qui dégradent l'environnement à des comportements plus respectueux de l'environnement (Amacher, Koskela et Ollikainen, 2004, Bjorner, Hansen et Russel, 2004, Cason et Gangadharan, 2002, Wasik, 1996).

La plupart des produits conventionnels ont maintenant un substitut dont le cahier des charges prend en compte des critères de qualité environnementale. Il s'agit de produits obtenus avec des techniques moins agressives pour l'environnement, utilisant par exemple moins d'intrants chimiques ou d'énergies fossiles non-renouvelables (pétrole, gaz ou charbon) au profit d'intrants naturels et/ou d'énergies renouvelables (soleil, eau ou vent). Il s'agit aussi de produits dont l'emballage et la consommation sont conçus de manière à mieux respecter l'environnement. Ces produits sont en général vendus sous des labels "vert", "bio" ou "durable" destinés à informer le consommateur et garantir un certain niveau de qualité environnementale. Les exemples de label abondent. Il y a ainsi le label européen "Agriculture Biologique" qui refuse les engrais chimiques, les pesticides, les insecticides ou les antibiotiques ; il y a le label "dolphin-safe" pour le marché du thon en conserve, ou le label "Marine Stewardship Council" qui garantit une pratique de pêche durable ; il y a le "Green Seal" aux Etats-Unis, le "Nordic Swan" dans les pays scandinaves, l' "Eco-Label" de l'Union Européenne, le "Blue Angel" en Allemagne, l' "Eco-Mark" au Japon, etc.

Cette "certification verte" peut émaner des producteurs eux-mêmes ou bien passer par une tierce partie qui sera soit une agence gouvernementale, soit une organisation non-gouvernementale — par exemple, l'International Council for Clean Transportation est une or-

ganisation non-gouvernementale spécialisée dans les transports propres, qui a pris l'initiative de tester les émissions de certaines voitures diesel, ce qui a permis de mettre au jour le vaste système de trucage aux tests antipollution mis en place par Volkswagen sur 11 millions de véhicules dans le monde — Il y a de nombreux exemples d'entreprises "vertes" ayant adopté un processus de production relativement propre, qui soutiennent en outre l'introduction de règles plus strictes de régulation environnementale: General Electric, ABB Group, le producteur allemand d'équipement électrique AEG, la compagnie allemande Deutsche Telekom, la Swiss Bank Sarasin, les compagnies japonaises Ricoh et Kyocera, la compagnie d'assurance allemande Gerling-Konzern, l'entreprise chimique DuPont, la compagnie anglaise de distribution de gaz CalorGas, la compagnie ferroviaire allemande Deutsche Bahn AG, et la multinationale japonaise Shimano. Ce soutien en faveur d'une réglementation environnementale sévère est généralement considéré comme un moyen pour les entreprises vertes d'accroître les coûts de leurs rivaux moins respectueux de l'environnement, de manière à obtenir un avantage compétitif décisif. On trouve aussi des entreprises réputées polluantes qui font du lobby en faveur d'une réglementation environnementale sévère. Ainsi, la compagnie minière Rio Tinto et la compagnie pétrolière BP ont rejoint les 46 compagnies qui adhèrent au Pew Center on Global Climate Change, un lobby qui milite pour une politique du climat contraignante et obligatoire. On peut trouver un fondement rationnel à ces efforts de lobby à travers des arguments de "responsabilité sociale des entreprises" et le souci d'améliorer l'image de marque auprès d'une clientèle soucieuse de protéger l'environnement (voir Baron, 2010, Besley et Ghatak, 2007)

Toutefois, l'information transmise par la certification verte n'est pas toujours fiable et la prolifération des écolabels ne prouve pas que toute l'information sur la qualité de l'environnement soit divulguée aux consommateurs, ainsi que l'indiquent Lyon et Maxwell (2011). Certains articles de la presse américaine (*Washington Post*, *New York Times*) s'inquiètent de la pression accrue des grands groupes de l'industrie alimentaire sur le comité de certification bio américain, le National Organic Standard Board. On peut lire par exemple:

"Major food companies ... has added to pressure on the (US) government to expand the definition of what is organic, in part because processed foods offered by big industry often require ingredients, additives or processing agents that either do not exist in organic form or are not available in large enough quantities for mass production".¹

Ou bien:

"Over the last decade, since federal organic standards have come to the fore, giant agri-food corporations ... — Coca-Cola, Cargill, ConAgra, General Mills, Kraft and M&M Mars among them — have gobbled up most of the nation's organic food industry. Between the time the Agriculture Department came up with its proposed regulations for the organic industry in 1997 and the time those rules became law in 2002, myriad small, independent organic companies — businesses like Cascadian Farm — were snapped up by corporate titans ... Major corporations have come to dominate the board that sets the standards for organic foods ... Corporate interests are behind the increase in nonorganic materials deemed acceptable in "organic" food."²

¹Kimberly Kindy and Lyndsey Layton, "Purity of Federal 'Organic' Label Is Questioned", *Washington Post*, July 3, 2009; <https://www.commondreams.org/news/2009/07/03/purity-federal-organic-label-questioned?amp>

²Stephanie Strom, "Has 'Organic' Been Oversized?", *New York Times*, July 7,

Si le certificateur cède à la pression des grands groupes alimentaires, il peut y avoir deux conséquences néfastes. Tout d'abord, le certificateur peut négliger l'intérêt des consommateurs et accorder trop de poids au désir de l'industrie de grossir. Ensuite, le certificateur peut se montrer trop laxiste dans la définition des critères environnementaux de manière à laisser plus de produits pénétrer le marché.

Outre la certification, on verra que les marchés de produits verts transmettent aussi de l'information sur la qualité environnementale aux consommateurs par le mécanisme des prix. Comparé au prix d'un produit conventionnel, le prix d'un substitut vert reflète le coût des ressources supplémentaires nécessaires pour accroître la qualité de l'environnement. Deux articles de Mahenc (2007 et 2008) montrent qu'une distorsion peut affecter le prix d'un produit vert pour signaler aux consommateurs l'information que détient le producteur sur la qualité de l'environnement.

L'objectif de ce cours est (i) d'étudier le comportement économique de l'entreprise en relation avec les problèmes environnementaux en mettant l'accent sur le problème d'information, et (ii) d'expliquer quelles mesures politiques peuvent être mises en œuvre par un régulateur (Etat, gouvernement, agence de protection de l'environnement) pour répondre au souci de protéger l'environnement. Les modèles présentés reposent sur l'hypothèse que les agents économiques sont rationnels: les ménages ou les consommateurs poursuivent leur intérêt particulier, capturé tantôt sous la forme d'une *utilité*, tantôt sous la forme d'un *surplus*; les entreprises cherchent à maximiser leur *profit*; le régulateur, garant de l'intérêt général, maximise le *bien-être* collectif en tenant compte du dommage environnemental que génère l'activité économique.

Le plan du cours est le suivant:

1. Introduction
2. Le produit vert, stratégie de différenciation de l'entreprise
 - (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
 - (d) Le signal du produit vert par le prix
3. 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) La régulation de l'entreprise polluante concurrentielle en information asymétrique

2012, <https://www.nytimes.com/2012/07/08/business/organic-food-purists-worry-about-big-companies-influence.html?>

2 - Le produit vert, stratégie de différenciation de l'entreprise

L'activité de l'industrie produit des effets secondaires sur l'environnement. Les économistes parlent d'externalités négatives pour désigner des nuisances qui dégradent le bien-être collectif sans être évaluées par un système de prix. Ce sont, par exemple, des éleveurs industriels qui utilisent des antibiotiques pour augmenter leurs gains en engraisant plus rapidement les animaux: le procédé génère des bactéries résistantes qui deviennent une menace publique. Ce sont des néonicotinoïdes qui tuent les abeilles et causent le déclin de la pollinisation. C'est de manière générale toute la pollution résultant de l'extraction de minerais. L'économiste Joseph Stiglitz disait: "Whenever there are externalities— where the actions of an individual have impacts on others for which they do not pay, or for which they are not compensated —markets will not work well."

La limitation ou la correction des externalités environnementales, l'amélioration de la qualité de l'environnement sont des services publics. De ce fait, ils sont en général du ressort du gouvernement ou d'organisations à buts non-lucratifs.

La certification environnementale dans la Politique Agricole Commune (PAC):

Dans l'Union Européenne, la réforme de la Politique Agricole Commune en 1999 a fait de la protection de l'environnement l'une des priorités de la PAC. Cette initiative ouvre pour les Etats intéressés des possibilités de financement pour des formes d'agriculture non soutenues jusqu'alors, comme l'agriculture biologique. Il est aussi envisagé d'imposer certaines limites technique (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'Etat. 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, refusant notamment un certain nombre d'intrants chimiques tels que les engrais, les pesticides, les insecticides 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'était 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'auto-régulation environnementale par les entreprises: Les industriels ont récemment pris conscience de leurs responsabilités dans la création d'externalités environnementales. Depuis le début du siècle, les entreprises se sont mises à afficher plus ostensiblement leur intention de moins dégrader l'environnement. Ce phénomène s'observe par un recours plus ou moins spontané à la certification environnementale. Les labels « verts », « bio » ou « durables » se sont multipliés, garantissant que les produits mis sur le marché respectent d'une manière ou d'une autre l'environnement.

Dans ce cours, nous analysons l'amélioration de la qualité environnementale ou la réduction d'externalités environnementales comme une stratégie de différenciation de l'entreprise.

2.1 - La stratégie de différenciation verte du produit

Pour se différencier des produits parfaitement concurrentiels, une entreprise peut choisir de lier la vente de son produit à un service (par exemple, un service environnemental accrédité par un label comme les labels bio garantissant l'absence de produits chimiques– pesticides, insecticides, nitrates –dans les cultures, le refus d'utiliser des hormones de croissance pour le bétail, le nettoyage du sol après culture, le traitement "humain" des animaux, ou plus généralement les labels verts 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 aux entreprises qui se concurrencent pour l'offrir, et une clientèle verte destinée au produit qui fournit en plus un service environnemental. Ici, la vente liée permet à l'entreprise qui la propose d'acquérir du pouvoir de marché en se démarquant de la production conventionnelle soumise à une concurrence parfaite.

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 négligeant la protection de l'environnement. 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 une clientèle “verte” constituée de consommateurs prêts à payer plus pour des produits qui protègent l’environnement. On retient l’hypothèse ici que l’entreprise a effectivement intérêt à rendre son produit vert en le proposant accompagné d’un service environnemental. La littérature en économie environnementale reconnaît depuis peu 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)³ a publié une bonne revue de littérature sur le thème de la certification et des labels environnementaux. A 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.

Le service environnemental lié au produit: le cas extrême du monopole

Dans cette partie, la différenciation verte du produit consiste à fournir un service environnemental en lien avec le bien privé. On étudie dans quelles circonstances une entreprise trouve profitable d’ajouter une composante environnementale au produit qu’elle offre. En agrémentant le produit d’un service environnemental, l’entreprise crée une variante bio du produit qui le différencie des substituts conventionnels proposés par les entreprises rivales. Cette stratégie de différenciation permet à l’entreprise d’acquérir un certain pouvoir de fixer les prix. On montre que si le produit bio est socialement souhaitable alors une entreprise a intérêt à l’offrir pour acquérir du pouvoir de marché.

Le service environnemental associé à l’offre de bien privé 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

³<https://www.resolve.ngo/docs/report-only.pdf>

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 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:

$$v - c = v + Se - p_b$$

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

$$S = \begin{cases} l & \text{si } p_b \geq c + le \\ \frac{p_b - c}{e} & \text{si } c < p_b \leq c + le \\ 0 & \text{si } p_b \leq c \end{cases} \quad (2)$$

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

$$\max_p (p - c - e) (le + c - p) / le, \quad (3)$$

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

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

$$le + c - p_m - (p_m - c - e) = 0. \quad (4)$$

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,

$$\begin{aligned} \frac{l - S_m}{l} &= \frac{l - 1}{2l}, \\ \frac{S_m}{l} &= \frac{l + 1}{2l}. \end{aligned} \quad (5)$$

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

$$\begin{aligned} \pi_b^m &= \frac{(l - 1)^2}{4l}e, \\ \pi_c^m &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

L'entreprise bio dégage donc une marge de profit positive, contrairement aux entreprises conventionnelles en concurrence parfaite. On vérifie plus bas 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, $\frac{S^*}{l} = \frac{1}{l} < \frac{S_m}{l} \Leftrightarrow 1 < l$. Lorsque $1 < l$, la demande pour le produit bio vendu à son coût marginal est $\frac{l - S^*}{l} = \frac{l - 1}{l} > 0$ 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 $\frac{S^*}{l} < \frac{S_m}{l}$. 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 1: Riz bio

On considère une économie où le goût des consommateurs pour le riz est distribué uniformément le long du segment $[0, 1]$. Dans cette économie, il y a deux variétés de riz: une variété de riz conventionnel et une variété de riz bio, certifié par un label vert. Le riz conventionnel est vendu au prix unitaire p_1 alors que le riz bio est vendu au prix unitaire p_2 . Le coût moyen de production du riz conventionnel est considéré comme étant nul, alors que celui du riz bio est égal à c . Le consommateur dont le goût est situé au niveau x de $[0, 1]$, est disposé à payer au plus αx pour le riz bio, où α est une mesure de la qualité environnementale du riz, avec $\alpha > 1$. Le consommateur de goût x ne consent à payer que x pour le riz conventionnel. Chaque consommateur achète une seule unité de riz et, s'il n'achète pas, son utilité est nulle. On note \bar{x} le goût du consommateur indifférent entre le riz bio et le riz conventionnel, et \underline{x} le goût du consommateur indifférent entre le riz conventionnel et ne rien acheter. On suppose dans tout le problème que $c < \alpha - 1$.

4. Ecrire l'utilité d'un consommateur dont le goût est x , selon qu'il achète le riz bio ou le riz conventionnel.
5. Ecrire les équations caractérisant \bar{x} et \underline{x} .
6. Exprimer la demande de chaque producteur de riz en fonction des prix et de α .
7. Quel est le partage socialement efficace du marché entre les deux variétés de riz, en fonction de α et de c ?
8. A partir de maintenant, on suppose que $c = 0$ et que le marché du riz conventionnel est parfaitement concurrentiel. Calculer le prix que fixe le producteur de riz bio, en fonction de α .
9. Calculer la part de marché et le profit du producteur de riz bio, en fonction de α .
10. Si on laisse faire le marché, y a-t-il trop ou pas assez de riz bio? Pourquoi?

