Autorisation de Mise sur le Marché, Taxe Générale sur les Activités Polluantes et incitation à investir en R&D dans l'agrochimie

Joel Aka[*], Stéphane Lemarié[†]

Septembre 2014

Proposition de communication aux 8èmes Journées de Recherches en Sciences Sociales (JRSS), décembre 2014

Résumé

La question centrale de ce papier est celle de l'impact de la régulation sur les incitations à investir en R&D des firmes évoluant dans l'agrochimie. Pour étudier cette question, nous développons un modèle simple d'économie industrielle avec trois acteurs : un monopole qui investit en recherche pour créer un pesticide, des agriculteurs qui peuvent être amenés à acheter le pesticide pour améliorer leur productivité et un régulateur qui prend en compte l'externalité générée par le pesticide. Nous nous intéressons ici à deux mécanismes de régulation que sont l'autorisation de mise sur le marché (AMM) et la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) qui est appliquée aux pollutions diffuses d'origine agricole.

Nous montrons que l'AMM conduit à des pesticides plus performants et moins toxiques que la TGAP. Pour autant, la TGAP peut conduire à un surplus plus important sous certaines conditions. En particulier lorsque la taille de marché du pesticide est suffisamment faible. En outre, une extension de ce modèle est faite avec une offre par un duopole différencié. Les résultats obtenus avec cette structure de duopole ont été comparés avec ceux obtenus dans le modèle avec une firme mais uniquement lorsque les firmes sont régulées par une AMM. On montre qu'avec une AMM et lorsqu'une ou deux firmes peuvent être présentes sur le marché, le régulateur fixe un niveau d'AMM qui conduit à une structure de monopole si l'ampleur de l'externalité est élevée ou si la taille de marché est petite.

Mots clés : Régulation des innovations, Incitations à investir en R&D, agrochimie.

[*]Doctorant en économie, UMR GAEL-INRA (Grenoble)

[†]UMR GAEL-INRA, (Grenoble)

1 Introduction

Les pesticides sont des produits qui permettent de lutter contre une population d'organismes considérés comme nuisibles. Ces organismes nuisibles peuvent être des insectes, des plantes indésirables, ou des champignons. On distingue trois principaux segments de marché pour ces produits, ce sont : les fongicides qui agissent sur les champignons, les herbicides dont l'action porte sur les mauvaises herbes et les insecticides qui agissent sur les insectes et les acariens. Ce faisant, ces produits phytosanitaires favorisent une meilleure productivité de l'agriculture et permettent aux cultivateurs de recueillir le fruit de leurs investissements. Cependant, leur usage peut être dangereux à la fois pour l'homme et l'environnement. Pour les humains, l'exposition aux pesticides peut avoir des effets sur la santé des agriculteurs et des consommateurs qui ingèrent les résidus de pesticides dans les aliments (Daniels et al., 1997; Dich et al., 1997). Pour l'environnement, ces produits peuvent non seulement entraîner une contamination des eaux souterraines et de surface (Turgut and Fomin, 2002a,b), mais aussi avoir des effets sur des espèces non cibles telles que les abeilles. .

Ces effets potentiellement néfastes de l'emploi des pesticides ont conduit à un renforcement des contraintes imposées au niveau européen pour la commercialisation et l'usage de ces produits. Par exemple, le nombre de molécules pesticides autorisées a été réduit de moitié (de 800 à 400) au cours des dix dernières années (Karabelas et al., 2009). Ces exigences renforcées peuvent conduire à un accroissement des coûts de recherche des entreprises, soulevant ainsi une question intéressante au sujet des effets économiques de la régulation de produits innovants. Cela dit, l'objet principal de ce papier est d'analyser l'impact de la régulation sur les incitations des firmes à investir en R&D dans le secteur de l'agrochimie (Montero, 2002a,b; Requate and Unold, 2003). Pour effectuer cette analyse, nous développons un modèle avec trois acteurs : un monopole qui investit en recherche pour créer un pesticide, des agriculteurs qui peuvent être amenés à acheter le pesticide pour améliorer leur productivité et un régulateur qui prend en compte l'externalité générée par le pesticide. Dans ce papier, nous nous intéressons à deux mécanismes de la régulation des innovations de produits dans l'industrie agrochimique. Ce sont, l'autorisation de mise sur le marché (AMM) qui consiste à vérifier que le pesticide n'a pas d'effets toxiques inacceptables sur la santé et l'environnement et la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) qui est appliquée aux pollutions diffuses d'origine agricole [1] . Ces deux instruments présentent des caractéristiques similaires à ceux utilisés dans la régulation environnementale. En particulier, l'AMM s'apparente ici à un mécanisme de régulation de type "command and control" (Downing and White, 1986; Innes and Bial, 2002; Jung et al., 1996; Milliman and Prince, 1989; Montero, 2002a,b; Requate and Unold, 2003; Parry, 1998) avec la facette "command" qui renvoie

1. Depuis le 1er janvier 2000, le principe pollueur-payeur est appliqué aux pollutions diffuses d'origine agricole par la création d'une « pollutaxe » sur les produits phytosanitaires dans le cadre de la TGAP.

au respect des normes de toxicité et la facette "control" qui consiste à vérifier l'absence d'usage illégal. La TGAP est un instrument fondé sur le marché qui agit sur les prix en les modifiant (Amacher and Malik, 2002; Biglaiser and Horowitz, 1995; Downing and White, 1986; Innes and Bial, 2002; Jung et al., 1996; Milliman and Prince, 1989; Montero, 2002b; Requate and Unold, 2001, 2003; Parry, 1995, 1998) . Il s'agit d'une mesure qui complète l'instrument de base qui est la procédure d'AMM. Elle vise à inciter les firmes agrochimiques à développer des produits moins toxiques. Pour ce faire, elle spécifie une taxe différenciée selon les caractéristiques des produits en matière de toxicité/écotoxicité.

Pour mieux comprendre et contraster les effets économiques induits par chacun de ces deux instruments, nous les considérons séparément quoiqu'une analyse conjointe permettrait d'atteindre plus facilement l'objectif de maximisation du surplus. Aussi, conformément à la règle de Tinbergen (1952), nous considérons que le régulateur mobilise exactement autant d'instruments qu'il a d'objectifs. Ceci dit, nous supposons qu'à un objectif consistant à réduire les externalités négatives engendrées par l'usage des pesticides, le régulateur peut faire correspondre soit l'AMM ou la TGAP, mais pas les deux à la fois. Tout ceci dépend de la cible du régulateur, qui peut alléger l'externalité en limitant l'usage des pesticides par les agriculteurs ou en contraignant les firmes à fabriquer des produits moins toxiques.

Notre modèle a quelques affinités avec ceux de David and Sinclair-Desgagne (2005, 2010); David et al. (2011); Canton et al. (2008). Ces papiers portent sur le choix de la politique environnementale en présence d'une éco-industrie oligolistique. Le terme éco-industrie fait référence à une industrie productrice de technologies de dépollution. Il convient de noter que le contexte qui sous-tend les modèles utilisés dans ces papiers est différent de celui qui encadre notre modèle. Ces papiers utilisent des modèles avec trois acteurs : un régulateur qui cherche à réduire l'externalité négative générée par la production de certains biens, une firme polluante et une éco-entreprise qui développe des technologies de dépollution. Nous avons aussi trois acteurs, cependant, l'une des particularités de notre article vient du fait que c'est l'agriculteur qui pollue et non la firme agrochimique qui fabrique le pesticide. C'est pourquoi notre modèle prend en compte les agriculteurs et nous supposons qu'ils ont une fonction d'utilité de type Mussa-Rosen (Mussa and Rosen, 1978). De plus, nous tenons compte de la taille du marché du pesticide.

Nous montrons que l'AMM conduit à des pesticides plus performants et moins toxiques que la TGAP. Ce résultat s'explique par le fait que le profit brut marginal de la firme baisse avec l'introduction de la TGAP. En ce qui concerne l'AMM, elle est certes une contrainte, mais elle ne réduit pas le profit brut du monopole.

Pour autant, la TGAP peut dans certains cas, conduire à un surplus plus important que l'AMM, en particulier pour de petites tailles de marché. L'intuition ici est que la TGAP à deux effets. Elle incite les firmes à avoir un produit moins toxique et elle limite l'usage du pesticide par les agriculteurs. L'AMM n'a que le premier effet. Elle n'affecte pas l'usage.