La réduction d'externalités environnementales (cas du monopole)

Dans cette partie, la stratégie de différenciation verte de l'entreprise repose plus spécifiquement sur son engagement à réduire des externalités négatives de production. Par exemple, l'entreprise a recours à de l'énergie renouvelable plutôt que fossile dans son processus de production, ou bien elle s'assure que ses fournisseurs ont des pratiques respectueuses de l'environnement. De nouveau, on suppose qu'il existe un organisme ou une institution capable de garantir que l'entreprise tient son engagement en faveur de l'environnement.

Une entreprise produit la quantité q d'un bien qui génère des déchets ou des émissions polluantes d'un montant $(1 - e)q$, où $e \in [0, 1]$ représente le niveau technologique de dépollution (ou de traitement des déchets). Si, par exemple, les émissions polluantes sont des gaz à effets de serre et le bien est de l'électricité, e mesure l'utilisation de techniques non-émettrices comme l'hydroélectricité, le nucléaire ou la géothermie et $1 - e$ l'utilisation de techniques émettrices reposant sur la combustion de charbon, de gaz naturel ou de dérivés du pétrole. Au maximum de dépollution, les émissions sont nulles. En l'absence de dépollution, les émissions sont égales au niveau de production du bien.

Le coût marginal de production du bien $c + \varphi(e)$ dépend du niveau de dépollution e , où $\varphi'(e) > 0$: consacrer plus de ressources à dépolluer accroît le coût de production. Les émissions spécifiques à l'industrie causent un dommage environnemental $d(q, e)$ que l'on suppose strictement proportionnel à la quantité d'émissions polluantes: $d(q, e) = \delta(1 - e)q$, où $\delta > 0$ mesure la dégradation de l'environnement par unité d'émissions polluantes. Le paramètre δ représente l'estimation officielle du coût social de la pollution.

Tous les consommateurs attribuent la même valeur v à un bien privé. Cependant, la production du bien génère un désagrément (une externalité négative telle qu'une pollution chimique, une réduction de biodiversité...). De ce fait, l'achat et la consommation du bien suscitent un malaise: c'est par exemple un sentiment de culpabilité ou un problème de santé; ce malaise réduit l'utilité procurée par le bien. Chaque consommateur achète au plus une unité de bien qui génère des émissions polluantes ou des déchets en quantités $1 - e$. Les consommateurs ont des préférences hétérogènes pour le bien en raison des différences de dégoûts que provoque la pollution. Un consommateur est caractérisé par une perte d'utilité $(1 - e)x$ à acheter le bien, où le dégoût x est uniformément distribué sur l'intervalle $[0, 1]$. Mesurée en termes monétaires, la perte d'utilité $(1 - e)x$ peut représenter un inconfort psychique, des dépenses en soins de santé ou des coûts d'adaptation à un environnement pollué. Ainsi, tout consommateur distinct de 0 internalise en partie l'externalité négative. La perte d'utilité $(1 - e)x$ peut aussi représenter le niveau de conscience environnementale (ou de responsabilité sociale) du consommateur. Si, par exemple, le bien est de l'énergie fossile, les consommateurs peuvent avoir des aversions différentes pour l'impact négatif sur le réchauffement planétaire. Si le bien est de l'énergie nucléaire, les consommateurs peuvent considérer de manières différentes les risques potentiels que les déchets nucléaires font peser sur les générations futures.

A la différence de la section précédente où le bien conventionnel était offert par une frange de producteurs concurrentiels, on considère maintenant qu'il n'y a qu'une seule entreprise sur le marché dont le produit est certifié "vert" ou "propre". L'entreprise associe la production du bien privé à une initiative d'intérêt général qui prend la forme d'une réduction de la nuisance environnementale. Elle vend son produit au prix p . Les consommateurs apprécient différemment les efforts de dépollution de l'entreprise (leurs préférences pour l'externalité sont hétérogènes). Le goût des consommateurs pour la dépollution est représenté par un indice s uniformément distribué sur un intervalle de longueur 1. Le consommateur indicé par $x = 0$ est celui qui est le moins dégoûté par la pollution, tandis que celui indicé par $x = 1$ est celui qui est le plus dégoûté. La valeur v est supposée suffisamment large pour qu'à l'équilibre tout le monde achète une unité. L'utilité du consommateur $x \in [0, 1]$ pour l'achat du produit au prix p est donnée par

$$u = v - (1 - e)x - p$$

En l'absence d'achat, l'utilité est nulle. Le partage du marché est donné par \tilde{x} qui correspond au consommateur indifférent entre acheter ou non

$$v - (1 - e)\tilde{x} - p = 0$$

La fonction de demande s'écrit

$$D(p, e) = \tilde{x} = \frac{v - p}{1 - e}$$

On en déduit la fonction inverse de demande pour une quantité q de bien acheté

$$p = P(q, e) = v - (1 - e)q$$

En intégrant, on obtient l'utilité $u(q, e)$ qui évalue, en termes monétaires, la satisfaction globale des consommateurs à acheter q unités de bien à une entreprise dont la RS est mesurée par e

$$\begin{aligned} u(q, e) &= \int_0^q P(s, e) ds \\ &= vq - (1 - e)\frac{q^2}{2} \end{aligned}$$

Le calcul du gouvernement bienveillant (sans préoccupation environnementale)

Le régulateur bienveillant a pour objectif de maximiser le bien-être général avec la variable de décision q :

$$\max_q B(q, e) = u(q, e) - cq - \varphi(e)q,$$

La condition du premier ordre donne de manière générale

$$\frac{\partial B(q, e)}{\partial q} = P(q, e) - c - \varphi(e) = 0$$

Cette condition indique que l'allocation du bien vert est socialement efficace lorsque son coût marginal de production coïncide avec son utilité marginale. Dans le cadre du modèle, cette condition donne

$$v - (1 - e)q = c + \varphi(e)$$

On en déduit l'allocation de bien socialement efficace

$$q^* = \frac{v - c - \varphi(e)}{1 - e}$$

Pour que la présence sur le marché du bien soit socialement souhaitable, il faut donc que

$$v > c + \varphi(e)$$

Le calcul de l'entreprise verte

L'entreprise résout le programme suivant

$$\max_q P(q, e)q - c(q, e)$$

La quantité de bien choisie par l'entreprise vérifie la condition du premier ordre

$$P(q, e) - c - \varphi(e) + \frac{\partial P(q, e)}{\partial q}q = 0$$

qui, dans le cas particulier du modèle, s'écrit

$$v - (1 - e)q - c - \varphi(e) - (1 - e)q = 0$$

La solution de l'équation donne la quantité de bien

$$\hat{q} = \frac{v - c - \varphi(e)}{2(1 - e)} \quad (7)$$

L'entreprise fixe un prix \hat{p} qui doit vérifier la condition du premier ordre

$$\hat{p} = v - (1 - e)\hat{q} = \frac{v + c + \varphi(e)}{2}$$

Ce prix donne au monopole une marge de profit

$$\hat{p} - c - \varphi(e) = \frac{v - c - \varphi(e)}{2}$$

Il est donc nécessaire que $v > c + \varphi(e)$ pour qu'une entreprise ait intérêt à offrir sur le marché un produit vert. On a vu précédemment que c'est précisément la condition pour que l'allocation de bien soit socialement souhaitable. On retrouve l'inefficacité due à la position de monopole de l'entreprise: en fixant le prix \hat{p} au-dessus du coût marginal, l'entreprise produit une quantité \hat{q} de bien qui est sous-optimale du point de vue de l'intérêt général.

Le profit obtenu par l'entreprise est

$$\pi(\hat{q}, e) = \frac{(v - c - \varphi(e))^2}{4(1 - e)}$$

Problème 2: Voitures propres

Un constructeur automobile souhaite obtenir un label "propre" reconnaissant que ses voitures émettent moins de particules polluantes que les voitures conventionnelles. La réduction de pollution obtenue par la voiture propre est mesurée par un indicateur positif $e < 1$. Cette technologie impose au constructeur un coût de production $\frac{q}{1-e}$, où q est la quantité produite. Les acheteurs sont prêts à payer au plus v pour une automobile propre. Ils n'ont pas tous la même conscience environnementale, caractérisée ici par un dégoût pour les émissions polluantes. Un acheteur dont le dégoût est estimé à un niveau x subit une perte d'utilité $(1 - e)x$ à acheter la voiture propre. Le dégoût x est uniformément distribué sur l'intervalle $[0, 1]$. Chaque acheteur achète au plus une voiture.

L'utilité de l'acheteur x pour une voiture propre vendue au prix p est donnée par

$$u = v - (1 - e)x - p;$$

L'utilité est nulle en l'absence d'achat.

11. Déterminer la demande de voitures propres en fonction de p et e . Exprimer l'utilité marginale pour une quantité q de voitures propres.

$$D(p, e) = \frac{v - p}{1 - e}$$

$$P(q, e) = v - (1 - e)q$$

12. Calculer le surplus des consommateurs, le profit du fabricant automobile et le bien-être social de l'économie.

$$\begin{aligned} u(q, e) &= \int_0^q P(s, e) ds \\ &= vq - (1 - e) \frac{q^2}{2} \end{aligned}$$

$$S(q, e) = u(q, e) - P(q, e)q = (1 - e) \frac{q^2}{2}$$

$$\pi(q, e) = P(q, e)q - \frac{q}{1 - e} = vq - (1 - e)q^2 - \frac{q}{1 - e}$$

$$B(q, e) = S(q, e) + \pi(q, e) = u(q, e) - \frac{q}{1 - e} = vq - (1 - e) \frac{q^2}{2} - \frac{q}{1 - e}$$

13. Montrer que la présence de voitures propres sur le marché est socialement efficace à condition que $v > \frac{1}{1 - e}$. Comment interpréter cette inégalité en termes simples?

$$c_m(q) = \frac{1}{1 - e}$$

$$p = P(q, e) = c_m(q)$$

$$\Leftrightarrow v - (1 - e)q = \frac{1}{1 - e}$$

$$q^* = \frac{v(1 - e) - 1}{(1 - e)^2}$$

14. Calculer, en fonction de e , le prix que fixe le constructeur automobile et la quantité vendue à ce prix.

$$\hat{q} = \frac{v(1 - e) - 1}{2(1 - e)^2}$$

$$\hat{p} = \frac{1}{2} \left(v + \frac{1}{1 - e} \right)$$

15. Expliquer pourquoi il y a moins d'automobiles propres sur le marché que ce qui est socialement souhaitable.

Différenciation par un service environnemental: le cas du duopole

A 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 forme d'anticipations. Lorsque toutes les entreprises en concurrence se livrent à cet exercice de calculer au mieux pour soi en tenant compte que les autres font de même dans

leur coin, les prises de décisions simultanées et non-coopératives – c’est à dire sans possibilité d’observer les choix des autres et sans communication entre les entreprises – 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 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’ait 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 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 déjà 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. Cette stratégie partage le marché entre la clientèle pour le produit conventionnel et la clientèle pour le produit qui fournit en plus un 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: $v - p_c = v + Se - p_b$

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

$$S = \begin{cases} l & \text{si } p_b - p_c \geq le \\ \frac{p_b - p_c}{e} & \text{si } 0 < p_b - p_c \leq le \\ 0 & \text{si } p_b \leq p_c \end{cases} \quad (8)$$

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. Les fonctions de réaction en prix $\hat{p}_c(p_b)$ et $\hat{p}_b(p_c)$ se déduisent des programmes de maximisation des deux entreprises:

$$\max_p (p - c) \frac{p_b - p}{le} \Rightarrow \hat{p}_c(p_b) = \frac{c + p_b}{2} \quad (9)$$

et

$$\max_p (p - c - e) \frac{le - p + p_c}{le} \Rightarrow \hat{p}_b(p_c) = \frac{(1+l)e + c + p_c}{2} \quad (10)$$

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

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

$$\begin{aligned} \hat{p}_b &= c + \frac{2}{3}(1+l)e, \\ \hat{p}_c &= c + \frac{1}{3}(1+l)e. \end{aligned} \quad (11)$$

La condition $\frac{1}{2} < l$ garantit que $\hat{p}_b - \hat{p}_c < le$. 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,

$$\begin{aligned} \frac{l - \hat{S}}{l} &= \frac{2l - 1}{3l} > 0 \text{ si } \frac{1}{2} < l, \\ \frac{\hat{S}}{l} &= \frac{1 + l}{3l}. \end{aligned} \quad (12)$$

Et les profits d'équilibre correspondants sont

$$\begin{aligned} \hat{\pi}_b &= \frac{(2l - 1)^2}{9l} e, \\ \hat{\pi}_c &= \frac{(1 + l)^2}{9l} e. \end{aligned} \quad (13)$$

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, $\frac{S^*}{l} = \frac{1}{l} < \frac{\widehat{S}}{l} \Leftrightarrow 2 < l$.

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 trop 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 3: Duopole sur le marché du miel

Pour se différencier du miel conventionnel sur le marché, un apiculteur Bio choisit de respecter un cahier des charges qui améliore la qualité environnementale du miel qu'il produit en plaçant ses ruches loin des champs cultivés avec des produits chimiques. Cette stratégie a pour effet de segmenter le marché en partageant la demande entre une clientèle pour le miel conventionnel, et une clientèle concernée par la protection de l'environnement. Les consommateurs sont prêts à payer plus cher pour le miel Bio que pour le miel conventionnel. L'apiculteur Bio et l'apiculteur conventionnel se concurrencent en prix.

On note p_b le prix du miel Bio et p_c le prix du miel conventionnel. Les consommateurs attachent tous la même valeur v au miel conventionnel. Le miel Bio, lui, est différemment apprécié par les consommateurs: le goût b pour le miel Bio est uniformément distribué sur un intervalle de longueur 1, suivant une densité unitaire. Le consommateur indicé par $b = 0$ est celui qui apprécie le moins le miel Bio tandis que celui indicé par $b = 1$ est celui qui l'apprécie le plus. Chaque consommateur achète au plus une unité de miel, et v est supposé suffisamment large pour qu'à l'équilibre tout le monde achète une unité. L'utilité du consommateur $b \in [0, 1]$ est donnée par

$$u = \begin{cases} v - p_c & \text{pour le miel conventionnel} \\ v + b - p_b & \text{pour le miel Bio} \\ 0 & \text{s'il n'y a pas d'achat} \end{cases}$$

Le coût moyen de produire le miel conventionnel est supposé nul. Soit c le coût supplémentaire que supporte l'apiculteur Bio pour satisfaire son cahier des charges plus sévère, avec $0 < c < 1$.