Enfin, une extension de ce modèle est faite avec une offre par un duopole différencié. Les résultats obtenus dans ce cadre théorique ont été comparés avec ceux obtenus dans le modèle de base mais uniquement lorsque les firmes sont régulées par une AMM. Nous nous demandons ici si une structure de monopole ne serait pas plus intéressante qu'une structure de duopole. On montre qu'avec une AMM et lorsqu'une ou deux firmes peuvent être présentes sur le marché, le régulateur fixe un niveau d'AMM qui conduit à une structure de monopole si l'ampleur de l'externalité est élevée ou si la taille de marché est petite.

Le reste du papier est organisé comme suit : la section 2 est consacrée à une revue de la littérature traitant de l'effet des instruments de la politique environnementale sur les incitations à innover. La section 3 présente le modèle et les principales hypothèses. Dans la section 4, nous décrivons l'équilibre sous différents scénarios à savoir l'équilibre quand le monopole n'est pas régulé, celui avec une AMM ou avec une TGAP. La section 5 examine les effets de chaque instruments sur les incitations à investir en R& D et en termes de bien-être social. Enfin la section 6 conclut le papier.

2 Revue de la littérature

La question de l'impact de l'Autorisation de mise sur le marché (AMM) et de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP) sur les incitations à investir en R& D des firmes évoluant dans le secteur de l'agrochimie est à notre connaissance très peu traitée. Cependant, la problématique des incitations fournies par les instruments de la politique environnementale pour l'adoption ou le développement d'une nouvelle technologie, a été l'objet d'une littérature abondante en économie de l'environnement (Requate, 2005) [2]. Une part importante de cette littérature compare l'effet sur les incitations des firmes à investir en R&D de différents instruments de la politique environnementale (Downing and White, 1986; Jung et al., 1996; Milliman and Prince, 1989). Pour ce faire, les papiers issus de ce sous-ensemble tiennent compte des économies de coûts totaux réalisées par une industrie pour l'adoption une nouvelle technologie. Ces économies de coûts totaux sont utilisées comme critère de classement des politiques de contrôle de la pollution. En revanche, ces articles ignorent les incitations des firmes à adopter de nouvelles technologies, lorsqu'on les prend individuellement. De façon générale, ces travaux montrent que, les mécanismes de régulation de type "command and control" tels que les normes d'émission et d'efficacité, fournissent moins d'incitation comparés aux instruments de la politique environnementale fondés sur le marché tels que les permis d'émission négociables et la taxe (van den Bergh et al., 2011). Par exemple, Downing and White

2. Ce papier présente une synthèse de la littérature au sujet des incitations fournies par les instruments de la politique environnementale avec l'adoption ou le développement d'une nouvelle technologie.

(1986); Jung et al. (1996); Milliman and Prince (1989) montrent que les permis d'émission négociables et la taxe peuvent fournir des incitations plus fortes à long terme que les normes d'émission si le régulateur est myope, c'est-à-dire s'il n'anticipe pas l'apparition de la nouvelle technologie. La raison est que lorsque la nouvelle technologie est diffusée, le prix du permis baisse. Les firmes détentrice d'une vieille technologie seront par conséquent moins incitées à investir dans une technologie moins polluante. Par contre, si le gouvernement peut anticiper la nouvelle technologie ou s'il est capable de réagir de façon optimale, les politiques de taxation et d'émission de permis négociables sont presqu'équivalentes (Amacher and Malik, 2002; Requate and Unold, 2001, 2003) . Malueg (1989) est moins cohérent avec les papiers cités plus haut. Dans un cadre théorique similaire à celui de Downing and White (1986), Il montre que sous certaines conditions, un permis négociable peut produire une incitation plus faible qu'un instrument de type "command and control" équivalent. En particulier, lorsqu'une entreprise est un acheteur de crédits d'émission à la fois avant et après avoir investi dans une technologie de dépollution, une norme d'émission permet de réaliser plus d'économies des coûts de réduction des émissions.

Tous ces papiers supposent de façon explicite ou implicite une concurrence pure et parfaite. Montero (2002a); Requate and Unold (2003) se sont intéressés à des situations où la concurrence est imparfaite. Ils aboutissement à un classement ambigu des différentes politiques environnementales. Concrètement, Montero (2002a) montre que les normes d'émission peuvent être plus incitatives que les permis négociables et ce, parce que les incitations à investir en R&D dépendent d'effets direct et stratégique. Par contre, si les marchés sont parfaitement concurrentiels, les permis négociables conduisent à des incitations qui sont similaires à celles offertes par les normes d'émission mais supérieures à celles offertes par les normes d'efficacité. Partant du cadre théorique de Jung et al. (1996); Milliman and Prince (1989), où le régulateur est supposé avoir choisi son instrument sans anticiper l'apparition d'une nouvelle technologie, Requate and Unold (2003) examinent la possibilité d'un comportement stratégique dans la décision d'adoption de technologie des entreprises. Ils montrent que la taxe (et subventions sur la dépollution) offre des incitations à innover plus élevés que tous les autres instruments de la politique environnementale. Cependant, s'il peut anticiper la nouvelle technologie, il peut induire le first-best avec les taxes et permis s'il prend sa décision après que les entreprises aient investi, alors que cela ne se vérifie pas toujours s'il décide avant.

Ces premiers travaux sur l'interaction entre la régulation de l'environnement et le changement technologique ignorent les conséquences de la concurrence imparfaite entre les firmes environnementales (Jung et al., 1996; Milliman and Prince, 1989; Requate and Unold, 2003). Cette question a été abordée récemment par David and Sinclair-Desgagne (2005) qui examinent l'impact de différents instruments sur le pouvoir de marché d'une éco-industrie oligopolistique. Une conclusion importante est que la taxe optimale sur les émissions dans ce contexte doit s'écarter de la règle de Pigou. En d'autres termes, la taxation optimale de la pollution doit être plus grande que le dommage environnemental. Canton et al. (2008) étendent cette analyse à un oligopole de Cournot avec une structure verticale. Ils montrent que si la taxe est le seul instrument de régulation, la taxe optimale dépend du pouvoir de marché existant entre l'éco-industrie et l'industrie polluante au sein de la structure verticale. En outre, David and Sinclair-Desgagne (2010) montrent que l'optimum social peut être atteint si une taxe sur les émissions est combinée avec une subvention de réduction payée pour les entreprises en amont (mais pas si versées aux entreprises en aval). David et al. (2011) partent de l'idée qu'une taxe élévée encourage l'entrée sur le marché de nouvelles firmes environnementales. Ces auteurs montrent que ces entrées n'induisent pas nécessairement plus d'effort de dépollution et des avantages sociaux car une telle taxe, même si elle accroît la demande de technologies de dépollution, rend cette demande très peu élastique. Dans ce contexte, l'entrée sur le marché de ces nouvelles firmes environnementales peut conduire celles déjà installées à réduires leur offre de technologies de dépollution. Le régulateur dans ce cas doit fixer un niveau de taxe inférieur à la taxe pigouvienne.

3 Modèle

Trois types d'acteurs sont considérés dans ce modèle : une firme d'agrochimie qui investit en recherche pour créer un pesticide et qui est supposé être en monopole pour le vendre, des agriculteurs qui peuvent être amenés à acheter le pesticide pour améliorer leur productivité et le régulateur qui cherche à améliorer le bien être social en prenant en compte notamment l'externalité négative générée par le pesticide.

Le pesticide est défini par deux variables : un niveau de performance (x) et un niveau de non-toxicité ($z \in \{0, 1\}$). La demande par les agriculteurs dépend de la performance du produit et nous la représentons ici avec un modèle à la Mussa-Rosen. L'utilité que tire un agriculteur de l'usage du pesticide est $u(x) = \theta x - w$. w est le prix du pesticide qui est fixé par la firme d'agrochimie. L'intérêt du pesticide pour un agriculteur est de limiter les pertes liées à des bioagresseurs (ex : insectes) dont l'ampleur est variables selon les cas. Cette hétérogénéité des gains liés à l'usage des pesticide est prise en compte par le paramètre θ qu'on suppose être distribué de manière uniforme entre 0 et 1, avec une masse d'agriculteurs M. Chaque agriculteur achète le pesticide et utilise une unité de ce produit s'il en tire une utilité supérieure à 0. Sinon, il préfère ne pas utiliser ce produit. La toxicité du pesticide étant une source d'externalité sur l'environnement, il est cohérent de supposer que l'agriculteur ne la prend pas directement en compte dans son choix. Compte tenu de ces hypothèses, on remarque que tous les agriculteurs qui sont tels que $\theta > \hat{\theta}$

achètent le pesticide (avec $\hat{\theta} = w/x$). En conséquence, la demande de pesticide est linéaire et décroissante :

$$D(w) = M\left(1 - \frac{w}{x}\right) \tag{1}$$

Les caractéristiques du produit (x et z) sont endogènes et résultent du choix d'investissement en recherche de la firme d'agrochimie. Le coût de la recherche est fixe et ne dépend que des caractéristiques du produit :

$$I(x, z) = \alpha z^2 + \beta x^2 \tag{2}$$

où α et β sont des paramètres qui définissent les coûts de la recherche et qui reflète donc l'efficacité de l'effort de recherche. Le coût marginal de production du pesticide est normalisé à 0. Le profit de la firme d'agrochimie est donc $w \cdot D(w) - I(x, z)$.

Le régulateur va chercher à limiter l'externalité tout en prenant en compte l'effet de l'usage du produit sur la productivité. On suppose que chaque unité de pesticide utilisée génère une externalité égale à $\gamma(1-z)$ où γ représente l'ampleur de l'externalité environnementale générée par l'usage de pesticide. Le surplus social que le régulateur cherche à maximiser est alors :

$$W = M\int_{\hat{\theta}}^{1} (\theta x - \gamma(1-z))d\theta - I(x, z) \tag{3}$$

Cette maximisation est faite sous contrainte de participation des acteurs économiques, et plus spécifiquement sous la contrainte selon laquelle la firme d'agrochimie dégage un profit positif ou nul.

Pour atteindre cet objectif, le régulateur peut utiliser deux instruments : soit une autorisation de mise sur le marché, soit une taxe.[3] Avec une autorisation de mise sur le marché, le régulateur fixe un seuil minimum de non-toxicité ($\bar{z}$) qui doit être respecté par tout pesticide. En d'autres termes, tout pesticide ne peut être vendu que si $z > \bar{z}$. La taxe (t) qui est considérée correspond à un supplément de prix qui doit être payé par l'agriculteur pour chaque unité de pesticide qui est achetée. Nous supposons ici que dans la mesure du possible, le régulateur cherchera à définir une taxe pigouvienne qui correspond au coût du dommage environnemental, soit $t = \gamma(1-z)$ (Sandmo, 1975; Bovenberg and Demooij, 1994; Kaplow, 1996, 2004; Fullerton, 1997; Cremer et al., 2001).[4] Il est important de noter ici que le niveau de la taxe

3. Le fait de considérer les deux instruments conjointement permettrait d'atteindre plus facilement l'objectif de maximisation du surplus. Ceci n'est pas fait ici pour mieux comprendre et contraster les effets économiques induits par chacun de ces deux instruments. Par ailleurs, en suivant le principe de (Tinbergen, 1952) il est cohérent de se limiter à seul instrument puisqu'il n'y a ici qu'un seul objectif environnemental.

4. Comme nous le verrons plus loin, la contrainte de participation de la firme d'agrochimie pourra amener le régulateur à réduire cette taxe. Il est important de noter que cette taxe n'a pas pour objectif de corriger la perte de bien être liée à la tarification par un monopole.

dépend en partie du choix du monopole puisque z est endogène.[5]

Notons pour finir que nous laissons dans ce modèle la possibilité au régulateur d'interdire tout usage de pesticide – et donc toute recherche sur ce domaine – s'il n'est pas possible de dégager un surplus positif quelque soit le choix du régulateur. Nous verrons que de tels cas peuvent se produire si l'ampleur de l'externalité (γ) est très importante.

Les différentes décisions sont prises en trois étapes succesives. Le régulateur choisit un instrument et définit son niveau à la première étape ($\bar{z}$ ou t). Etant donné ce cadre réglementaire, la recherche est conduite par la firme d'agrochimie à la deuxième étape ce qui conduit à définir x et z. Enfin, la firme définit son prix w et les agriculteurs prennent leur décision d'achat de pesticide à la dernière étape. La résolution de ce jeu en trois étapes est faite de manière classique, par induction à rebours.

Afin de garantir un niveau optimal de non-toxicité toujours inférieur ou égal à un, c'est-à-dire $\bar{z} \leq 1$, on supposera dans ce modèle, que $M \leq 4\alpha/\gamma$.

4 Equilibre du modèle

Cette section se consacre à une description de l'équilibre du modèle sous différents scénarios. Comme benchmark, nous décrivons d'abord les choix optimaux du monopole lorsqu'il n'est pas regulé, pour ensuite définir ses choix lorsqu'il est régulé par une autorisation de mise sur le marché. Enfin, nous nous intéressons au cas où le régulateur impose au monopole une taxe t par unité d'émissions polluantes. Pour distinguer ces trois cas, nous utilisons respectivement les indices N, A et T pour non régulé, AMM et taxe.

4.1 Monopole non régulé

A la dernière étape, avec des caractéristiques données des produits (x et z), le monopole maximise son profit brut ($wD(w)$), ce qui l'amène à définir un prix $w = x/2$. L'agriculteur indifférent est en $\hat{\theta} = 1/2$ et le profit brut du monopole est $B_N = Mx/4$. Son profit net est donné par l'expression suivante :

$$B_N - I(x, z) = \frac{Mx}{4} - \alpha z^2 - \beta x^2 \tag{4}$$

Les choix optimaux du monopole en termes de non-toxicité et de performance du produit sont libellés comme suit :

5. Cette hypothèse est cohérente avec ce qui est effectivement observé dans le cas des pesticides avec la TGAP. En effet différents niveaux de taxe sont fixés en fonction de la classe de toxicité du produit. Il y a en tout sept classes de toxicité. Sans une règle de ce type, le monopole ne serait pas incité à développer des produits moins toxique. En effet, avec une taxe fixe, l'agriculteur payerait toujours le même montant quel que soit la toxicité du produit. La demande ne dépendrait pas du niveau de toxicité du produit, si bien que le monopole n'aurait rien à gagner à faire un produit moins toxique.

Lemme 1. *En l'absence de régulation, l'efficacité du produit développé par le monopole est fonction de la taille du marché et de l'efficaccité en recherche :* $x_N^* = M/8\beta$*. En revanche le monopole ne fait aucun effort pour réduire la toxicité de son produit (*$z_N^* = 0$*). Le profit du monopole est :* $\pi_N = M^2/64\beta$*.*

On vérifie ici qu'en l'absence de réglementation, le monopole n'est pas incité à développer des produits moins toxique car il ne dégage aucun profit supplémentaire. En effet, comme la toxicité est une externalité, elle n'est pas prise en compte par l'agriculteur dans son choix de produit pesticide. Elle n'affecte donc pas la demande de produit du monopole et par ricochet son profit.

S'agissant du niveau de performance optimal, on remarque aisément que, plus le marché est important et moins la recherche est coûteuse et plus le monopole investira en recherche pour obtenir un produit plus performant.

4.2 Monopole régulé par une AMM

Dans cette sous-section, nous cherchons à déterminer comme précédemment, les choix optimaux de la firme mais lorsqu'elle est régulée par une AMM. Cette régulation permet une contrainte sur un niveau minimum de z qui influence la stratégie du monopole. C'est néanmoins le monopole qui définit les caractéristiques de son produit et le prix auquel il le vend.

Comme l'AMM n'affecte pas la demande et le coût marginal de production du produit, le monopole choisit le même prix que celui qu'il choisit lorsqu'il n'est pas régulé ($w = x/2$). On a toujours la moitié des agriculteurs qui choisit les produits c'est-à-dire $\hat{\theta} = 1/2$. Le profit net du monopole est donc identique à celui qui est définit dans le cas non régulé (voir equation (4)). Ce profit net est séparable en un terme qui ne dépend que de x et un autre qui ne dépend que de z. En conséquence, le monopole est amené à choisir un niveau d'efficacité identique à celui qu'il choisirait s'il n'est pas régulé, à savoir $M/8\beta$. Pour ce qui est du choix de non-toxicité, le monopole ne tire pas de bénéfice à faire un produit moins toxique que ce qui est demandé par l'AMM (le profit en (4) est décroisant avec z). En conséquence, le monopole choisit $\bar{z}$. Il est important ici de vérifier la contrainte de participation de la firme. En effet si l'exigence de l'AMM ($\bar{z}$) est trop forte, le monopole ne peut pas dégager de profit positif et il préfère alors sortir du marché. Après développement, il est possible de montrer que le seuil définit par l'AMM doit être tel que $\bar{z} \leq M/8\sqrt{\alpha\beta}$ pour que le monopole dégage un profit positif ou nul en développant un pesticide. Autrement dit, la mise en place d'une AMM est moins contrainte si la taille du marché est importante et la recherche moins coûteuse.