16. Trouver l'expression du consommateur disposé à payer \tilde{b} , qui achète indifféremment aux deux apiculteurs.
17. Déterminer la demande $D_b(p_b, p_c)$ pour le miel Bio lorsque le marché est partagé entre les deux apiculteurs. Expliquer pourquoi cette demande est croissante avec p_c .
18. Est-il socialement souhaitable que l'apiculteur Bio offre son miel sur le marché?
19. Donner la meilleure réponse en prix de chacun des apiculteurs en fonction du prix fixé par son concurrent.
20. Calculer les prix d'équilibre de Nash en fonction de c lorsque les deux apiculteurs vendent leur miel.
21. Quelles sont les quantités de miel vendues à l'équilibre de Nash par les deux apiculteurs?
22. A quelle condition sur c y a-t-il trop de miel Bio sur le marché, du point de vue de l'efficacité sociale?

2.3 - Le choix de la qualité environnementale en régime de concurrence en prix (difficile, en option)

Pour analyser le choix de qualités différentes entre deux concurrents en prix, on utilise 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'institut national des appellations d'origine (INAO) qui emploie des inspecteurs chargés de vérifier que le produit est conforme à un cahier des charges exigent. 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 bio 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 bio impose un coût spécifique c qu’entraîne la dépollution ou la perte de productivité 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 le souci de qualité environnementale. La qualité du produit q est constituée d’un indicateur k pour toutes les qualités de consommation qui sont communes aux produits bio et conventionnel, et d’une mesure additionnelle e de qualité environnementale: $q = k + e$, avec $e \in [0, \bar{e}]$. Un consommateur est représenté par son paramètre de goût x 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 xq_i pour un produit de qualité $q_i, i = b, c$, où $q_b = k + e$ et $q_c = k$. 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 bio. 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 bio 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 est k et l’indicateur environnemental e est donné par

$$V_i(p_i, k, e, x) = m - p_i + x(k + e) \tag{14}$$

où $e = 0$ dans le cas du produit conventionnel.

La stratégie de différenciation des produits a pour effet de segmenter le marché en partageant la demande entre une clientèle achetant la qualité bio et une clientèle destinée à la qualité conventionnelle. Il y a deux valeurs critiques pour la distribution de goût.

Le niveau de préférence critique pour le consommateur X_b qui est indifférent entre le produit bio et le produit conventionnel est déterminé par l’équation

$$m - p_c + xk = m - p_b + x(k + e), \tag{15}$$

dont la solution en x est

$$X_b = \frac{p_b - p_c}{e}. \tag{16}$$

Tous les consommateurs de goût x tel que $x \geq X_b$ achètent le produit bio et les consommateurs restant achètent soit le produit conventionnel, soit un bien extérieur qui prend tout leur revenu. Le niveau de préférence critique pour le consommateur X_c qui est indifférent entre le produit conventionnel et le bien extérieur est déterminé par l’équation

$$m - p_c + xk = m, \tag{17}$$

dont la solution en x est

$$X_c = \frac{p_c}{k}. \quad (18)$$

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

$$\begin{aligned} X_b(p_b, p_c, e) &= 1 - X_c = 1 - \frac{p_b - p_c}{e} = \frac{e - p_b + p_c}{e}, \\ X_c(p_b, p_c, e) &= X_b - X_c = \frac{p_b - p_c}{e} - \frac{p_c}{k} = \frac{kp_b - (k + e)p_c}{ke} \end{aligned} \quad (19)$$

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

$$X_b(p_b = c, p_c = 0, e) = \frac{e - c}{e} > 0. \quad (20)$$

Autrement dit

$$c < e. \quad (21)$$

L'entreprise de qualité bio a un profit $(p_b - c) X_b(p_b, p_c, e)$ tandis que l'entreprise de moindre qualité a un profit $p_c X_c(p_b, p_c, e)$.

Le jeu entre les entreprises se déroule en deux étapes. Tout d'abord, l'entreprise bio 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 bio 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 bio 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

$$\begin{aligned} \max_{p_b} \pi_b(p_b, p_c, e) \\ \text{et } \max_{p_c} \pi_c(p_b, p_c, e) \end{aligned} \quad (22)$$

où $\pi_b(p_b, p_c, e) = (p_b - c) X_b(p_b, p_c, e)$ et $\pi_c(p_b, p_c, e) = p_c X_c(p_b, p_c, e)$

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

$$\begin{aligned} -\frac{p_b - c}{e} + \frac{e - p_b + p_c}{e} &= 0, \\ kp_b - (k + e)p_c - (k + e)p_c &= 0. \end{aligned} \quad (23)$$

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

$$\begin{aligned} \widehat{p}_b(p_c, e) &= \frac{1}{2}(p_c + c + e), \\ \widehat{p}_c(p_b, e) &= \frac{k}{2(k + e)}p_b. \end{aligned} \quad (24)$$

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.

A l'intersection des fonctions de réaction se trouve l'équilibre de Nash:

$$\begin{aligned} \widehat{p}_b(e) &= \frac{2(k + e)}{3k + 4e}(c + e), \\ \widehat{p}_c(e) &= \frac{k}{3k + 4e}(c + e). \end{aligned} \quad (25)$$

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

$$1 - \widehat{X}_b = \frac{2e(k + e) - c(2e + k)}{(3k + 4e)e} \quad (26)$$

qui est positive à condition que $c < \frac{2e(k+e)}{2e+k}$. Cette inégalité est vérifiée sous l'hypothèse (21) que $c < e$ car $e < \frac{2e(k+e)}{2e+k}$;

$$\widehat{X}_b - \widehat{X}_c = \frac{(k + e)(e + c)}{(3k + 4e)e} \quad (27)$$

qui est toujours positive.

La marge de profit du producteur bio est:

$$\widehat{p}_b(e) - c = \frac{2e(k + e) - c(2e + k)}{3k + 4e} \quad (28)$$

qui est positive lorsque que $c < \frac{2e(k+e)}{2e+k}$. On vient de voir que cette inégalité est vérifiée sous l'hypothèse (21).

Les profits d'équilibre correspondant sont

$$\begin{aligned}\widehat{\pi}_b(e) &= \frac{(2e(k+e) - c(2e+k))^2}{(3k+4e)^2 e}, \\ \widehat{\pi}_c(e) &= \frac{k(k+e)(e+c)^2}{(3k+4e)^2 e}.\end{aligned}\tag{29}$$

Le paramètre e garantit que les deux produits sont différenciés tant que $e > c$ d'après l'hypothèse (21), où c mesure le supplément de coût pour produire la qualité bio. Lorsque e tend vers c en même temps que c tend vers 0, la qualité environnementale du produit bio $q_b = k + e$ se rapproche de la qualité conventionnelle $q_c = k$, et le supplément de coût dû au cahier des charges bio tend à s'annuler. On retrouve alors le résultat d'équilibre de la concurrence à la Bertrand entre produits identiques: $\widehat{p}_b(0) = \widehat{p}_c(0) = 0$.

Sous l'hypothèse (21), on remarque que:

1. Le produit bio 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:

$$\frac{\partial \widehat{p}_b(e)}{\partial e} = \frac{2(4e^2 + 6ek + k(3k - c))}{(3k + 4e)^2}\tag{30}$$

qui est positive à condition que $c < \frac{4e^2 + 6ek + 3k^2}{k}$. Cette inégalité est vérifiée sous l'hypothèse que $c < e$ car $e < \frac{4e^2 + 6ek + 3k^2}{k}$. Une augmentation de la qualité environnementale pousse le prix du bio à la hausse.

$$\frac{\partial \widehat{p}_c(e)}{\partial e} = \frac{k(3k - 4c)}{(3k + 4e)^2}\tag{31}$$

qui est positive à condition que $c < \frac{3k}{4}$. Si cette inégalité est vérifiée, une augmentation de la qualité environnementale pousse aussi le prix du conventionnel à la hausse.

Finalement, la concurrence en prix entre les deux producteurs se relâche lorsque e augmente et $c < \frac{3k}{4}$. On fera l'hypothèse que cette inégalité est vérifiée pour poursuivre la discussion.

• 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 bio 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

$$\widehat{\pi}_b(e) = \pi_b(e, \widehat{p}_b(e), \widehat{p}_c(e)) = (\widehat{p}_b(e) - c) X_b(e, \widehat{p}_b(e), \widehat{p}_c(e)),\tag{32}$$

où $X_b(e, \widehat{p}_b(e), \widehat{p}_c(e)) = 1 - \widehat{X}_b$;

$$\widehat{\pi}_c(e) = \pi_c(e, \widehat{p}_b(e), \widehat{p}_c(e)) = \widehat{p}_c(e) X_c(e, \widehat{p}_b(e), \widehat{p}_c(e)),\tag{33}$$

où $X_c(e, \widehat{p}_b(e), \widehat{p}_c(e)) = \widehat{X}_b - \widehat{X}_c$.

La solution recherchée doit satisfaire $e \in [0, \bar{e}]$ et la contrainte (21): $c < e$.

Le programme du producteur bio est $\max_{q_b} \hat{\pi}_b(q_b, q_c)$.

En dérivant le profit, on obtient:

$$\frac{\partial \hat{\pi}_b(e)}{\partial e} = (\hat{p}_b(e) - c) \frac{\partial X_b(\cdot)}{\partial e} + \frac{\partial \pi_b(\cdot)}{\partial p_b} \frac{\partial \hat{p}_b(\cdot)}{\partial e} + \frac{\partial \pi_b(\cdot)}{\partial p_c} \frac{\partial \hat{p}_c(\cdot)}{\partial e} \quad (34)$$

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

$$\frac{\partial \hat{\pi}_b(e)}{\partial e} = (\hat{p}_b(e) - c) \left(\frac{\partial X_b(\cdot)}{\partial e} + \frac{\partial X_b(\cdot)}{\partial p_c} \frac{\partial \hat{p}_c(\cdot)}{\partial e} \right). \quad (35)$$

Un changement dans le niveau de qualité bio a deux effets sur le profit du bio: il modifie directement la demande pour le bio (premier terme positif) et il redistribue les consommateurs entre le bio et le conventionnel en perturbant le prix d'équilibre de la qualité conventionnelle (second terme; notons qu'il est positif lorsque $c < \frac{3k}{4}$: dans ce cas, toute augmentation de e augmente le prix du profit conventionnel, ce qui accroît la demande pour le bio).

Plus précisément, le détail des calculs donne:

$$\hat{p}_b(e) - c = \frac{2e(k+e) - c(2e+k)}{3k+4e} \quad (\text{déjà vu: positif sous l'hypothèse que } c < e),$$

$$\frac{\partial X_b(\cdot)}{\partial e} = \frac{\hat{p}_b - \hat{p}_c}{e^2} = \frac{(k+2e)(c+e)}{(3k+4e)e^2} \quad \text{puisque } \hat{p}_b - \hat{p}_c = \frac{(k+2e)(c+e)}{3k+4e},$$

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

$$\text{et } \frac{\partial \hat{p}_c(\cdot)}{\partial e} = \frac{k(3k-4c)}{(3k+4e)^2}$$

Finalement, on obtient

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{\pi}_b(e)}{\partial e} &= \frac{2e(k+e) - c(2e+k)}{3k+4e} \left(\frac{(k+2e)(c+e)}{(3k+4e)e^2} + \frac{k(3k-4c)}{e(3k+4e)^2} \right) \\ &= \frac{2e(k+e) - c(2e+k)}{e(3k+4e)^2} \left(\frac{(k+2e)(c+e)}{e} + \frac{k(3k-4c)}{3k+4e} \right) \\ &= \frac{(2e(k+e) - (2e+k)c)((8e^2 + 6ek + 3k^2)c + 2e(4e^2 + 5ek + 3k^2))}{e^2(3k+4e)^3} \end{aligned} \quad (36)$$

qui est positif à condition que $c < \frac{2e(k+e)}{2e+k}$. Cette inégalité est vérifiée sous l'hypothèse que $c < e$ car $e < \frac{2e(k+e)}{2e+k}$.

On en déduit que $\hat{e} = \bar{e}$. Le producteur bio a intérêt à cibler la meilleure qualité possible pour deux raisons: 1° Attirer plus de consommateurs verts avec le produit le plus attrayant possible, et 2° Pousser vers le haut le prix du conventionnel pour détourner à son profit la clientèle du concurrent.

Problème 4: Tomates bio et tomates conventionnelles

Deux producteurs de tomates se concurrencent pour approvisionner un marché. Le producteur Brun propose ses tomates au prix p_1 et le producteur Vert vend les siennes au prix p_2 .

Les acheteurs sur le marché sont tous prêts à dépenser la somme v pour acheter des tomates. Le producteur Brun cultive ses tomates avec un herbicide chimique tandis que le producteur Vert n'utilise pas de produits chimiques. En raison de sa qualité environnementale, les tomates du producteur Vert sont plus appréciées par les acheteurs que celles du producteur Brun. Cette qualité environnementale est différemment appréciée par les acheteurs. Elle est mesurée par un indicateur $e \leq \bar{e}$, où \bar{e} représente le maximum de qualité possible. Un acheteur paramétré par x est prêt à payer au plus xv pour les tomates du producteur Vert. Le paramètre x est uniformément distribué sur l'intervalle $[0, 1]$, suivant une densité unitaire. Chaque acheteur achète au plus une unité (un kilo) de tomates.

La qualité environnementale des tomates a pour effet de segmenter le marché en partageant la demande entre les deux producteurs. Les acheteurs sont donc prêts à payer plus cher pour les tomates offertes par le producteur Vert.

L'utilité d'un acheteur $x \in [0, 1]$ est donnée par

$$u = \begin{cases} v - p_1 & \text{pour les tomates du producteur Brun} \\ v + xe - p_2 & \text{pour les tomates du producteur Vert} \end{cases}$$

L'utilité d'un acheteur est nulle s'il n'achète rien.

Le coût moyen du producteur Brun est supposé négligeable et donc égal à 0. Le producteur Vert supporte un coût supplémentaire égal à ce pour fournir des tomates de qualité e , avec $c < 1$. Les deux producteurs se concurrencent en prix. Le montant v est supposé suffisamment élevé pour qu'à l'équilibre de concurrence en prix tout le monde achète des tomates.

23. Quelles tomates choisissent les acheteurs si les deux producteurs les proposent au même prix?
24. Calculer le paramètre \tilde{x} de l'acheteur indifférent entre les deux producteurs. Que se passe-t-il si $p_2 - p_1 \geq e$?
25. Déterminer la demande $D_2(p_1, p_2)$ qui s'adresse au producteur Vert lorsque le marché est partagé entre les deux producteurs. Expliquer pourquoi cette demande est croissante avec p_1 . Comment varie cette demande en fonction de la qualité environnementale?
26. Montrer qu'il est socialement optimal que le producteur Vert offre des tomates.
27. Donner la meilleure réponse en prix de chacun des producteurs en fonction du prix fixé par son rival.
28. Calculer les prix d'équilibre de Nash en fonction de e lorsque les deux producteurs ont des clients. La marge de profit du producteur Vert est-elle positive?
29. Calculer la demande d'équilibre du producteur Vert. Discuter de l'efficacité sociale de la quantité de tomates fournies par le producteur Vert en fonction de c .