Intéressons nous à présent au choix du régulateur. En supposant que le monopole choisit $x^* = M/8\beta$ et $z = \bar{z}$, alors le régulateur définit une valeur de $\bar{z}$ qui maximise le surplus suivant :

$$W_A = M \int_{1/2}^{1} (\theta x^* - \gamma(1 - \bar{z}))d\theta - I(x^*, \bar{z}) \tag{5}$$

Ce surplus est également séparable en un terme qui ne dépend que de x^* et un autre qui ne dépend que de $\bar{z}$. En conséquence, on peut se limiter à ne considérer que la partie du programme du régulateur qui dépend de $\bar{z}$:

$$\max_{\bar{z}} \left[M \int_{1/2}^{1} (-\gamma(1-\bar{z}))d\theta - \alpha\bar{z}^2 \right] \tag{6}$$

qui donne la solution $\bar{z}^* = M\gamma/4\alpha$. Cette solution respecte la condition $\bar{z} \leq M/8\sqrt{\alpha\beta}$ si $\gamma < \sqrt{\alpha}/2\sqrt{\beta}$. En conséquence, si l'externalité environnementale est faible, alors le régulateur peut définir un seuil d'AMM qui correspond à une solution intérieure de son programme. Le profit du monopole est alors strictement positif. A l'inverse, si l'externalité environnementale est élevée, alors le régulateur est contraint de choisir un seuil d'AMM tel que la contrainte de participation du monopole est juste saturée, ce qui conduit à l'équilibre à un profit nul pour le monopole.

En adoptant la définition que l'AMM que nous venons de voir, le surplus social est alors [6] :

$$W_A^* = \begin{cases} \dfrac{M(M(\alpha+2\beta\gamma^2)-16\alpha\beta\gamma)}{32\alpha\beta} & \text{si} \quad \gamma \leq \dfrac{\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{\beta}} \\ \dfrac{M(M(\alpha+4\sqrt{\alpha\beta}\gamma)-32\alpha\beta\gamma)}{64\alpha\beta} & \text{sinon} \end{cases}$$

On peut remarquer que ces valeurs de surplus peuvent être négative si la taille du marché (M) est inférieur à un certain seuil. Dans ce cas là, il est préférable pour le régulateur d'interdire tout pesticide.

Le lemme 6 synthétise l'ensemble des résultats concernant l'équilibre avec une AMM.

Lemme 2. *Avec une Autorisation de Mise sur le Marché, le seuil de non toxicité définit par le régulateur est :*

$$\bar{z}_A^* = \begin{cases} \dfrac{M\gamma}{4\alpha} & si \quad \gamma \leq \dfrac{\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{\beta}} \quad et \quad M \geq \dfrac{16\alpha\beta\gamma}{\alpha+2\beta\gamma^2} \\ \dfrac{M}{8\sqrt{\alpha\beta}} & si \quad \gamma > \dfrac{\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{\beta}} \quad et \quad M \geq \dfrac{32\alpha\beta\gamma}{\alpha+4\sqrt{\alpha\beta}\gamma} \end{cases}$$

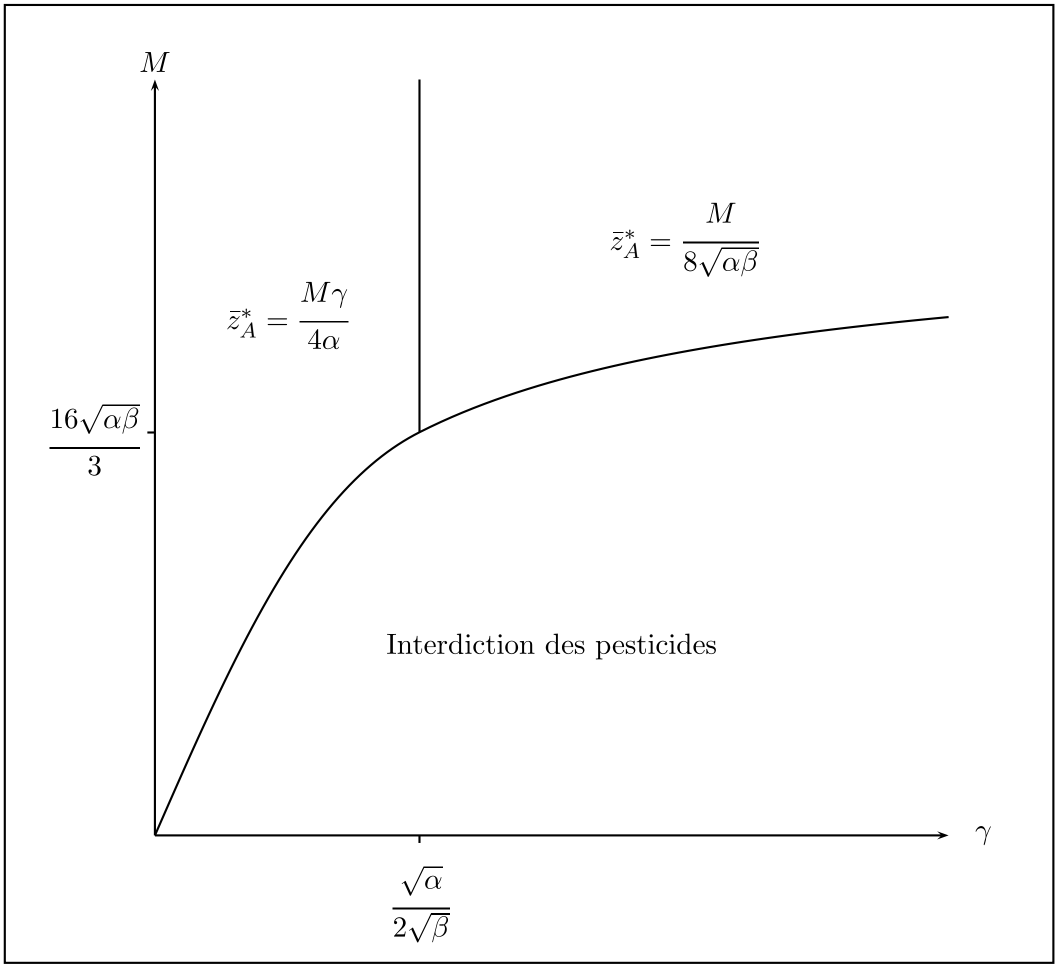
Les choix du monopole en termes de niveau de performance et de non-toxicité du produit sont alors respectivement $x_A^* = M/8\beta$ et $z_A^* = \bar{z}_A^*$.

Dans les autres cas où la taille de marché (M) est trop petite, alors le régulateur interdit complètement le produit.

La figure 1 ci-dessous représente de manière synthétique la stratégie du régulateur pour différentes valeurs de l'externalité (γ) et de la taille de marche (M). Même si cette figure a été tracée avec des valeurs particulière de α et β, sa forme générale reste valide quelles que soient les valeurs de ces deux paramètres.

6. L'annexe A donne le détail de la répartition du sruplus qui permet de déduire l'expression de surplus sociale donnée ici.

Figure 1 – Stratégie du régulateur avec une AMM ($\alpha = \beta = 1$)



Dans le cas particulier où l'externalité est nulle, le régulateur n'impose aucune contrainte d'AMM ($\bar{z}_A^* = 0$) et le surplus est positif quelle que soit la taille du marché. En revanche, dès lors que l'externalité est différente de 0, le seuil de l'AMM devient positif, et le marché doit être assez grand pour que le surplus globale soit positif. Le seuil sur la taille du marché pour que le surplus soit positif est d'autant plus grand que l'externalité est importante. En d'autres termes, plus l'externalité est importante et plus le régulateur sera amené à interdire le produit pour des tailles de marchés trop réduites.

On peut remarquer aussi que le niveau optimale de non-toxicité dépend positivement de la taille du marché M. En effet, avec une taille de marché considérable, l'externalité générée est aussi considérable. Ceci étant, le régulateur peut être incité à fixer un niveau seuil de non-toxicité élevé.

4.3 Monopole régulé par une taxe

Contrairement à la section précédente, supposons maintenant que le régulateur impose une taxe t par unité d'émissions polluantes. Cette taxe qui affecte la demande, conduit le monopole à maximiser

$Mw(1-(w+t)/x)$. Le prix optimal est $w=(x-t)/2$ et, à ce prix, l'agriculteur indifférent est en $\hat{\theta}=1/2+t/2x$. En d'autres termes, la taxe conduit à une baisse de la demande de la part des agriculteurs, conduisant le monopole à baisser son prix. Cette baisse de prix compense partiellement la taxe, si bien que le nombre d'agriculteur utilisant le produit diminue à mesure que la taxe augmente.[7] Au final, le profit brut du monopole est donné par $B_T=M(x-t)^2/4x$.

Nous supposons que le régulateur cherche uniquement à corriger l'externalité générée par le pesticide, si bien qu'il fixe un niveau de taxe qui correspond au coût du dommage environnemental[8] c'est-à-dire $t=\gamma(1-z)$. Avec cette taxe pigouvienne, le profit net du monopole est :

$$B_T-I(x,z)=\frac{Mx}{4}-\frac{2M\gamma(1-z)}{4}+\frac{M\gamma^2(1-z)^2}{4x}-\alpha z^2-\beta x^2 \tag{7}$$

Les conditions de premier ordre de cette fonction de profit sont telles que :

$$\frac{\partial\pi(x,z)}{\partial x}=\frac{M}{4}-2x\beta-\frac{M(1-z)^2\gamma^2}{4x^2}=0 \tag{8}$$

$$\frac{\partial\pi(x,z)}{\partial z}=\frac{M\gamma}{2}-2z\alpha-\frac{M(1-z)\gamma^2}{2x}=0 \tag{9}$$

La condition du premier ordre sur z permet de définir une relation linéaire simple entre x et z :

$$x=\frac{M\gamma^2(1-z)}{M\gamma-4\alpha z} \tag{10}$$

Lorsque cette relation est introduite dans la condition du premier ordre sur x, on obtient alors :

$$\frac{2(8\alpha^3z^3-6M\gamma\alpha^2z^2+M^2\gamma^2(\alpha+\beta\gamma^2)z-M^2\beta\gamma^4)}{M\gamma^2(M\gamma-4z\alpha)}=0 \tag{11}$$

Il n'existe pas d'expression simple de la racine de ce polynome du troisième degré. On sait néanmoins qu'il existe au moins une racine réelle. Il est possible aussi de trouver numériquement les solutions de ce polynome et de vérifier si ces solutions correspondent à un maximum de la fonction de profit. La suite de l'analyse de l'équilibre avec taxe s'appuie donc sur ces résultats numériques. Pour analyser les équilibre nous avons procédé de la manière suivante. Nous sommes partis du cas particulier où $\gamma=0$ (dans ce cas $t=0$), et nous avons vérifié que la solution obtenue correspond bien à la solution analytique obtenue avec un monopole non régulé. Nous avons augmenté progressivement γ. Pour chacune de ces valeurs, nous avons calculé numériquement les solutions de l'équation (11) en retenant les solutions réelles.[9] La

7. Avec l'AMM, la moitié des agriculteurs a recourt aux pesticides, par contre avec la taxe c'est beaucoup moins.

8. Le régulateur peut aussi fixer un autre niveau de taxe. En effet, en maximisant le surplus social $W_T=M\int_{1/2+t/2x}^{1}(\theta x-\gamma(1-z))d\theta-I(x,z)$, on obtient une taxe optimale $t^*=2\gamma(1-z)-x$. Cette taxe permet non seulement de corriger la perte d'efficacité du monopole mais aussi l'externalité générée par le pesticide.

9. Les solutions numériques ont été trouvé en utilisant Mathematica.

condition du second ordre a été calculée dans chaque cas. Dans tous les cas qui ont été considérés, nous n'avons identifié qu'un seul équilibre.

Comme on peut s'y attendre, le profit du monopole est décroissant avec le niveau de la taxe et donc avec l'ampleur de l'externalité (γ). Lorsque γ devient assez importante, il peut exister un seuil $\hat{\gamma}$ au niveau duquel le profit d'équilibre du monopole est nul. Pour une externalité supérieure à $\hat{\gamma}$, le régulateur ne peut donc pas imposer une taxe égale à $\gamma(1-z)$ car le monopole serait amené à sortir du marché. Appliquer strictement une taxe pigouvienne n'est plus possible dans ce cas. Le régulateur est contraint de maintenir un niveau de taxe égal à $\hat{\gamma}(1-z)$. Le monopole fait alors le même choix que si l'externalité était égale à $\hat{\gamma}$ et son profit reste égal à 0. En d'autres termes, les caractéristiques du produit n'évoluent plus avec γ pour tout $\gamma > \hat{\gamma}$, le profit du monopole et le surplus des agriculteurs restent échangés, mais le surplus total continue à diminuer avec γ (du fait des externalités négatives de plus en plus importantes).

Le lemme ci-dessous résume les résultats énoncés ci-dessus.

Lemme 3. *Avec une taxe pigouvienne, il existe un équilibre unique (x_T^*, z_T^*). L'application d'une taxe pigouvienne conduit le monopole à faire un effort pour réduire l'extenarlité ($z_T^* > 0$), cet effort étant d'autant plus important que l'ampleur de l'extenalité (γ) est élevée.*

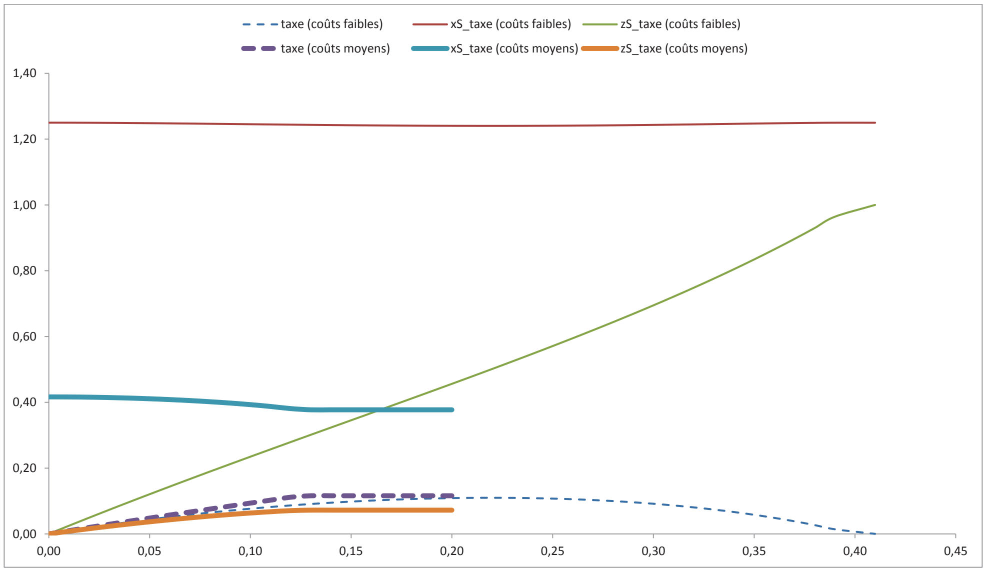
Si les coûts de la recherche (α et β) sont assez élevés, alors il existe un seuil $\hat{\gamma}$ au dessus duquel l'application stricte d'une taxe pigouvienne n'est plus possible car elle empècherait le monopole d'entrer sur le marché. Si γ est supérieur mais proche de $\hat{\gamma}$, le régulateur choisit de maintenir une taxe égale à $\hat{\gamma}(1-z)$. *En revanche, si γ est très supérieur à $\hat{\gamma}$, alors il est préférable pour le régulateur d'interdire complètement le produit.*

La preuve analytique de ce lemme est extrêmement difficile à établir. Ce lemme a été établi uniquement sur la base de simulations avec des jeux particuliers de paramètres.

La figure 2 ci-dessous illustre ces résultats avec deux jeux de valeur pour le coût de la recherche et une taille de marché égale à 1. Les courbes avec des coûts de recherche faibles correspondent à $\alpha = \beta = 0.1$ alors que les courbes avec des coûts de recherche moyens correspondent à $\alpha = \beta = 0.3$.

Avec des coûts faibles (traits fins sur la figure 2), on observe qu'il est toujours possible d'appliquer une taxe pigouvienne quelle que soit l'ampleur d'externalité. Le monopole dégage donc toujours un profit positif. Lorsque γ est assez élevée, l'investissement en recherche est tel que le monopole parvient à développer un produit non toxique qui n'entraine plus aucune externalité ($z_T^* = 1$). La taxe effective qui est prélevée devient nulle. Avec des coûts élevés (traits épais sur la figure 2), il existe un seuil au dessus duquel le régulateur est contraint de ne plus appliquer une taxe pigouvienne ($\hat{\gamma} \approx 0.125$ pour $\alpha = \beta = 0.3$). Au dessus de ce seuil, le niveau de taxe est maintenu à un niveau plafond si bien que le monopole ne modifie

Figure 2 – Choix d'équilibre avec une taxe



plus ses choix. Lorsque l'externalité devient très élevée ($\gamma > 0,2$ pour $\alpha = \beta = 0.3$) alors le surplus dévient négatif et le régulateur préfère alors interdire la commercialisation du pesticide.