30. Quel niveau de qualité environnementale le producteur Vert a-t-il intérêt à choisir?

2.4 - Le signal du produit vert par le prix

Les entreprises qui s'engagent à produire des biens ou des services respectueux de l'environnement se conforment à un cahier des charges précis. Elles ont en général recours à un organisme de certification qui délivre un label. Le certificateur accrédite l'engagement de l'entreprise à être verte en contrôlant qu'elle respecte bien le cahier des charges. Néanmoins, il n'est pas toujours facile d'observer que l'entreprise est à la hauteur de son engagement et il arrive que la certification environnementale manque de rigueur ou de fiabilité.

Les consommateurs ont toujours moins d'information que l'entreprise sur l'impact environnemental de ses produits. Quels sont les effets secondaires de l'activité industrielle qui s'avèrent nuisibles pour l'environnement? Quelles sont les quantités d'engrais chimiques, de pesticides ou de néonicotinoïdes utilisés par les agriculteurs? Quels sont les dommages causés aux écosystèmes par les adjuvants chimiques? Un éleveur dope-t-il son bétail avec des hormones de croissance? Quels sont les bienfaits des mesures prises par les entreprises pour réduire la pollution générée par leurs activités? Dans quelle mesure ont-elles recours aux énergies renouvelables?

Lorsqu'il existe ainsi une asymétrie d'information entre les parties prenantes d'une transaction, la partie la mieux informée peut exploiter son avantage au détriment de la partie la moins informée. Il survient alors des comportements opportunistes tels que ceux récemment apparus sur le marché européen des véhicules diesel. À grand renfort d'annonces commerciales mensongères, des constructeurs automobiles prétendaient que leurs moteurs diesel, estampillés "Clean Diesel", respectaient l'environnement. En 2015, l'Environmental Protection Agency aux Etats-Unis a accusé le groupe Volkswagen d'enfreindre la loi sur la qualité de l'air inscrite dans le Clean Air Act, en se fondant sur un rapport de l'International Council on Clean Transportation.⁴ Cette organisation mettait en évidence des écarts dans les émissions d'oxydes d'azote (NOx) entre les modèles de véhicules américains et européens. Il fut ainsi prouvé que Volkswagen avait équipé ses automobiles diesel avec des logiciels programmés pour frauder les contrôles de pollution. Après avoir passé avec succès les tests en laboratoire, les véhicules émettaient sur la route jusqu'à 40 fois plus de NOx que le taux autorisé par la norme américaine. Volkswagen a plaidé coupable en 2017. D'autres contrôles indépendants effectués par le club automobile allemand ADAC ont montré qu'en conditions de conduite réelle, des véhicules diesel concurrents de Volkswagen, incluant la Volvo S60, l'Espace Energy de Renault et la Jeep Renegade, dépassaient de plus de 10 fois le seuil légal d'émissions de NOx en Europe.⁵

Les comportements opportunistes posent problème pour une catégorie de biens que les économistes appellent "credence goods" — on peut traduire par "biens de confiance" pour indiquer que la valeur de ces biens est fondée sur la confiance que l'acheteur accorde au vendeur. La qualité d'un bien de confiance comprend une composante qui répond à une préoccupation publique, par exemple d'ordre environnemental, mais elle peut être aussi éthique ou sanitaire. Un affichage "écologique" rehausse la valeur du bien de confiance en

⁴<https://www.ftc.gov/news-events/press-releases/2016/03/ftc-charges-volkswagen-deceived-consumers-its-clean-diesel>.

⁵<https://www.independent.co.uk/news/business/news/volkswagen-emissions-scandal-more-carmakers-implicated-tests-reveal-pollution-levels-popular-diesels-a6674386.html>.

proclamant que sa production et/ou sa distribution se plie à des normes plus ou moins précises. Il n'est pas facile de vérifier que l'entreprise respecte ces normes : seul un expert peut certifier — souvent avec une marge d'erreur — que l'entreprise est digne de confiance. Par conséquent, l'acheteur n'est jamais certain d'être correctement informé sur la qualité d'un bien de confiance même après l'avoir consommé. Des entrepreneurs peuvent alors être tentés d'abuser de sa confiance.

Les économistes distinguent deux formes d'opportunisme selon le type d'information manquante. Depuis les travaux de George Akerlof (1970) sur les marchés de voitures d'occasion avec des vices cachés (les "lemons"), on parle de "sélection adverse" lorsque les consommateurs manquent d'information sur une caractéristique du produit telle qu'une composante environnementale. Lorsque c'est une action de l'entreprise qui n'est pas observée, comme un effort de dépollution par exemple, l'opportunisme est appelé "risque moral". Les deux types d'opportunisme provoquent des défaillances de marché qui remettent en cause les vertus du marché concurrentiel. Sur un tel marché où chacun dispose de toute l'information disponible sur l'impact environnemental des biens, les consommateurs soucieux de respecter l'environnement peuvent acheter toutes sortes de biens écologiquement sains à leur coût marginal. En revanche, si les entreprises ont une information qui manque aux consommateurs, elles risquent de produire et vendre les biens les plus polluants à un prix bien supérieur au coût marginal de rendre ceux-ci moins nocifs pour l'environnement.

La certification environnementale n'est pas épargnée par les comportements opportunistes. La préoccupation environnementale affichée par certains produits peut laisser sceptique: ainsi la "lessive écologique" que se vante d'être Le Chat machine, la vodka "certifiée équitable", le "caviar éthique", la radio en bio-plastique de maïs et bambou (cités dans le "Marketing écolo" des Dossiers du Canard Enchaîné, n°115), la "banque verte", slogan du Crédit Agricole qui organise aussi les Trophées de l'Excellence Bio, les bottes Timberland qui "refusent de piétiner l'environnement", le qualificatif "nature friendly" revendiqué par Gaz de France Suez, l'"éco-autoroute" baptisée par le groupe Vinci, le "moteur écologiquement responsable" de Mazda, enfin le 4×4 japonais Outlander de Mitsubishi qu'une publicité, retirée pour manquement déontologique, présentait comme ayant été "conçu et réalisé au pays des accords de Kyoto". 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 en France.

Les consommateurs soucieux de l'environnement sont en général prêts à payer plus cher pour que les biens qu'ils achètent soient produits sans détériorer l'environnement. Si l'opportunisme est trop marqué sur le marché des biens verts, si l'incertitude est trop forte vis-à-vis du respect de l'environnement par les entreprises, les consommateurs peuvent renoncer à donner une prime aux biens labellisés verts de peur de se faire bernés. C'est ainsi que les débouchés viennent à manquer aux entreprises qui surveillent la qualité environnementale de leurs produits. En d'autres termes, la camelote polluante chasse les bons produits écologiques du marché si l'asymétrie d'information entre consommateurs et entreprises n'est pas résolue. La défaillance du marché est que, même s'il existe des consommateurs prêts à payer plus que ce qu'il en coûte à un producteur pour que son produit respecte l'environnement, le marché d'un tel bien s'amenuise jusqu'à disparaître complètement.

Lorsqu'une entreprise met sur le marché un nouveau produit "vert", censé respecter l'environnement, elle doit en général supporter des coûts supplémentaires car elle mobilise plus de ressources qu'un processus de production conventionnel indifférent à l'environnement.

Aussi, l'entreprise de qualité verte aimerait-elle convaincre les consommateurs concernés par la protection de l'environnement que son produit est écologiquement meilleur que le substitut conventionnel de manière à pouvoir vendre plus cher. Lorsque la caractéristique environnementale d'un produit repose sur la confiance qu'elle inspire aux consommateurs, l'entreprise qui propose le produit vert doit trouver un moyen crédible de transmettre toute l'information sur la qualité environnementale. Une simple déclaration que le nouveau produit est "vert" est en général insuffisante. Pourquoi les consommateurs croiraient-ils l'entreprise si cette déclaration peut être aussi bien faite par une entreprise moins respectueuse de l'environnement ? Une telle annonce manque de crédibilité du fait qu'elle est gratuite (c'est du "cheap talk"). En l'occurrence, un acte peut s'avérer plus parlant qu'un long discours. Il faut que l'entreprise verte agisse de manière à se distinguer de ses homologues conventionnels pour prouver que la qualité de son produit est meilleure pour l'environnement. Un tel comportement constitue un "signal". S'il est suffisamment coûteux, le signal permet à l'entreprise de rendre crédible l'information transmise sur la qualité du produit.

Le signal apparaît donc dans un contexte d'asymétrie d'information où un agent détient une information privée sur une caractéristique particulière, comme la qualité environnementale d'un produit. La logique du signal a été initialement développée par Spence (1973) pour expliquer des comportements en apparence inefficaces sur le marché du travail. Ainsi, des travailleurs plus talentueux et donc plus productifs pour leurs employeurs potentiels, parviennent à signaler leur talent supérieur en engageant des dépenses ou des efforts parfois excessifs en éducation. Spence montre que le signal fonctionne – autrement dit, il parvient à séparer les différents types de travailleurs aux yeux des employeurs, en leur transmettant complètement l'information qui leur manque – à condition que le coût d'utiliser le signal soit moins élevé pour les "bons" types qui ont intérêt à se faire correctement identifier, que pour les "mauvais" types qui ont intérêt à se faire passer pour meilleurs qu'ils ne sont.

Suivant cette même logique, le prix apparaît comme un instrument naturel dont peut se servir une entreprise détentrice d'un pouvoir de marché pour signaler la qualité verte de son produit. Pour être crédible, un signal doit en général être coûteux et générer des distorsions par rapport à une situation d'information parfaite, et le prix utilisé comme un signal n'échappe pas à la règle. Il sera distordu vers le bas ou vers le haut selon les circonstances considérées.

Deux articles développent cette idée: Mahenc (2007) et Mahenc (2008).

Signal en prix d'un produit vert

Examinons comment une entreprise détentrice d'un pouvoir de marché peut se servir du prix qu'elle fixe pour signaler à des consommateurs "verts" – prêts à payer plus cher un produit meilleur pour l'environnement – que son produit respecte effectivement des critères de qualité environnementale.

Une entreprise en monopole sur un marché offre un nouveau produit de qualité $q_i = k + e_i$, où k mesure la qualité conventionnelle du produit et e_i est un indicateur croissant de la qualité environnementale. Pour simplifier, on suppose qu'il n'existe que deux niveaux de qualité pour le produit: soit le produit est vert ($i = v$) et sa qualité $q_v = k + e$, $e > 0$, respecte des critères environnementaux; soit le produit est conventionnel ($i = b$ pour "brun") et sa qualité $q_b = k$ ne tient pas compte de l'environnement. Le coût moyen de produire un bien de qualité q_i , noté c_i , est supposé constant. Les consommateurs ne peuvent pas observer directement la

qualité du produit avant achat. Ils savent que le produit peut être vert avec la probabilité μ ou brun avec la probabilité $1 - \mu$. Comme la qualité verte doit satisfaire un cahier des charges plus exigeant que la qualité conventionnelle, elle est plus coûteuse à produire, si bien que $c_v = c > c_b = 0$. Le cahier des charges de la qualité verte impose par exemple d'utiliser des matériaux recyclables plus onéreux, ou plus généralement de mobiliser des ressources pour protéger l'environnement.

Les consommateurs ont des goûts différents pour le produit: leur paramètre de goût θ est distribué de manière uniforme sur $[0, 1]$. Un consommateur de goût θ tire un surplus $\theta q_i - p$ de l'achat d'une unité de qualité q_i au prix p , et 0 sinon. Chaque consommateur dispose d'un revenu m avec lequel il achète au plus une unité de produit. Le consommateur indifférent entre acheter ou non est solution en θ de l'équation

$$m + \theta (k + e_i) - p = m, \quad (37)$$

ce qui donne la courbe de demande suivante en information complète:

$$D(p, q_i) = 1 - \frac{p}{k + e_i}, \quad (38)$$

pourvu que $p < k + e_i$, et 0 sinon.

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

$$D(p = c, q_v) = \frac{k + e - c}{k + e} > 0, \quad (39)$$

Autrement dit

$$c < k + e. \quad (40)$$

En information complète, le producteur vert a un profit $(p - c) \frac{k+e-p}{k+e}$ tandis que le producteur conventionnel a un profit $p \frac{k-p}{k}$.

Comme les consommateurs ne savent pas exactement si le produit est vert ou conventionnel au moment de l'achat, leur décision d'acheter ou non dépend de leur information a priori et de l'information supplémentaire qu'éventuellement ils obtiennent d'observer le signal en prix que leur envoi l'entreprise. Voyant le prix qui leur est proposé p , les consommateurs essaient d'en tirer de l'information sur la qualité environnementale du produit et révisent leurs croyances initiales d'après le niveau observé de p . Soit $\mu(p) : R^+ \rightarrow [0, 1]$ les croyances a posteriori que le produit est vert lorsque le prix est p . Si les consommateurs assignent la probabilité $\mu = \mu(p)$ au produit vert, alors $q(\mu) = \mu(k + e) + (1 - \mu)k = k + \mu e$ est la perception que les consommateurs ont de la qualité environnementale d'après le prix p . En information incomplète, la demande prend donc la forme:

$$\begin{aligned} D(p, \mu) &= 1 - p/q(\mu) \\ &= \frac{k + \mu e - p}{k + \mu e}. \end{aligned} \quad (41)$$

Notons que $D(p, \mu)$ est une fonction croissante de μ et donc $\mu = 0$ est la pire croyance que peuvent avoir les consommateurs du point de vue du monopole, puisqu'elle réduit la

demande à son niveau le plus bas, à prix donné. Le profit du monopole qui vend un produit de qualité q_i au prix p , que les consommateurs pensent être vert avec la probabilité μ , est donné par $\pi_i(p, \mu) = (p - c_i)D(p, \mu)$. C'est une fonction concave avec un maximum en $\frac{q(\mu)+c_i}{2}$, qui donne un profit de $\pi_i(\mu) = \frac{(q(\mu)-c_i)^2}{4q(\mu)}$. En guise de point de référence, on note $p_i^* = \frac{k+e_i+c_q}{2}$ le prix de monopole en information complète.

En information asymétrique, le choix optimal du producteur peut être, soit de révéler toute l'information sur la qualité environnementale par le truchement de prix séparateurs, soit de maintenir l'information secrète en fixant des prix mélangeants.

Le problème du monopole est de maximiser son profit par rapport à p , étant données les croyances révisées des consommateurs. Les stratégies doivent constituer un Equilibre Bayésien Parfait (EBP). En notant p_b et p_v les prix d'équilibre des produits conventionnel et vert respectivement, fixés par le monopole, l'ensemble des stratégies et croyances $(p_b, p_v, \mu(p))$ est un EBP si les deux conditions suivantes sont vérifiées:

- *Condition d'optimalité pour le monopole*

Pour $q = b, v$, $p_q = \arg \max_p \pi(p, q, \mu)$.