5 Analyse des effets des instruments de régulation de pesticides

Nous comparons ici les effets de l'AMM et de la taxe, d'une part sur les incitations à innover, d'autre part sur le bien-être social. Partant des lemmes 2 et 3, l'analyse des effets de l'AMM et de la taxe sur les incitations à innover suggère une première proposition.

Proposition 1. *Comparée à l'AMM, la taxe conduit à des pesticides moins performants et plus toxiques.*

La preuve de cette proposition est faite dans l'annexe B. On peut remarquer que le profit marginal du monopole en x et en z baisse avec l'introduction de la taxe (voir annexe B). L'AMM est certes une contrainte, mais elle ne réduit pas le profit du monopole. Par ailleurs, cette première proposition amène à penser que l'AMM devrait conduire à dégager un surplus social supérieur par rapport à la taxe. Nous verrons plus loin que ce résultat est généralement vérifié. Pour autant, la taxe présente l'avantage d'avoir également un effet sur l'usage des produits. Plus précisément, l'introduction d'une taxe conduit certains agriculteurs situés juste au dessus de $\theta = 1/2$ à ne plus acheter le pesticide. On notera que ces agriculteurs achètent toujours le pesticide avec une AMM. Le lemme ci-dessous établit que cet achat peut conduire à une perte de surplus social.

Lemme 4. *Avec une AMM, l'achat du pesticide par l'agriculteur situé en $\theta = 1/2$ conduit à une perte de surplus social si* $\gamma < \dfrac{\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{\beta}}$ *et* $M < \dfrac{16\alpha\beta\gamma}{\alpha + 4\beta\gamma^2}$.

Démonstration. Avec une AMM, le surplus social est donné par l'expression suivante :

$$W_A^* = \begin{cases} \dfrac{M(M(\alpha + 2\beta\gamma^2) - 16\alpha\beta\gamma)}{32\alpha\beta} & \text{si} \quad \gamma \leq \dfrac{\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{\beta}} \\ \dfrac{M(M(\alpha + 4\sqrt{\alpha\beta}\gamma) - 32\alpha\beta\gamma)}{32\alpha\beta} & \text{sinon} \end{cases}$$

Si $\gamma < \dfrac{\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{\beta}}$, ce surplus est négatif lorsque $M < \dfrac{16\alpha\beta\gamma}{\alpha + 4\beta\gamma^2}$. □

Rappelons que la taxe, dès lors qu'elle est positive, conduirait l'agriculteur situé en $\theta = 1/2$ à ne pas acheter de produit. La conséquence du lemme 4 est que, pour cet agriculteur situé en $\theta = 1/2$, la taxe est plus intéressante socialement que l'AMM. Par continuité des fonctions de surplus, ce résultat reste valable pour tous les agriculteurs compris entre $1/2$ et $1/2 + \varepsilon$, tant que ε est assez petit.

La proposition 1 et le lemme 4 donnent des résultats qui vont dans des sens opposés. D'un coté la proposition 1 montre que l'AMM est plus intéressante car elle conduit à des produits avec de meilleures caractéristiques (i.e. plus performants et moins toxiques). D'un autre coté, le lemme 4 montre que la taxe est plus intéressante lorsqu'on considère le surplus social généré induit par l'achat de certains agriculteurs proches de $\theta = 1/2$. La proposition 2 ci-dessous fait une comparaison globale des deux instruments.

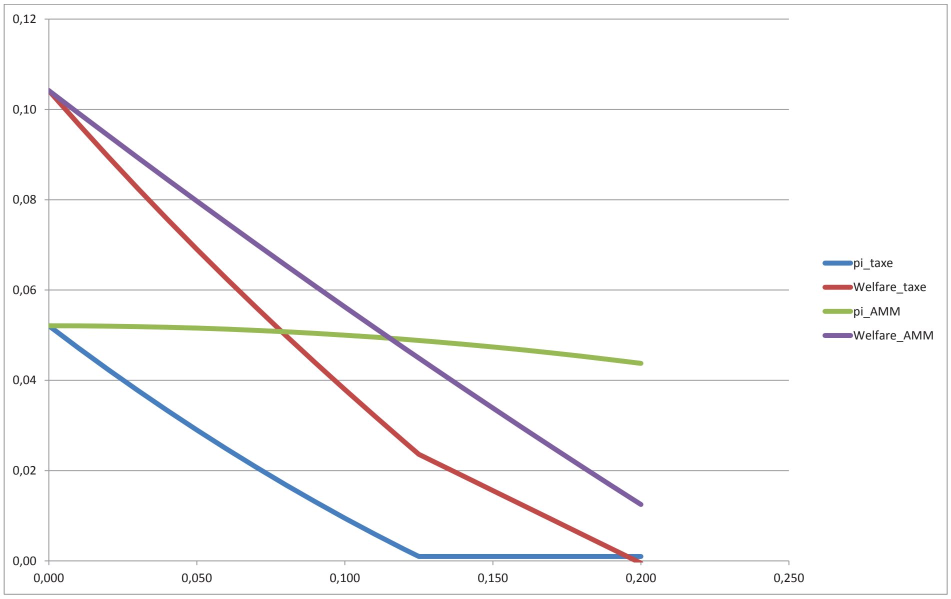
Proposition 2. *L'AMM permet de dégager un surplus global supérieur à la taxe. Pour autant, la taxe permet de réduire l'externalité (négative) globale générée par l'ensemble des agriculteurs.*

Comme pour le lemme 3, il est très difficile d'établir la preuve analytique de cette proposition. La preuve s'appuie donc uniquement sur une série de simulations. La figure 3 ci-dessous illustre ce résultat avec $M = 1$, $\alpha = \beta = 0.3$ et différentes valeurs de γ.

6 Extension : offre par un duopole différencié

Les hypothèses de la section 3 sont reprises dans cette extension. Toutefois, on considère désormais un duopole où, étant donné le cadre réglementaire, les deux firmes définissent d'abord, de façon simultanée, les caractéristiques du produit qu'elles souhaitent vendre avant de s'engager dans une concurrence à la Bertrand.

Figure 3 – Comparaison des profits et des surplus avec taxe vs AMM (avec $\alpha = \beta = 0.3$)



Rappelons que le modèle décrit et analysé dans les sections antérieures est basé sur la stratégie d'un monopole qui investit en recherche pour créer un pesticide. A présent, nous considérons une structure de duopole dans laquelle chacune des deux firmes investit en recherche pour concevoir un nouveau produit phytosanitaire de sorte à mettre sur le marché des produits ayant des caractéristiques différentes. En particulier, la firme i produit un bien caractérisé par un niveau de performance x_i et un niveau de non-toxicité z_i, avec $i = 1, 2$. Le prix de ce pesticide qui est fixé par la firme d'agrochimie i est w_i. Sans perte de généralité, on suppose que le bien 1 est moins performant que le bien 2, autrement dit, $x_1 < x_2$. Comme dans le cas avec un monopole, le fait que la valeur la plus faible de θ soit égale à zéro conduit à un équilibre dans lequel le marché n'est pas couvert. [10] Dans ces conditions, l'agriculteur indifférent entre acheter le bien 1 ou le bien 2 est tel que $\theta_{12} = \dfrac{w_1 - w_2}{x_1 - x_2}$. Précisons en outre que chaque agriculteur achète et utilise un bien s'il en dégage une utilité supérieure à zéro. Sinon, il préfère ne pas utiliser ce produit. En d'autres termes, l'agriculteur indifférent entre l'achat du bien différencié et ne pas acheter du tout est tel que $\theta_1 = \dfrac{w_1}{x_1}$. Les quantités demandées des biens 1 et 2 sont respectivement données par :

10. Voir Motta (1993) et Wauthy (1996)

$$Q_1(w_1, w_2) = M\left(\frac{w_1 - w_2}{x_1 - x_2} - \frac{w_1}{x_1}\right) \tag{12}$$

$$Q_2(w_1, w_2) = M\left(1 - \frac{w_1 - w_2}{x_1 - x_2}\right) \tag{13}$$

Comme précédemment, les différentes décisions sont prises en trois étapes succesives. A la première étape, le régulateur choisit un instrument et définit son niveau. Conformément à ce cadre réglementaire, la recherche est conduite par les deux firmes à la deuxième étape, ce qui conduit à définir x_i et z_i, avec $i = 1, 2$. Enfin, les firmes s'engagent dans une concurrence à la Bertrand et déterminent chacune leur prix respectif w_1 et w_2. A ce prix, les agriculteurs prennent leur décision d'achat de pesticide à la dernière étape. La résolution de ce jeu en trois étapes est faite de manière classique, par induction à rebours.