- *Cohérence bayésienne des croyances*

Si $p_b \neq p_v$, alors $\mu(p_b) = 0$ et $\mu(p_v) = 1$. Si $p_b = p_v$, alors $\mu(p_v) = \mu$. Ainsi s'applique la règle de Bayes respectivement dans les cas où il y a (1) séparation des deux types de qualité environnementale – qualités verte et brune sont vendues à des prix différents – et (2) confusion des types – qualités verte et brune sont vendues au même prix.

La dernière condition exige que les croyances a posteriori formées par les consommateurs d'après le prix observé soient obtenues à partir des croyances a priori en utilisant la règle de Bayes à l'équilibre. Cela conduit à distinguer entre *équilibres séparateurs* (pour lesquels le monopole choisit des prix différents selon la qualité environnementale du produit qu'il offre) et *équilibres mélangeants* (pour lesquels le prix fixé par le monopole ne dépend pas de la qualité environnementale du produit). Hors-équilibre, la règle de révision des croyances est arbitraire car la règle de Bayes ne peut pas s'appliquer à un événement dont la survenance est de probabilité nulle (ici, l'observation d'un prix).

Rappel: Règle de Bayes

$\mu(p)$ est la probabilité que la qualité soit verte conditionnellement à l'observation du prix p . Soit V (B) l'événement "la qualité est verte (brune)" et p l'événement "on observe le prix p ", alors la règle de Bayes indique:

$$\Pr ob(V/p) = \frac{\Pr ob(p/V) \cdot \Pr obV}{\Pr ob(p/V) \cdot \Pr obV + \Pr ob(p/B) \Pr obB} \quad (42)$$

Avec les notations du cours, cela donne:

$$\mu(p) = \frac{\Pr ob(p/V)\mu}{\Pr ob(p/V)\mu + \Pr ob(p/B)(1 - \mu)} \quad (43)$$

D'où, à l'*équilibre séparateur*, pour $p = p_v$, on a $\Pr ob(p_v/B) = 0$ et donc $\mu(p_v) = 1$. Quant à l'*équilibre mélangeant*, pour $p = p_v = p_b$, on a $\Pr ob(p/V) = \Pr ob(p/B)$ et donc $\mu(p_v) = \mu$.

Examinons d'abord les contraintes "incitatives" de rationalité individuelle (*RI*). Un monopole de type v qui est parfaitement identifié comme un producteur vert doit choisir p_v plutôt que le prix optimal associé à $\mu = 0$, la pire des croyances pour le monopole:

$$\pi_v(p_v, 1) \geq \pi_v(0), \quad (44)$$

ou encore,

$$(p_v - c) (1 - p_v / (k + e)) \geq \frac{(k - c)^2}{4k}. \quad (45)$$

L'exigence est la même pour le monopole de type b :

$$\pi_b(p_b, 0) \geq \pi_b(0), \quad (46)$$

ou encore,

$$p_b (1 - p_b / k) \geq \frac{k}{4}. \quad (47)$$

On voit que la contrainte (*RI*) sature nécessairement pour le monopole brun, de sorte que $p_b = p_b^*$: les prix d'information complète et incomplète coïncident pour la qualité brune et il n'y a pas de distorsion en prix pour cette qualité à l'équilibre séparateur. Tournons-nous à présent vers les contraintes "incitatives" de compatibilité des incitations (*CI*). D'abord, le type v ne doit pas être tenté d'imiter le type b :

$$\pi_v(p_v, 1) \geq \pi_v(p_b, 0), \quad (48)$$

ou encore,

$$(p_v - c) (1 - p_v / (k + e)) \geq (p_b - c) (1 - p_b / k). \quad (49)$$

Il est immédiat que cette dernière contrainte sera satisfaite si la contrainte (*RI*) l'est pour le monopole vert puisque $\frac{(k-c)^2}{4k} > (p_b - c) (1 - p_b / k)$.

Ensuite, le type b ne doit pas se comporter comme s'il était de type v :

$$\pi_b(p_b, 0) \geq \pi_b(p_v, 1), \quad (50)$$

ou encore en posant $p_b = p_b^*$,

$$\frac{k}{4} \geq p_v (1 - p_v / (k + e)). \quad (51)$$

Le problème revient donc à chercher l'ensemble des prix p_v qui vérifient les deux contraintes restantes

(*RI*) pour le type v :

$$\begin{aligned} \pi_v(p_v, 1) &\geq \pi_v(0) \\ \Leftrightarrow (p_v - c) (1 - p_v / (k + e)) &\geq \frac{(k - c)^2}{4k} \end{aligned} \quad (52)$$

et (*CI*) pour le type b :

$$\begin{aligned} \pi_b(0) &\geq \pi_b(p_v, 1) \\ \Leftrightarrow \frac{k}{4} &\geq p_v (1 - p_v / (k + e)) \end{aligned} \quad (53)$$

On fait ainsi apparaître que le prix d'équilibre séparateur qui signale la qualité verte subit une distorsion vers le haut par rapport à la situation d'information complète.

On appelle P_b l'ensemble des prix p_v qui satisfont la contrainte (CI) pour b : $P_b = \{p/p \leq \underline{p}_b \text{ ou } p \geq \bar{p}_b\}$ où \underline{p}_b and \bar{p}_b sont les seuils inférieurs et supérieurs respectivement, en-deça et au-delà desquels le type b est dissuadé d'imiter le type v . De même on définit par P_v l'ensemble des prix p_v qui satisfont la contrainte (RI) pour v : $P_v = \{p/\underline{p}_v \leq p \leq \bar{p}_v\}$, prix auxquels le type v est désireux de révéler son information. Il existe un équilibre séparateur si et seulement si $P_b \cap P_v \neq \emptyset$. Montrons que cet ensemble n'est pas vide sous certaines conditions de paramétrage.

Notons

$$f(p, x) = (p - x) (1 - p/(k + e)) - \frac{(k - x)^2}{4k} \quad (54)$$

Il s'ensuit que respecter simultanément les deux contraintes (RI) pour le type v et (CI) pour le type b revient à poser la double inégalité

$$f(p, c) \geq 0 \geq f(p, 0) \quad (55)$$

Résolvons l'équation $f(p, x) = 0$ en p :

$$-p^2 + p(k + e + x) - x(k + e) - \frac{(k + e)(k - x)^2}{4k} = 0. \quad (56)$$

En appelant $d(x) = e(k(k + e) - x^2)/k$, le déterminant de l'équation du second degré en p , on peut trouver une solution à $f(p, x) = 0$ si et seulement si $d(x) \geq 0$, qui est vérifiée pour $x < \sqrt{k(k + e)}$.

Dans ce cas, l'équation $f(p, x) = 0$ admet deux racines,

$$\underline{p}(x) = \left(k + e + x - \sqrt{d(x)}\right) / 2 \quad (57)$$

et

$$\bar{p}(x) = \left(k + e + x + \sqrt{d(x)}\right) / 2. \quad (58)$$

Elles sont dérivables par rapport à x :

$$\underline{p}'(x) = \left(1 + \frac{e}{k}x/\sqrt{d(x)}\right) / 2 \text{ et } \bar{p}'(x) = \left(1 - \frac{e}{k}x/\sqrt{d(x)}\right) / 2.$$

Ainsi, $\underline{p}'(x) > 0$, et en outre, $\bar{p}'(x) > 0$ à condition que $d(x) \geq \left(\frac{e}{k}\right)^2 x^2$. Après calcul, cette inégalité est équivalente à $x \leq k \left(< \sqrt{k(k + e)}\right)$.

En résumé, si $c \leq k$, alors $\underline{p}(0) = \underline{p}_b < \underline{p}(c) = \underline{p}_v$ et $\bar{p}(0) = \bar{p}_b < \bar{p}(c) = \bar{p}_v$. Par conséquent, on a $P_b \cap P_v = [\bar{p}_b, \bar{p}_v]$ et, lorsque $\bar{p}_b = p_v > p_v^*$, \bar{p}_b est le prix qui signale la qualité verte avec le moins de distorsion possible par rapport à la situation d'information complète.

Examinons maintenant le cas où $k < c$. On a alors $\underline{p}_v = c$ et $\bar{p}_v = k + e$. On peut vérifier de plus que $\underline{p}(0) = \underline{p}_b < \underline{p}_v = c$ et $\bar{p}(0) = \bar{p}_b < \bar{p}_v = k + e$. Aussi, $P_b \cap P_v = [\bar{p}_b, \bar{p}_v]$.

La distorsion du prix vers le haut, lorsqu'elle existe ($p_v > p_v^* \Leftrightarrow c < \sqrt{e(k + e)}$) correspond au coût du signal, ici la prime que doivent payer les consommateurs pour obtenir une information correcte sur la qualité environnementale du produit.

En conclusion:

Il est possible pour un monopole de parfaitement signaler la qualité environnementale de son produit dès lors que cette qualité doit être offerte dans l'intérêt général (hypothèse que $c < k + e$). Mais il se peut que le monopole augmente son prix par rapport à la situation d'information complète pour signaler que son produit est de bonne qualité environnementale (c'est le cas lorsque $c < \sqrt{e(k + e)}$). Le signal par le prix devient alors coûteux: le monopole vert fait payer aux consommateurs l'information qu'il détient sur la qualité environnementale de son produit.

Problème 5: Signal par le prix du bois durable

Une exploitation forestière en monopole produit un bois de qualité $q_i = 1 + e_i$, où e_i est un indicateur de gestion durable de la forêt. Il y a deux niveaux de qualité pour le bois: soit le bois est durable ($i = d$) et sa qualité $q_d = 4$ avec $e_d = 3$ respecte des critères de gestion durable de la forêt; soit le bois est conventionnel ($i = c$) et sa qualité $q_c = 1$ avec $e_c = 0$ néglige la gestion durable de la forêt. Le coût moyen de produire un bois conventionnel est nul et le coût moyen de produire un bois durable est $c = 3$. Les acheteurs ne peuvent pas observer directement si le bois est conventionnel ou durable. Ils savent que le bois peut être durable avec la probabilité μ ou conventionnel avec la probabilité $1 - \mu$.

Les acheteurs ont des goûts différents pour le bois: leur paramètre de goût θ est distribué de manière uniforme sur $[0, 1]$. Un acheteur de goût θ tire un surplus $\theta q_i - p$ de l'achat d'une unité de bois de qualité q_i au prix p , et 0 sinon. Chaque acheteur dispose d'un revenu m avec lequel il achète au plus une unité de produit. L'acheteur indifférent entre acheter ou non est solution en θ de l'équation

$$m + \theta(1 + e_i) - p = m.$$

31. Montrer que la demande pour le bois conventionnel en information complète est:

$$D_c(p) = 1 - p.$$

Exprimer la demande $D_d(p)$ pour le bois durable en information complète.

32. Montrer que la demande pour le bois durable vendu au coût marginal est positive en information complète. Exprimer mathématiquement cette hypothèse.

33. Exprimer, en fonction du prix p , les fonctions de profit pour le bois conventionnel et le bois durable en information complète.

34. Calculer les prix p_c^* et p_d^* choisis respectivement par l'exploitation forestière pour le bois conventionnel et le bois durable, en information complète.

35. Quels sont les profits réalisés par l'exploitation forestière aux prix calculés à la question précédente?

36. Exprimer la demande $D(p, \mu)$ pour le bois en information incomplète.

37. Pour un prix donné p , écrire les profits obtenus en information incomplète, lorsque les acheteurs se trompent dans leur évaluation de la qualité, c'est à dire:

- le profit pour le bois conventionnel lorsque les acheteurs sont certains que c'est un bois durable;
 - le profit pour le bois durable lorsque les acheteurs sont certains que c'est un bois conventionnel.
38. Montrer qu'en information incomplète, l'exploitation forestière ne peut pas choisir d'autres prix que le prix p_c^* pour signaler que le bois est conventionnel.
 39. Ecrire la contrainte qui empêche l'exploitation forestière de bois conventionnel de fixer le prix p_d qui signale le bois durable.
 40. En utilisant la réponse précédente, montrer que l'exploitation forestière de bois durable ne peut pas choisir p_d^* pour signaler la qualité de son bois.
 41. Montrer que le plus petit prix auquel l'exploitation forestière de bois durable peut signaler la qualité de son bois est $\bar{p} = 2 + \sqrt{3}$.

Signaler la qualité verte en perspective de ventes futures

On introduit une perspective de ventes futures qui rend le problème dynamique. Sur un marché, il y a des entreprises établies qui offrent un produit conventionnel dont la qualité est communément connue. Ces entreprises sont concurrentielles et vendent donc le produit conventionnel au coût marginal. À la première période, un candidat à l'entrée veut introduire un produit dont la qualité n'est pas observée par les consommateurs. L'entrant prétend que la qualité de son produit, dit "vert", lui donne une valeur plus grande que celle du produit conventionnel. La qualité du produit est mesurée par un indice e .

A priori, les consommateurs croient que le bien vendu sous le label vert est réellement vert avec la probabilité μ_0 . Cette croyance reflète aussi la réputation de l'entrant au début du jeu.

À la première période, l'entrant fixe un prix introductif sur la base duquel les consommateurs essaient de déduire la qualité du nouveau produit et décident quel produit acheter entre le vert et le conventionnel. Cette situation se répète une fois: la seconde période représente le futur. La qualité est exogène: elle reste la même tout au long du jeu. Le prix choisi par l'entrant joue le rôle de signal de la qualité qui est soit conventionnelle soit verte. Les consommateurs prennent leurs décisions d'achat à la lumière de l'information transmise par la décision de l'entrant.

Le coût marginal (et moyen) de produire le bien de qualité e est $c + \varphi(e)$, où c est le coût marginal de produire le bien conventionnel et $\varphi(e)$ est le le coût de fournir le service environnemental qui inclut tous les efforts supplémentaires pour respecter l'environnement et le prix à payer pour obtenir le label vert..

Les consommateurs ne savent pas exactement si le produit est de type vert ($e > 0$) ou de type conventionnel ($e = 0$) au moment de l'achat. Les consommateurs ont tous les mêmes préférences $u = v - p$ si le bien vendu au prix p est conventionnel. En revanche, les goûts des consommateurs pour le bien vert sont hétérogènes. L'utilité d'un consommateur de goût s pour la qualité e d'un produit vendu au prix p est

$$u = v + se - p$$

En information complète, le partage du marché est donné par \tilde{s} qui correspond au consommateur indifférent entre acheter le produit conventionnel ou le produit vert

$$v + \tilde{s}e - p = v - c$$

La fonction de demande pour le produit vert s'écrit

$$D(p, e) = 1 - \tilde{s} = 1 - \frac{p - c}{e}$$

On fait l'hypothèse que la demande n'est pas nulle lorsque le bien vert est vendu au coût marginal $c + \varphi(e)$. Cela revient à poser

$$e > \varphi(e)$$

Cette condition indique que le produit vert est socialement souhaitable.