La description et l'analyse de l'équilibre de ce modèle avec deux firmes se feront aussi sous différents scénarios. En premier lieu, nous analysons l'équilibre en l'absence de régulation. En second lieu, nous examinons les choix optimaux des firmes lorsqu'elles sont régulées par une autorisation de mise sur le marché. [11] Pour faire une distinction entre ces trois cas, nous utilisons à nouveau les indices N et A correspondant respectivement aux situations d'absence de régulation et d'AMM.

6.1 Firmes non régulées

Etant donné (x_1, z_1) et (x_2, z_2), les firmes 1 et 2 maximisent leur profit brut respectif $\pi_1 = w_1 Q_1(w_1, w_2)$ et $\pi_2 = w_2 Q_2(w_1, w_2)$. Nous avons les conditions de premier ordre suivantes :

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial w_1} = \frac{M(2x_2 w_1 - x_1 w_2)}{x_1(x_1 - x_2)} = 0 \tag{14}$$

$$\frac{\partial \pi_2}{\partial w_2} = M\left(1 - \frac{w_1 - 2w_2}{x_1 - x_2}\right) = 0 \tag{15}$$

A partir de ces deux conditions de premier ordre, nous obtenons les prix d'équilibre respectifs des firmes 1 et 2 :

$$w_1 = \frac{x_1(x_2 - x_1)}{4x_2 - x_1} \;\; et \;\; w_2 = \frac{2x_2(x_2 - x_1)}{4x_2 - x_1} \tag{16}$$

11. La description et l'analyse de l'équilibre dans le cas où le régulateur impose à chacune des deux firmes une taxe t par unité d'émissions polluantes, ne sont pas faites dans cette extension.

A ces prix, les agriculteurs indifférents entre acheter un bien différencié et ne rien acheter du tout sont tels que $\theta_{1S} = \dfrac{x_2 - x_1}{4x_2 - x_1}$. De même, ceux qui sont indifférents entre consommer le produit 1 ou le produit 2 sont tels que $\theta_{12S} = \dfrac{2x_2 - x_1}{4x_2 - x_1}$. De plus, les profits bruts qui correspondent à ces prix d'équilibre sont :

$$B_{1N} = \frac{x_1 x_2 M(x_2 - x_1)}{(4x_2 - x_1)^2} \;\; et \;\; B_{2N} = \frac{4x_2^2 M(x_2 - x_1)}{(4x_2 - x_1)^2} \tag{17}$$

Les choix optimaux des firmes 1 et 2 en ce qui concerne la non-toxicité et l'efficacité technique du produit sont obtenus à partir des profits nets suivant :

$$B_{1N} - I(x_1, z_1) = \frac{x_1 x_2 M(x_2 - x_1)}{(4x_2 - x_1)^2} - \alpha z_1^2 - \beta x_1^2 \tag{18}$$

$$B_{2N} - I(x_2, z_2) = \frac{4x_2^2 M(x_2 - x_1)}{(4x_2 - x_1)^2} - \alpha z_2^2 - \beta x_2^2 \tag{19}$$

On peut remarquer que, tout comme dans le cas du monopole non régulé, l'absence de régulation ne conduit pas la firme i à créer un pesticide moins toxique. Les choix optimaux des firmes 1 et 2 sont résumés dans le lemme suivant :

Lemme 5. *Sans régulation, la performance du pesticide conçu par chacune des firmes 1 et 2 dépend de la taille du marché et de l'efficacité en recherche. Ces niveaux de performance sont respectivement donnés par* $x_{1N}^* = 0,024M/\beta$ *pour la firme 1 et* $x_{2N}^* = 0,126M/\beta$ *pour la firme 2. Cependant, ces deux firmes ne font aucun effort pour limiter la toxicité de leur produit (*$z_{1N}^* = z_{2N}^* = 0$*). Les profits nets sont donnés par :*

$$B_{1N} = \frac{0.000763M^2}{\beta} \;\; et \;\; B_{2N} = \frac{0,012M^2}{\beta} \tag{20}$$

Etant donné que les firmes ne prennent pas en compte l'externalité générée par le pesticide, on retombe sur des solutions identiques à celles obtenues dans la littérature (voir Motta (1993)).

6.2 Firmes régulées par une AMM

Avec l'AMM, les prix des biens 1 et 2, ainsi que les profits nets correspondants, sont identiques à ceux obtenus dans le cas non régulé. Ceci nous permet de définir les choix optimaux de la firme i en ce qui concerne l'efficacité technique et la non-toxicité du produit. Ces choix sont respectivement $x_1^* = 0,024M/\beta$ et $z_1 = \bar{z}$ pour la firme 1 et $x_2^* = 0,126M/\beta$ et $z_2 = \bar{z}$ pour la firme 2.

Pour ce qui est du choix du régulateur, c'est-à-dire $\bar{z}$, étant donné les choix optimaux des firmes 1 et 2, il est obtenu à partir du programme ci-dessous :

$$\begin{aligned}\max_{\bar{z}} \quad & W_A = M\int_{(x_2^*-x_1^*)/(4x_2^*-x_1^*)}^{(2x_2^*-x_1)/(4x_2^*-x_1^*)}(\theta x_1^* - \gamma(1-\bar{z}))d\theta - I(x_1^*,\bar{z}) \\ & \quad + M\int_{(2x_2^*-x_1^*)/(4x_2^*-x_1^*)}^{1}(\theta x_2^* - \gamma(1-\bar{z}))d\theta - I(x_2^*,\bar{z}) \\ \text{S.C.} \quad & \frac{x_1^* x_2^* M(x_2^*-x_1^*)}{(4x_2^*-x_1^*)^2} - \alpha z_1^2 - \beta x_1^{*2} \geq 0 \\ & \frac{4x_2^{*2} M(x_2^*-x_1^*)}{(4x_2^*-x_1^*)^2} - \alpha z_2^2 - \beta x_2^{*2} \geq 0\end{aligned} \tag{21}$$

La solution intérieure de ce programme est donnée par $\bar{z}^* = 0,196M\gamma/\alpha$ pour tout $\gamma \leq 0.140\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$ et la solution en coin donnée par $\bar{z} = 0,028M/\sqrt{\alpha\beta}$ pour tout $\gamma > 0,140\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$. La solution en coin ici correspond au cas où la firme 1 est indifférente entre vendre ou ne pas vendre son produit. Par contre, la firme 2 dégage bien un profit positif. Ces solutions permettent de déterminer le surplus social avec l'AMM dont l'expression est donnée par :

$$W_A^* = \begin{cases} \dfrac{M\left(M(0,034\alpha + 0,077\beta\gamma^2) - 0,787\alpha\beta\gamma\right)}{\alpha\beta} & \text{si} \quad \gamma \leq \dfrac{0.140\sqrt{\alpha}}{\sqrt{\beta}} \\ \dfrac{M\left(M(0,033\alpha + 0,021\sqrt{\alpha\beta}\gamma) - 0,0787\alpha\beta\gamma\right)}{\alpha\beta} & \text{sinon} \end{cases} \tag{22}$$

Comme dans le cas du monopole, il est possible que le niveau de bien-être soit négatif si l'externalité est élevée ou le marché trop petit. Il est possible de définir une valeur seuil sur M en dessous de laquelle le surplus social est négatif. Le régulateur préfère interdire tout produit si la taille de marché est inférieure à cette valeur seuil. Dans le lemme ci-dessous, nous synthétisons l'ensemble des résultats relatifs à l'équilibre avec l'AMM.

Lemme 6. *Dans le cas d'une régulation avec une AMM, si le régulateur s'impose d'avoir une structure de duopole, le niveau de non toxicité seuil qu'il définit est :*