En information incomplète, après avoir observé le prix p , les consommateurs révisent leurs croyances suivant une fonction $\mu(p) : R^+ \rightarrow [0, 1]$ qui donne les croyances a posteriori que le produit est vert. Si les consommateurs assignent la probabilité $\mu = \mu(p)$ au produit vert, alors l'utilité espérée du consommateur $s \in [0, 1]$ pour le produit vert est donnée par

$$u = v + s\mu e - p$$

Il en résulte la fonction de demande suivante

$$D(p, \mu) = \begin{cases} 0 & \text{if } p \geq c + \mu e, \\ 1 - \frac{p-c}{\mu e} & \text{if } c \leq p \leq c + \mu e \end{cases}$$

Lorsque le bien est certainement conventionnel ($\mu = 0$), il est vendu au coût marginal de sorte que les entreprises conventionnelles ont un profit nul. Lorsque le bien est certainement vert ($\mu = 1$), la demande est donnée par $D(p, 1) = 1 - \frac{p-c}{e}$ pour tout $p \leq c + e$.

On note $\pi_t(p, \mu)$ le profit de l'entreprise entrante de type $t = 0$ ou e , dont le produit est considéré par les consommateurs comme étant vert avec la probabilité μ . Le maximum d'un tel profit sera noté $\pi_t(\mu)$, $t = 0, e$. Lorsque le bien est conventionnel, le profit maximum est $\pi_0(0) = 0$ si les consommateurs sont convaincus que le bien est effectivement conventionnel. Avec cette croyance, l'entreprise verte fait un profit nul $\pi_e(0) = 0$.

Information complète sur une période Si la qualité e est communément connue, le profit de l'entrant de type vert est

$$\pi_e(p, e) = (p - c - \varphi(e))D(p, e)$$

Soit $e > 0$. En maximisant $\pi_e(p, e)$ par rapport à p , l'entreprise fixe le prix

$$\hat{p}_e = c + \frac{e + \varphi(e)}{2}$$

et obtient la part de marché

$$D(\hat{p}_e, e) = \frac{e - \varphi(e)}{2e}$$

Le profit maximum gagné par l'entreprise est

$$\widehat{\pi}_e = \frac{(e - \varphi(e))^2}{4e}$$

Si $e = 0$, l'entrant fait un profit nul en raison de la pression concurrentielle des entreprises déjà établies sur le marché

$$\widehat{\pi}_0 = 0$$

Signal en prix à la première période Considérons maintenant le modèle dynamique à deux périodes. Les consommateurs maximisent leur espérance d'utilité instantanée à chaque période: ils sont rationnels et myopes. Les entreprises maximisent la somme des valeurs présentes de l'utilité espérée en utilisant le facteur d'escompte $\delta = \frac{1}{1+\rho}$, où ρ est le taux d'intérêt.

En achetant le produit à la première période, les consommateurs observent s'il est conventionnel ou vert. On considère le produit comme un bien "d'expérience" dont l'effet bénéfique sur l'environnement (la qualité) n'est pas observable avant le premier achat, mais qu'on apprend à connaître à l'usage. La seconde période du jeu se déroule donc en information complète.

Après l'achat en première période, les consommateurs révisent leurs croyances en fonction de l'information que délivre le prix du produit. À l'équilibre, cette mise à jour des croyances suit la règle de Bayes. On étudie l'existence d'équilibres séparateurs du jeu dynamique qui révèle l'information sur le type du produit (conventionnel ou vert) à la première période.

On note p_e le prix d'équilibre séparateur qui signale le produit vert. Le prix qui signale la qualité conventionnelle est $p_0 = c$ à cause de la pression concurrentielle des entreprises en place. Aussi, on suppose qu'à l'équilibre séparateur, l'entreprise n'entre pas si son produit est conventionnel.

Étant donné les croyances des consommateurs après avoir observé p_e en première période, l'entrant signale que le produit est vert avec un prix

$$p_e = \arg \max_p \pi_e(p, \mu(p)) + \delta \widehat{\pi}_e$$

Pour que p_e participe à un équilibre séparateur, il faut qu'il satisfasse deux types de contraintes: les contraintes de rationalité individuelle (RI) qui garantissent que l'entrant veut révéler quel est son véritable type dès la première période et les contraintes de compatibilité des incitations (CI).

Lorsque les consommateurs ont les pires croyances $\mu(p) = 0$ après observation du prix p , le meilleur profit que l'entrant vert puisse obtenir est $\pi_e(0) = 0$. La contrainte RI qui s'impose à l'entreprise verte est, pour tout $p_e < c + e$,

$$\pi_e(p_e, 1) + \delta \widehat{\pi}_e \geq (1 + \delta) \pi_e(0)$$

Si $p_e \geq c + e$ alors il n'y a pas d'achat en première période et les consommateurs n'ont pas l'opportunité d'observer la qualité du produit. La contrainte ci-dessus dit que l'entreprise trouve plus profitable de signaler qu'elle est verte que de vendre à des consommateurs convaincus qu'elle est conventionnelle. Dans le membre de droite de l'inégalité, le coût d'opportunité de signaler la qualité est nul. On peut réécrire cette contrainte ainsi

$$(p_e - c - \varphi(e)) \left(1 - \frac{p_e - c}{e}\right) + \delta \frac{(e - \varphi(e))^2}{4e} \geq 0$$

L'égalité ci-dessus donne une équation qui admet une racine inférieure et une racine supérieure

$$\begin{aligned} \underline{p}_e &= \hat{p}_e + \frac{(\varphi(e) - e) \sqrt{1 + \delta}}{2} \\ &\text{et} \\ \bar{p}_e &= \hat{p}_e + \frac{(e - \varphi(e)) \sqrt{1 + \delta}}{2} \end{aligned}$$

Soit $P_e = [\underline{p}_e, \bar{p}_e]$ l'ensemble des prix qui satisfont la contrainte RI de l'entreprise verte.

Considérons maintenant les contraintes CI: elles exigent que le prix signalant un type de qualité ne puisse être imité si la qualité est différente. Le profit que gagnerait l'entreprise conventionnelle si elle trompait les consommateurs serait

$$\pi_0(p_e, 1) = (p_e - c) \left(1 - \frac{p_e - c}{e} \right)$$

L'entreprise conventionnelle est seulement intéressée par le profit courant. La stratégie de se faire passer pour une entreprise verte ne génère pas de profits en seconde période. La contrainte IC pour le type conventionnel impose

$$\pi_0(0) \geq \pi_0(p_e, 1),$$

où $\pi_0(0) = 0$. À l'égalité, on a une équation qui a deux solutions en p_e : $\underline{p}_0 = c$ et $\bar{p}_0 = c + e$.

Par conséquent, dans un équilibre séparateur, ou bien $p_e \leq c$ ou bien $p_e \geq c + e$. Dans ce dernier cas, p_e réduirait à zéro la part de marché pour le produit vert. La distorsion en prix vers le haut qui permettrait de dissuader l'entreprise conventionnelle de faire passer son produit pour vert repousse les consommateurs.

Comme p_e doit appartenir à P_e , les seuls candidats qui signalent le produit vert sont les prix qui se trouvent dans l'intervalle $[\underline{p}_e, c]$. Ainsi, il est nécessaire de distordre le prix vers le bas par rapport au prix d'information complète \hat{p}_e pour signaler le produit vert.

Pour signaler le produit vert avec un prix introductif plus faible que c , il faut satisfaire la condition $c \geq \underline{p}_e$ qu'on peut aussi écrire

$$\pi_e(c, 1) + \delta \tilde{\pi}_e \geq 0$$

ou de manière équivalente

$$\delta \frac{(e - \varphi(e))^2}{4e} \geq \varphi(e)$$

Cette condition indique que la valeur actualisée attendue des ventes futures dépasse le coût supplémentaire de produire vert. On note $\tilde{\delta} = \frac{4e\varphi(e)}{(e - \varphi(e))^2} = \frac{\varphi(e)}{\pi_e(1)}$ le seuil pour le facteur d'escompte au-dessus duquel il est possible de signaler le produit vert. Par le calcul, on montre que $\tilde{\delta} < 1$ lorsque $\varphi(e) < (3 - 2\sqrt{2})e$. Par conséquent, il existe un signal en prix faible lorsque l'entreprise verte est suffisamment patiente, au sens où δ est supérieur au seuil $\tilde{\delta}$. La perte générée en première période par ce prix de lancement faible est plus que compensée par le profit des ventes futures.

En conclusion: *Il existe un équilibre séparateur du jeu dynamique si et seulement si $\varphi(e) < (3 - 2\sqrt{2})e$ et $\delta \geq \tilde{\delta}$. Dans un tel équilibre, le prix qui signale le produit vert se trouve dans*

l'intervalle $\left[\underline{p}_e, c \right]$, en-dessous du coût moyen de production: il génère une perte en première période.

Il y a finalement deux cas à considérer:

- Si $\delta \geq \tilde{\delta}$, l'entrant signale la qualité verte en première période par une distorsion du prix vers le bas. Parmi tous les équilibres séparateurs possibles de l'intervalle $\left[\underline{p}_e, c \right]$, le plus "raisonnable" est $p_e = c$ car c'est celui qui minimise la distorsion en prix et donc le coût du signal. Le signal en prix bas fonctionne car l'entreprise verte souffre moins de la distorsion en prix que l'entreprise conventionnelle. En effet, celle-ci ne peut pas compter sur le profit de ventes futures pour compenser la perte courante. Avec un prix $p_e = c$, l'entreprise verte fait passer le message : "Je perds de l'argent et pourtant je suis sur le marché. Tu sais que si mon produit était conventionnel, je ne pourrais pas supporter une telle perte. Seul le produit vert le permet. Tu peux donc déduire à coup sûr que mon produit est vert." La perte en première période peut être considérée comme un investissement pour asseoir la réputation d'être vert.
- Si $\delta < \tilde{\delta}$, les ventes futures que rapporte le produit vert ne compensent pas le désavantage en coût de produire cette qualité-là. Dans ce cas, il n'existe pas d'équilibre séparateur qui révèle l'information. Il peut alors exister des équilibres mélangeants où le prix ne renseigne pas sur la qualité du produit.

3 - 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 – instaurée 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.

3.1 - 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)⁶ 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 ("*A Question of Balance. Weighing the Options on Global Warming Policies*", 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 CO_2 . Par quatre mécanismes distincts. Premièrement, cela fournira des signaux aux consommateurs sur les produits et services qui génèrent de fortes émissions de CO_2 et sont donc à utiliser avec parcimonie. Deuxièmement, cela fournira des signaux aux producteurs sur les sources d'énergie les plus génératrices de CO_2 (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 CO_2 capables de se substituer

⁶http://files.libertyfund.org/files/1410/Pigou_0316.pdf

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 CO_2 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 CO_2 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 CO_2 , 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 CO_2 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 CO_2 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 Bovenberget 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, A. L. and L. H. Goulder, 1996) montrent 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.

3.2 - 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

$$u_m(x^*) = c_m(x^*) + \varepsilon \mathcal{D}_m(\varepsilon x^*) \quad (59)$$

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

$$\max_x \pi(x) = px - c(x) - te \quad (60)$$

Il en résulte la courbe inverse d'offre:

$$p = c_m(x) + t\varepsilon \quad (61)$$

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

$$p^e = u_m(x^e) = c_m(x^e) + t\varepsilon \quad (62)$$

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.

3.3 - 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

$$\max_p \pi(p, x(p)) = px(p) - c(x(p)) - t\varepsilon x(p) \quad (63)$$

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

$$(p - c_m(x(p)) - t\varepsilon)x'(p) + x(p) = 0 \quad (64)$$

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:

$$\frac{p^m - c_m(x(p^m)) - t\varepsilon}{p^m} = \frac{1}{\eta(p^m)}, \quad (65)$$

à condition que l'élasticité soit supérieure à 1 (sinon, le monopole choisirait un prix si élevé qu'il ne susciterait plus aucun achat). A 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

$$\max_t S(x) + \pi(x) - \mathcal{D}(\varepsilon x) = u(x) - c(x) - \mathcal{D}(\varepsilon x) \quad (66)$$

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

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

$$u_m(x) - c_m(x) - \varepsilon \mathcal{D}_m(\varepsilon x) = 0, \quad (67)$$

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:

$$t^* \varepsilon + \frac{p^m}{\eta(p^m)} - \varepsilon D_m(\varepsilon x(p^m)) = 0 \quad (68)$$

et finalement:

$$t^* = D_m(\varepsilon x(p^m)) - \frac{p^m}{\varepsilon \eta(p^m)} \quad (69)$$

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.

3.4 - 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

$$\max_x S(x) = u(x) - px \quad (70)$$

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

$$\max_x \pi(x) - te = px - c(a) - te \quad (71)$$

sous les contraintes que

$$a = \gamma x \text{ et } e = (1 - \gamma)x \quad (72)$$

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

$$p = \gamma c'(\gamma x) + t(1 - \gamma) \quad (73)$$

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

$$p^e = u_m(x^e) = \gamma c'(\gamma x^e) + t(1 - \gamma) \quad (74)$$

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

$$\max_x u(x) - px + te + \pi(x) - te - \mathcal{D}(e) = u(x) - c(a) - \mathcal{D}(e), \quad (75)$$

L'allocation du bien socialement efficace x^* vérifie

$$u_m(x^*) = \gamma c'(\gamma x^*) + (1 - \gamma) \mathcal{D}_m((1 - \gamma) x^*) \quad (76)$$

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

$$t^* = \mathcal{D}_m((1 - \gamma) x^*) \quad (77)$$

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

$$\max_x \pi(x) - \tau e = px - c(a) - \tau e \quad (78)$$

sous les contraintes que

$$a = \gamma x \text{ et } e = (1 - \gamma) x \quad (79)$$

Il en résulte une courbe inverse d'offre de bien

$$p = \gamma c'(\gamma x) + \tau(1 - \gamma) \quad (80)$$

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

$$p^e = u_m(x^e) = \gamma c'(\gamma x^e) + \tau(1 - \gamma) \quad (81)$$

- Programme du régulateur

$$\max_x u(x) - c(\gamma x) - \mathcal{D}((1 - \gamma) x) \quad (82)$$

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

$$u_m(x^*) = \gamma c'(\gamma x^*) + (1 - \gamma) \mathcal{D}_m((1 - \gamma) x^*) \quad (83)$$

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

A 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

$$\tau = \mathcal{D}_m((1 - \gamma) x^*) \quad (84)$$

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) puis Arrow (1969) 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 qu'il n'y a d'externalités afin d'atteindre un résultat socialement efficace.

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

La demande de pétrole dans une économie est estimée par la fonction $D(p) = 120 - p$ où p est le prix d'un baril. Le coût total privé de produire du pétrole dans cette économie est donné par la fonction $c(q) = q^2/2$, où q le niveau de production, mesuré en baril. La production de pétrole génère des gaz à effet de serre qui polluent l'environnement. Le montant total de ces émissions polluantes $E(q)$ est égal à la quantité produite de pétrole: $E(q) = q$. La détérioration de l'environnement due à la production de pétrole est mesurée par la fonction de dommage $\mathcal{D}(E) = E^2$. On suppose tout d'abord que le marché du pétrole fonctionne en concurrence parfaite.

42. Déterminer et représenter graphiquement les courbes de demande et d'offre de pétrole, ainsi que le coût marginal social de produire du pétrole.
43. Calculer le prix et la quantité d'équilibre concurrentiel sur le marché du pétrole. Quels sont alors le montant des émissions polluantes et le dommage environnemental qui en résulte?
44. Quelle quantité de pétrole serait-il économiquement efficace d'échanger, compte tenu de la pollution associée à cette production? Quel est le niveau de pollution optimal pour l'économie et le dommage environnemental qui en résulte. Commenter.
45. Le gouvernement impose aux producteurs de pétrole en concurrence parfaite de payer une taxe Pigouvienne. Ecrire le programme de maximisation de l'industrie pétrolière soumise à la taxe et déterminer le montant de cette taxe.
46. En supposant maintenant que l'industrie pétrolière se comporte en monopole, calculer le montant de la taxe environnementale qui permettrait de réguler son comportement. Commenter.

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 $\mathcal{D}(e) = e^2$.

47. Représenter graphiquement les courbes de demande d'électricité, d'offre et le coût marginal social de produire de l'électricité.
48. Déterminer le prix et la quantité d'équilibre concurrentiel du marché de l'électricité.
49. Quelle quantité d'électricité serait-il économiquement efficace d'échanger, compte tenu de la pollution associée à cette production? Commenter.
50. Calculer le montant de la taxe pigouvienne qui permettrait de restaurer l'efficacité économique.
51. 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.
52. 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.

3.5 - La régulation de l'entreprise polluante concurrentielle en information asymétrique

Deux articles de référence à ce sujet sont Baron (1985) et Laffont (1994).

Un problème de régulation survient lorsqu'il y a asymétrie d'information entre le pollueur et le régulateur (une agence environnementale par exemple). Si le pollueur connaît mieux que le régulateur l'impact de son activité sur l'environnement – par exemple, parce qu'un producteur observe mieux que quiconque ses coûts de dépollution (installation de filtres à particules, d'équipements moins gourmands en énergies fossiles, nettoyage des sols pollués par la culture, utilisation réduite des engrais chimiques) et la qualité de l'environnement qui en résulte – y a-t-il un type de régulation qui permette de révéler quels sont les véritables coûts du pollueur?

Le régulateur environnemental et le pollueur poursuivent des objectifs différents. Le régulateur veut une réduction de pollution à moindres coûts, c'est un bienfait collectif qui l'intéresse, alors que l'entreprise recherche le plus grand profit possible, c'est son intérêt particulier. Aussi l'entreprise peut-elle s'opposer au régulateur en objectant que la régulation l'exclura du marché en raison de coûts excessifs de dépollution. Le problème que pose ce conflit d'intérêt est encore accru par l'asymétrie d'information entre le régulateur et l'entreprise. Le régulateur peut toujours demander à l'entreprise de lui communiquer ses coûts véritables de dépollution. Si les entreprises anticipent que leurs réponses serviront à déterminer les niveaux optimaux de pollution à respecter, chacune a une incitation forte à mentir. Ainsi, une entreprise souhaitera faire croire que ses coûts de dépollution sont très

élevés, dans l'espoir qu'elle sera autorisée à polluer plus qu'elle ne le ferait si le régulateur savait la vérité. Celui-ci, en outre, devrait se douter que les entreprises suivent cette logique. Si le régulateur veut obtenir la vérité des entreprises sur leur impact environnemental, il doit les empêcher de bluffer, et pour cela leur fournir des incitations à dire la vérité.

Considérons un environnement dans lequel une agence environnementale ne sait pas si l'indice de pollution d'un producteur est faible ou élevé. La bonne régulation consiste alors à ce que le producteur trouve intérêt à dire la vérité. C'est un problème d'incitation. L'incitation à ne pas dissimuler l'indice véritable de pollution est une contrainte supplémentaire dans le mécanisme de régulation. La solution consiste à compenser d'une manière ou d'une autre le producteur qui est tenté de mentir – c'est en général celui pour qui polluer est le plus rentable – de manière à ce que la vérité soit préférable quel que soit l'indice de pollution du producteur. Il faut une "récompense" pour faire admettre que le niveau de pollution est très élevé, et cette récompense doit être aussi faible que possible tout en rendant avantageux de dire la vérité.

Pour illustrer cela, on considère le marché d'un bien ou d'un service fourni par une entreprise polluante suivant un processus de production tel que le coût total est $c(q, \varepsilon) = c(\varepsilon)q$, où q est la quantité produite et $\varepsilon > 0$ un indice de pollution – par exemple, ε est un taux d'utilisation d'engrais chimiques dans la culture de la terre, un taux d'usure des sols, un taux d'émission de gaz à effet de serre par unité produite, une mesure de biodégradabilité pour l'emballage des produits, etc. – Le coût de production dépend de l'intensité polluante du produit et réduire la pollution accroît ce coût de plus en plus, ce que traduisent les hypothèses: $c'(\varepsilon) < 0$ et $c''(\varepsilon) > 0$. Autrement dit, un indice de pollution faible ε_v qui caractérise une entreprise verte (l'indice v évoquera le terme "vert" par opposition à l'indice b utilisé pour "brun") suppose des coûts de production importants dus à un gros effort accompli pour dépolluer. De surcroît, plus forte est la pollution, plus il est coûteux de dépolluer car les efforts déjà fournis en ce sens sont faibles. L'entreprise génère un niveau e d'émissions polluantes, supposé être strictement proportionnel à la quantité produite: $e = \varepsilon q$, faisant de ε le taux de pollution par unité produite. Le dommage causé à l'environnement dépend indirectement de la quantité de bien par l'intermédiaire du processus polluant. Pour en tenir compte, on note $\mathcal{D}(e)$ la mesure du dommage causé par la pollution, et donc $\varepsilon \mathcal{D}_m(e)$ exprimera le dommage marginal par unité q de production. Le bien polluant est échangé sur un marché concurrentiel, ce qui implique que l'allocation du bien socialement efficace q^* doit vérifier l'égalité $u_m(q^*) = c(\varepsilon) + \varepsilon \mathcal{D}_m(\varepsilon q^*)$, où $u_m(q)$ est l'utilité marginale du consommateur (le surplus brut).

Soit T une taxe fixe imposée aux entreprises par le régulateur. Elle génère un revenu fiscal éventuellement utile pour atténuer des inefficacités présentes dans l'économie ou financer les coûts fixes d'infrastructure publique, ce qui accroît le bien-être social.

La combinaison taxe-quantité pour la solution de premier rang (information parfaite) Le profit de l'entreprise est

$$P(q)q - c(\varepsilon)q - T, \tag{85}$$

où $P(q)$ est la fonction de demande inverse qui donne le prix $P(q)$ auquel les consommateurs demandent la quantité produite q , et T est un transfert d'argent entre l'entreprise et le consommateur: une taxe si $T > 0$ ou une subvention si $T < 0$.

Le surplus des consommateurs est

$$u(q) - \mathcal{D}(\varepsilon q) - P(q)q + T, \quad (86)$$

où $u(q) = \int_0^q P(x)dx$, la surface sous la courbe de demande, représente l'utilité totale de la quantité q pour les consommateurs.

Considérons le cadre d'information complète dans lequel le régulateur observe parfaitement le coût de production et la pollution émise par l'entreprise. Le régulateur offre à l'entreprise une combinaison taxe-quantité qui génère le plus grand bien-être social possible. Cette combinaison est une offre "à prendre ou à laisser": l'entreprise a le choix entre payer la taxe et produire la quantité qui va avec, ou ne rien payer ni produire. Le régulateur contrôle aussi que le revenu obtenu par la vente du produit couvre au moins les coûts de l'entreprise, nets du paiement de la taxe.

Programme du régulateur:

$$\max_{q,T} u(q) - \mathcal{D}(\varepsilon q) - P(q)q + T + \beta(P(q)q - c(\varepsilon)q - T) \quad (87)$$

sous contrainte de rationalité individuelle (*RI*) que $P(q)q - c(\varepsilon)q - T \geq 0$.

Le paramètre $\beta \in [0, 1]$ est un poids mis sur le surplus du producteur dans la fonction de bien-être. Ce poids peut être inférieur à 1, par exemple si le régulateur constate que tous les actionnaires de l'entreprise ne résident pas dans sa juridiction alors que tous les consommateurs oui. Un autre cas de figure est que le mandat du régulateur environnemental ne requiert pas qu'il prenne en compte l'effet de sa politique sur les profits des entreprises, sauf si cette politique conduit à fermer l'entreprise.

Comme $\beta \leq 1$, la taxe doit être la plus forte possible et donc saturer la contrainte *RI*:

$$T = P(q)q - c(\varepsilon)q \quad (88)$$

La condition de maximisation indique alors:

$P(q) - c(\varepsilon) - \varepsilon \mathcal{D}_m(\varepsilon q) = 0$, ce qui donne l'allocation du bien socialement efficace:

$$P(q^*) - c(\varepsilon) = \varepsilon \mathcal{D}_m(\varepsilon q^*) \quad (89)$$

Le profit marginal doit être égal au dommage marginal causé par les émissions. Le prix optimal incorpore le dommage marginal comme une taxe implicite qui encourage la réduction d'émissions polluantes.

Dans le cas d'une taxe proportionnelle aux émissions polluantes $T(q) = te = t\varepsilon q = (P(q) - c(\varepsilon))q$, on retrouve la règle de Pigou (1936): $t = \mathcal{D}_m(\varepsilon q)$, une taxe sur chaque unité de pollution émise doit être égale au dommage marginal pour restaurer une allocation efficace des ressources sur le marché.

La combinaison taxe-quantité pour la solution de second rang (information asymétrique)

Examinons à présent le cas d'information asymétrique dans lequel le régulateur n'observe pas le coût de production d'une entreprise, ni les émissions polluantes associées à ce coût, ni donc l'effort de dépollution qu'a fait l'entreprise. L'indice ε est connu de l'entreprise mais pas du régulateur dont l'information se limite à connaître la distribution de probabilité suivante:

avec la probabilité α , l'entreprise est très polluante, d'où un coût marginal de production faible $c(\varepsilon_b)$, sinon l'entreprise est peu polluante avec la probabilité $1 - \alpha$, ce qui suppose un coût marginal de production élevé $c(\varepsilon_v)$, et donc $c(\varepsilon_b) < c(\varepsilon_v)$.

En raison de l'asymétrie d'information, le régulateur ne peut plus proposer aux entreprises la combinaison taxe-quantité de premier rang correspondant à leur type de coût, car certaines d'entre elles pourraient être tentées de choisir la "mauvaise" combinaison, c'est-à-dire celle qui n'est pas destinée à leur type. Plus précisément, dans la logique de premier rang, l'entreprise la plus polluante b devrait accepter l'offre (T_b, q_b) calibrée pour son type, qui réduit son profit à zéro par saturation de RI_b :

$$P(q_b)q_b - c(\varepsilon_b)q_b - T_b = 0. \quad (90)$$

Néanmoins, ce type d'entreprise peut obtenir un profit plus élevé en se faisant passer pour une entreprise verte par le choix de (T_v, q_v) . Elle obtient en effet $P(q_v)q_v - c(\varepsilon_b)q_v - T_v$ avec une combinaison calculée pour saturer la contrainte RI_v :

$$P(q_v)q_v - c(\varepsilon_v)q_v - T_v = 0. \quad (91)$$

Comme $T_v = P(q_v)q_v - c(\varepsilon_v)q_v$, l'entreprise de type b ramasse un profit strictement positif, égal à $(c(\varepsilon_v) - c(\varepsilon_b))q_v$, en optant pour (T_v, q_v) plutôt que (T_b, q_b) .

Une difficulté nouvelle se pose au régulateur qui doit contrecarrer la tentation qu'a l'entreprise de se faire passer pour le type qu'elle n'est pas en proposant une combinaison taxe-quantité appropriée. En plus des précédentes contraintes RI , deux contraintes de compatibilité des incitations (CI) viennent maintenant s'ajouter au problème du régulateur. Le régulateur choisit un ensemble de combinaisons taxe-quantité (T_i, q_i) parmi tous les types i que l'entreprise peut annoncer et, en réponse, l'entreprise sélectionne un type. Le principe de révélation simplifie la détermination du choix optimal du régulateur, en focalisant l'étude sur la classe des combinaisons taxe-quantité qui rendent les incitations compatibles.

Programme du régulateur

$$\begin{aligned} \max_{q_b, T_b, q_v, T_v} \quad & \alpha [u(q_b) - \mathcal{D}(\varepsilon_b q_b) - P(q_b)q_b + \beta(P(q_b)q_b - c(\varepsilon_b)q_b) + (1 - \beta)T_b] \\ & + (1 - \alpha) [u(q_v) - \mathcal{D}(\varepsilon_v q_v) - P(q_v)q_v + \beta(P(q_v)q_v - c(\varepsilon_v)q_v) + (1 - \beta)T_v] \end{aligned} \quad (92)$$

sous contrainte

$$\begin{cases} P(q_i)q_i - c(\varepsilon_i)q_i - T_i \geq 0, (RI_i) \\ P(q_i)q_i - c(\varepsilon_i)q_i - T_i \geq P(q_j)q_j - c(\varepsilon_i)q_j - T_j, i \neq j, (CI_i) \end{cases} \quad (93)$$

pour $i = b, v$

En guise de préliminaire, on vérifie que l'entreprise la plus polluante doit produire plus que l'entreprise verte: $q_v \leq q_b$.

En ajoutant (CI_b) et (CI_v) , on obtient

$$P(q_v)q_v - c(\varepsilon_v)q_v - (P(q_v)q_v - c(\varepsilon_b)q_v) \geq P(q_b)q_b - c(\varepsilon_v)q_b - (P(q_b)q_b - c(\varepsilon_b)q_b) \quad (94)$$

$$c(\varepsilon_v)(q_b - q_v) \geq c(\varepsilon_b)(q_b - q_v) \quad (95)$$

Comme $c(\varepsilon_b) < c(\varepsilon_v)$, on peut déduire que $q_v \leq q_b$.

Montrons à présent que les contraintes (CI_b) and (RI_v) sont saturées pour la solution du problème posé au régulateur, c'est-à-dire

$$P(q_b)q_b - c(\varepsilon_b)q_b - T_b = P(q_v)q_v - c(\varepsilon_b)q_v - T_v \quad (96)$$

$$P(q_v)q_v - c(\varepsilon_v)q_v - T_v = 0 \quad (97)$$

Cela peut se démontrer par l'absurde. Supposons ainsi que ces deux contraintes ne soient pas saturées par la solution du problème. Le régulateur pourrait alors augmenter T_b ou (et) T_v d'un faible montant de manière à ne pas changer la segmentation du marché: l'entreprise la plus polluante n'est pas tentée par la combinaison (T_v, q_v) prévue pour l'entreprise verte, qui elle en accepte l'offre. Cela accroîtrait le bien-être social et contredirait que la solution considérée maximise ce bien-être.

Ainsi les deux contraintes (CI_b) et (RI_v) sont bien saturées. L'égalité (96) signifie que la taxe proposée à l'entreprise la plus polluante est juste assez forte pour l'inciter à produire la quantité correspondant à son type. Quant à l'égalité (97), elle dit que le régulateur ne laisse aucune rente à l'entreprise verte.

Il s'avère par ailleurs que les deux autres conditions (RI_b) et (CI_v) ne sont pas contraignantes.

Tout d'abord, la saturation des contraintes (CI_b) et (RI_v) implique

$$P(q_b)q_b - c(\varepsilon_b)q_b - T_b = c(\varepsilon_v)q_v - c(\varepsilon_b)q_v > 0 \quad (98)$$

pour $q_v > 0$. Donc la contrainte (RI_b) est nécessairement vérifiée si la solution recherchée est intérieure, et le régulateur doit faire à l'entreprise de type b une offre qui lui laisse une rente positive, à la différence de la solution de premier rang.

Ensuite, d'après (96), on peut réécrire la contrainte (CI_v) sous la forme

$$P(q_v)q_v - c(\varepsilon_v)q_v - (P(q_b)q_b - c(\varepsilon_v)q_b) \geq T_v - T_b = P(q_v)q_v - c(\varepsilon_b)q_v - (P(q_b)q_b - c(\varepsilon_b)q_b) \quad (99)$$

soit encore

$$c(\varepsilon_v)(q_b - q_v) \geq c(\varepsilon_b)(q_b - q_v) \quad (100)$$

Or, cette dernière inégalité est satisfaite puisqu'on a vu précédemment que $q_v \leq q_b$.

Après élimination des contraintes qui ne sont pas effectives, il suffit de prendre en compte les deux contraintes saturées (CI_b) et (RI_v) pour résoudre le programme de maximisation du régulateur. Les deux égalités (96) et (97) permettent de simplifier ce programme par substitution de T_b et T_v dans la fonction objectif. On obtient un programme réduit où les seules variables de décision sont les quantités $\{q_b, q_v\}$:

$$\begin{aligned} \max_{q_b, q_v} & \alpha [u(q_b) - \mathcal{D}(\varepsilon_b q_b) - P(q_b)q_b + \beta(P(q_b)q_b - c(\varepsilon_b)q_b)] \\ & + (1 - \beta)(P(q_b)q_b - c(\varepsilon_b)q_b - c(\varepsilon_v)q_v + c(\varepsilon_b)q_v)] \\ & + (1 - \alpha) [u(q_v) - \mathcal{D}(\varepsilon_v q_v) - c(\varepsilon_v)q_v] \end{aligned} \quad (101)$$

Les conditions du premier ordre pour une solution intérieure sont

$$P(q_b) - c(\varepsilon_b) = \varepsilon_b \mathcal{D}_m(\varepsilon_b q_b) \quad (102)$$

$$P(q_v) - c(\varepsilon_v) = \varepsilon_v \mathcal{D}_m(\varepsilon_v q_v) + \frac{\alpha}{1 - \alpha} (1 - \beta) (c(\varepsilon_v) - c(\varepsilon_b)) \quad (103)$$

En comparaison de (89), la condition (102) est identique à celle caractérisant la solution de premier rang pour l'entreprise de type b : la valeur sociale du profit marginal doit être égale au dommage marginal causé par les émissions. Le régulateur incite donc l'entreprise la plus polluante à produire autant qu'en information parfaite. Pour cela, le régulateur a recours au transfert déterminé par l'égalité (96)

$$T_b = P(q_b)q_b - c(\varepsilon_b)q_b + (c(\varepsilon_b) - c(\varepsilon_v))q_v \quad (104)$$

Ce transfert au consommateur est d'un niveau inférieur à celui de premier rang car le régulateur doit laisser un peu de rente à l'entreprise b , juste assez pour qu'elle n'ait pas intérêt à choisir la combinaison destinée à l'entreprise verte v .

Pour $\beta < 1$, la condition (103) indique que le régulateur doit inciter l'entreprise verte à faire une marge de profit supérieure au dommage marginal, et donc produire moins qu'en situation d'information parfaite. Le régulateur doit donc réduire la production de l'entreprise verte pour rendre la combinaison (T_v, q_v) moins attractive pour l'entreprise plus polluante jusqu'à dissuader celle-ci d'adopter cette combinaison.

Problème 7: Régulation du transport de marchandises

Le transport de marchandises est assuré par des entreprises dont le coût marginal de production est $c_i q$, où q est la distance parcourue quotidiennement par une entreprise. Chaque entreprise émet des gaz à effet de serre en quantité $e = \varepsilon_i q$, où ε_i est le taux de pollution unitaire. Il y a deux types d'entreprises, répartis à égalité dans l'économie: celles de type $i = 1$ tel que $c_1 = 1$ et $\varepsilon_1 = \frac{1}{2}$, et celles de type $i = 2$ tel que $c_2 = 0$ et $\varepsilon_2 = 1$. Le dommage causé à l'environnement est $\mathcal{D}(e) = \frac{e^2}{2}$. Le transport est vendu à des acheteurs qui en retire une utilité de la forme $u(q) = \theta q - q^2/2$. Le régulateur offre à l'entreprise une combinaison taxe-quantité (T, q) où T représente le transfert d'argent fixe entre l'entreprise et les acheteurs. On note $\beta < 1$ le poids mis par le régulateur sur le profit des entreprises dans la fonction de bien-être. Le régulateur n'observe pas le coût de production d'une entreprise, ni les émissions polluantes associées à ce coût,

53. Montrer que la fonction de demande inverse pour le transport est $P(q) = \theta - q$, et le profit d'une entreprise de type i est $(\theta - q)q - c_i q - T$. Ecrire le surplus des acheteurs.
54. Si l'information était parfaite, quel contrat de premier rang (q_i^*, T_i^*) , $i = 1, 2$, le régulateur proposerait-il aux entreprises?
55. Ecrire le programme du régulateur en information asymétrique, les contraintes de rationalité individuelle (RI) et de compatibilité des incitations (CI) qui s'imposent aux entreprises dans une approche de second rang.
56. D'après les contraintes précédentes, montrer que la solution de second rang est telle que $q_1 \leq q_2$.
57. Montrer que la contrainte RI des entreprises de type 1 et la contrainte CI des entreprises de type 2 sont saturées.
58. Montrer que la condition RI des entreprises de type 2 et la condition CI des entreprises de type 1 ne sont pas contraignantes.

59. Calculer les contrats que le régulateur propose aux entreprises. Comparer ces contrats avec ceux de premier rang.

Références

References

- [1] **Akerlof, G. A.** 1970. The Market for ‘Lemons’: Qualitative Uncertainty and the Market Mechanism, *Quarterly Journal of Economics* 84, 488–500.
- [2] **Amacher, G. S., E. Koskela, and M. Ollikainen.** 2004. Environmental Quality Competition and Eco-Labeling, *Journal of Environmental Economics and Management* 47, 284–306.
- [3] **Bagwell, K., and M. H. Riordan.** 1991. High and Declining Prices Signal Product Quality, *American Economic Review* 81, 224–239.
- [4] **Baron, D. P.** 2010. Morally Motivated Self-Regulation, *American Economic Review* 100, 4, 1299–1329.
- [5] **Baron, D. P.** 1985. Regulation of Prices and Pollution under Incomplete Information, *Journal of Public Economics* 28, 211-231.
- [6] **Baron, D. P.** 2010. Morally Motivated Self-Regulation, *American Economic Review* 100, 4, 1299–1329.
- [7] **Besley, T., and M. Ghatak.** 2007. Retailing Public Goods: The Economics of Corporate Social Responsibility, *Journal of Public Economics* 91, 9, 1645–1663.
- [8] **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.
- [9] **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.
- [10] **Bovenberg, A., and R. A. de Mooij.** 1994. Environmental levies and distortionary taxation, *American Economic Review* 84, 1085–1089.
- [11] **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)
- [12] **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

- [13] **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
- [14] **Coase, R.** 1960. The Problem of Social Cost, *Journal of Law and Economics* 3, 1–44.
- [15] **Cornes, R., and T. Sandler.** 1983. On Commons and Tragedies, *American Economic Review* 87, 787–792.
- [16] **Darby, M. R., and E. Karni.** 1973. Free Competition and the Optimal Amount of Fraud, *The Journal of Law & Economics* 16, 1, 67–88.
- [17] **Fullerton, D. and R. Stavins.** 1998. How Economists See the Environment, *Nature*, 433-434.
- [18] **Gaudet, G.** 2007. Natural Resource Economics under the Rule of Hotelling, *Canadian Journal of Economics*, 40, 1033-1059.
- [19] **Gordon, H. S.** 1954. The Economic Theory of a Common-Property Resource: The Fishery, *Journal of Political Economy*, 62, 2, 124-142
- [20] **Hanley, N., J. F. Shogren, and B. White.** 2007. Environmental Economics in Theory and Practice, Palgrave Macmillan.
- [21] **Haverman, R.** 1973. Common Property, Congestion and Environmental Pollution, *Quarterly Journal of Economics* 87, 278–287.
- [22] **Hotelling, H.** 1931. The Economics of Exhaustible Resources, *Journal of Political Economy*, 39, 2, 137–175.
- [23] **Jacquet, J., D. Pauly, D. Ainley, S. Holt, and J. Jackson.** 2010. Seafood Stewardship in Crisis, *Nature* 467, 28–29, doi:10.1038/467028a.
- [24] **Kihlstrom, R. E. and M. H. Riordan.** 1984. Advertising as a Signal, *Journal of Political Economy*, 92, 3, 427–450.
- [25] **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.
- [26] **Mahenc, P.** 2007. Are Green Products Over-Priced?, *Environmental and Resource Economics*, 38(4), 461-473
- [27] **Mahenc, P.** 2008. Signalling the Environmental Performance of Polluting Products, *International Journal of Industrial Organization* 26(1), 59-68.
- [28] **Milgrom, P., and J. Roberts.** 1986. Price and Advertising Signals of Product Quality, *Journal of Political Economy* 94, 796–821.
- [29] **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.

- [30] **Nordhaus, W.** 2008. A Question of Balance. Weighing the Options on Global Warming Policies, Yale University Press.
- [31] **Pigou, A. C.** 1920. The Economics of Welfare.
- [32] **Schaefer, M.B.** 1957. Some Considerations of Population Dynamics and Economics in Relation to the Management of the Commercial Marine Fisheries, *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 14(5), 669-681
- [33] **Shaked, A. and J. Sutton.** 1982. Relaxing Price Competition through Product Differentiation, *Review of Economic Studies* 49, 3–13.
- [34] 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.
- [35] **Spence, A. M.** 1973. Job Market Signalling, *Quarterly Journal of Economics* 87, 355–374.
- [36] **Stavins R. N.** 2011. The Problem of the Commons: Still Unsettled after 100 Years, *American Economic Review*, 101, 141-188
- [37] **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.
- [38] **Wasik J. F.** 1996. Green Marketing and Management: a Global Perspective. Blackwell Publishers, Inc, Cambridge
- [39] **Weitzman, M.** 1974. Free Access vs. Private Ownership as Alternative Systems of Managing Common Property, *Journal of Economic Theory* 8, 225–234.
- [40] **Worm B. et alii.** 2006. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services, *Science* 3, Vol. 314. n° 5800, 787–790.
- [41] **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.

Problème 8: Signal par le prix qu'on sera là demain

Un producteur en monopole met en vente une nouvelle variété d'un bien sur le marché, dont la qualité environnementale n'est pas connue des consommateurs avant achat. A priori, les consommateurs pensent qu'il y a une chance sur trois pour que le produit soit "vert", c'est à dire de bonne qualité environnementale, et deux chances sur trois que le produit soit conventionnel. Tous les consommateurs sur le marché sont identiques. Ils ont un surplus $r - p$ pour un produit vert vendu au prix p (r est le prix maximum qu'ils sont prêts à payer pour un tel produit) et un surplus de $-p$ si le produit vendu au prix p est conventionnel. Le coût moyen de production est égal à $c > 0$ pour un produit conventionnel, et le double pour un produit vert. Le produit est vendu à deux dates ($t = 1$ et 2). Le facteur d'escompte

entre les deux dates est égal à 1. On considère que seuls les consommateurs qui ont acheté à la première date, achètent de nouveau à la seconde date. La qualité environnementale du produit est parfaitement identifiée en $t = 2$ par ceux qui ont acheté en $t = 1$. On suppose qu'il est socialement efficace de mettre en vente le produit vert.

60. Quel est le prix maximum que les consommateurs sont prêts à payer lorsqu'ils ne savent pas si le produit est vert ou non?
61. Qu'est-ce qu'un équilibre séparateur? Qu'est-ce qu'un équilibre mélangeant?
62. Comment formuler mathématiquement l'hypothèse qu'il est socialement efficace de mettre en vente le produit vert?
63. Quel prix fixe le monopole en $t = 2$?
64. Montrer que le profit total du monopole qui vend un produit vert au prix p est $p+r-4c$. Quel est le profit du monopole qui vend un produit conventionnel au prix p ?
65. Quel prix maximum permet au monopole de signaler que son produit est vert en $t = 1$? En déduire une condition nécessaire liant r et c pour qu'il existe un équilibre séparateur. Comment évolue alors le prix du produit vert dans le temps? Commenter.
66. Quel serait le prix maximum non-informatif dans un équilibre mélangeant? Quel profit total exprimé en fonction de r et c donnerait-il au monopole sur les deux périodes? Peut-il exister un équilibre mélangeant lorsqu'il n'existe pas d'équilibre séparateur?
67. Que se passe-t-il lorsque $r < 3c$? Commenter.