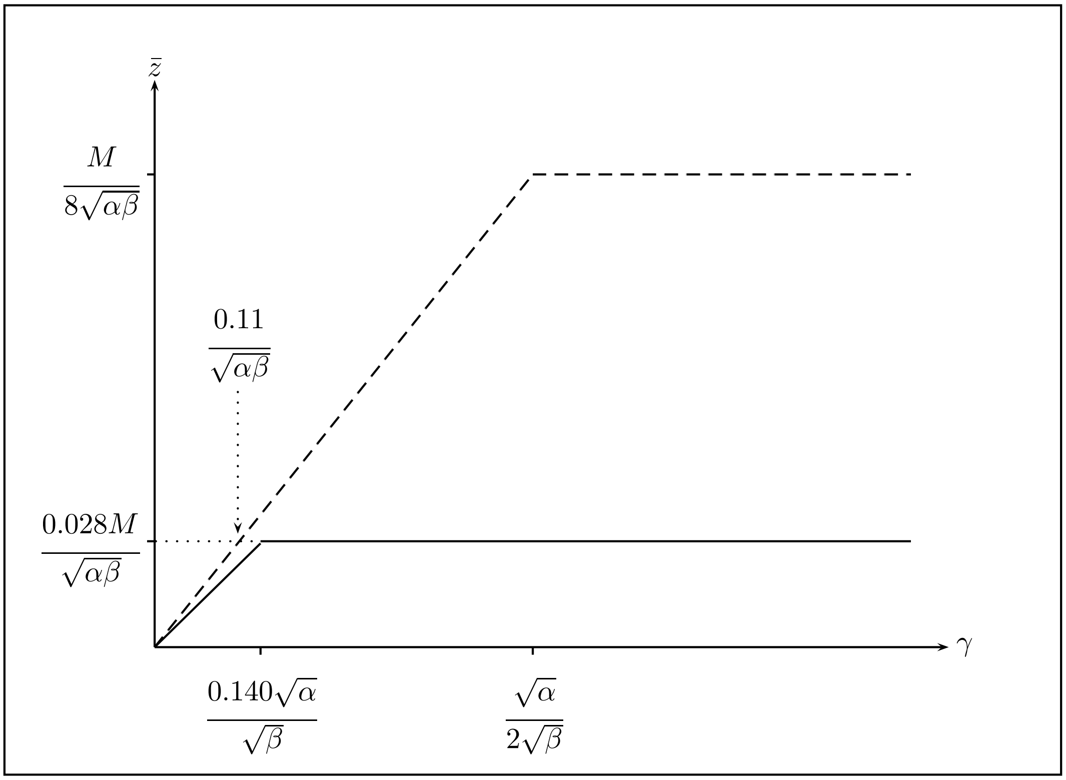
$$\bar{z}_A^* = \begin{cases} \dfrac{0,196M\gamma}{\alpha} & si \quad \gamma \leq \dfrac{0,140\sqrt{\alpha}}{\sqrt{\beta}} \quad et \quad M \geq \dfrac{0,787\alpha\beta\gamma}{0,034\alpha + 0,077\beta\gamma^2} \\ \dfrac{0,028M}{\sqrt{\alpha\beta}} & si \quad \gamma > \dfrac{0,140\sqrt{\alpha}}{\sqrt{\beta}} \quad et \quad M \geq \dfrac{0,787\gamma\beta\sqrt{\alpha}}{0,033\sqrt{\alpha} + 0,021\gamma\sqrt{\beta}} \end{cases} \tag{23}$$

Les choix des deux firmes en termes de niveau de performance et de non-toxicité du produit sont alors respectivement $x_1^* = 0,024M/\beta$ et $z_1 = \bar{z}_A^*$ pour la firme 1 et $x_2^* = 0,126M/\beta$ et $z_2 = \bar{z}_A^*$ pour la firme 2.

Dans les autres cas où la taille de marché (M) est trop petite, alors le pesticide est complètement interdit par le régulateur.

Il est intéressant à présent de comparer ce résultat en duopole avec le résultat obtenu plus haut en monopole avec une AMM (voir lemme 2). La figure 4 représente les niveaux de $\bar{z}$ en monopole (courbe en tirets) et en duopole (courbe en traits pleins).

Figure 4 – Décision du régulateur sur le niveau d'AMM ($\bar{z}$) en monopole et en duopole ($\alpha = \beta = 1$)

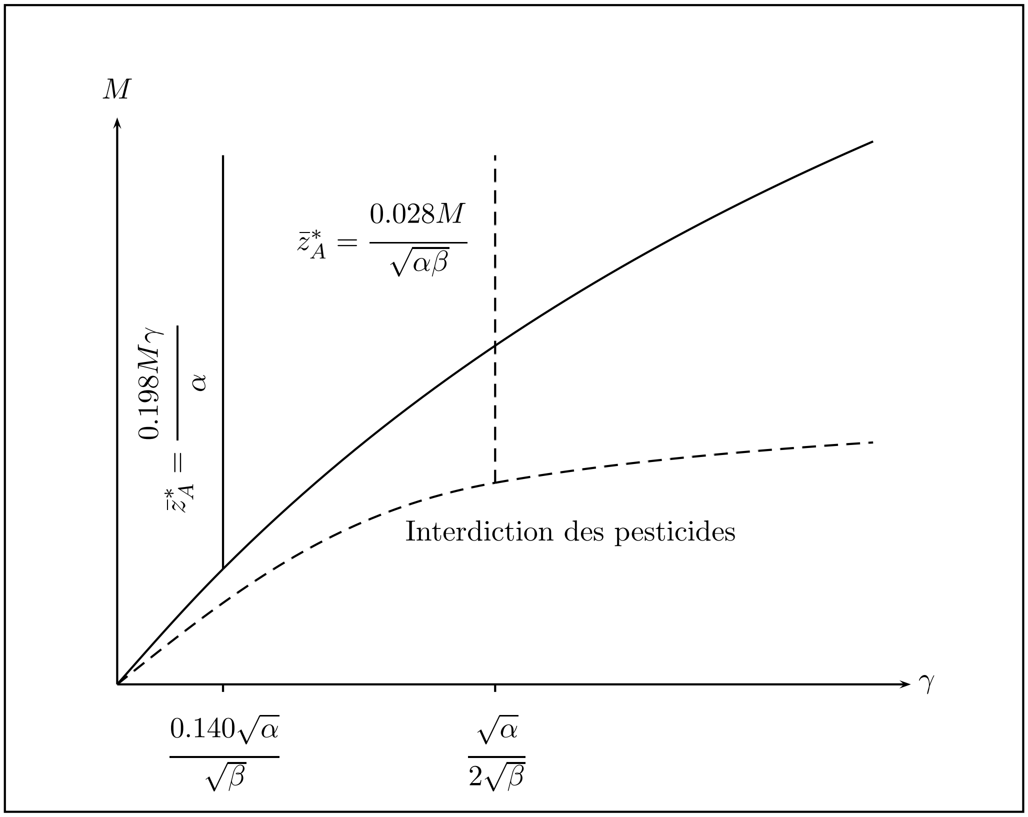


Dans un cas comme dans l'autre, le niveau de $\bar{z}$ augmente avec l'ampleur de la toxicité du produit, c'est-à-dire avec γ (voir traits obliques), jusqu'à atteindre un niveau pour lequel le monopole est indifférent entre vendre et ne pas vendre (courbe en tirets horizontale) mais aussi la firme 1 en duopole (courbe en traits pleins horizontale). Pour ce qui concerne l'exigence d'AMM ($\bar{z}$) on peut observer facilement que le niveau fixé par le régulateur en duopole est inférieur de celui qu'il spécifie en monopole. Cette différence s'explique en particulier par le fait qu'en duopole le régulateur est contraint de fixer un niveau de $\bar{z}$ faible pour pouvoir maintenir la firme 1 sur le marché.

Il est possible aussi de comparer les valeurs seuils sur la taille de marché en dessous desquelles le régulateur interdit le produit (voir figure 5). On observe ici que ces valeurs seuils sont supérieures avec un duopole.

En d'autres termes, il existe une zone de valeur intermédiaire sur M dans laquelle la régulation d'un monopole conduit à un surplus positif alors que celle d'un duopole conduit à un surplus négatif (et donc une interdiction du produit). Ce résultat est lié à l'exigence d'AMM qui est plus faible avec un duopole,

FIGURE 5 – Stratégie du régulateur avec une AMM ($\alpha = \beta = 1$)



ce qui conduit à une externalité plus forte [12]

Nous venons de voir qu'il existe une zone dans laquelle il est possible de dégager un surplus positif avec un monopole régulé par une AMM, mais pas avec un duopole régulé. Pour des tailles de marché supérieures, les équilibres avec les deux structures conduisent à des surplus positifs. Cela étant dit, nous pouvons nous demander si une structure de monopole ne serait pas plus intéressante qu'une structure de duopole. En l'absence d'externalité, on retrouve un modèle classique de différenciation verticale à la Mussa-Rosen dans lequel le duopole est préférable au monopole. Ce résultat pourrait être inversé avec une externalité car nous avons vu que l'externalité générée par l'usage des pesticides dans le cas d'un duopole est plus forte que celle occasionnée dans le cas d'un monopole. En d'autres termes, le régulateur pourrait faire un arbitrage entre ces deux structures de marché. Plus concrètement, si le régulateur décide une valeur de $\bar{z}$ inférieure à $0.028M/\sqrt{\alpha\beta}$ alors l'équilibre conduit à une structure de duopole. En revanche, s'il décide une valeur de $\bar{z}$ comprise entre $0.028M\sqrt{\alpha\beta}$ et $M/8\sqrt{\alpha\beta}$, alors l'équilibre conduit à une structure de monopole.

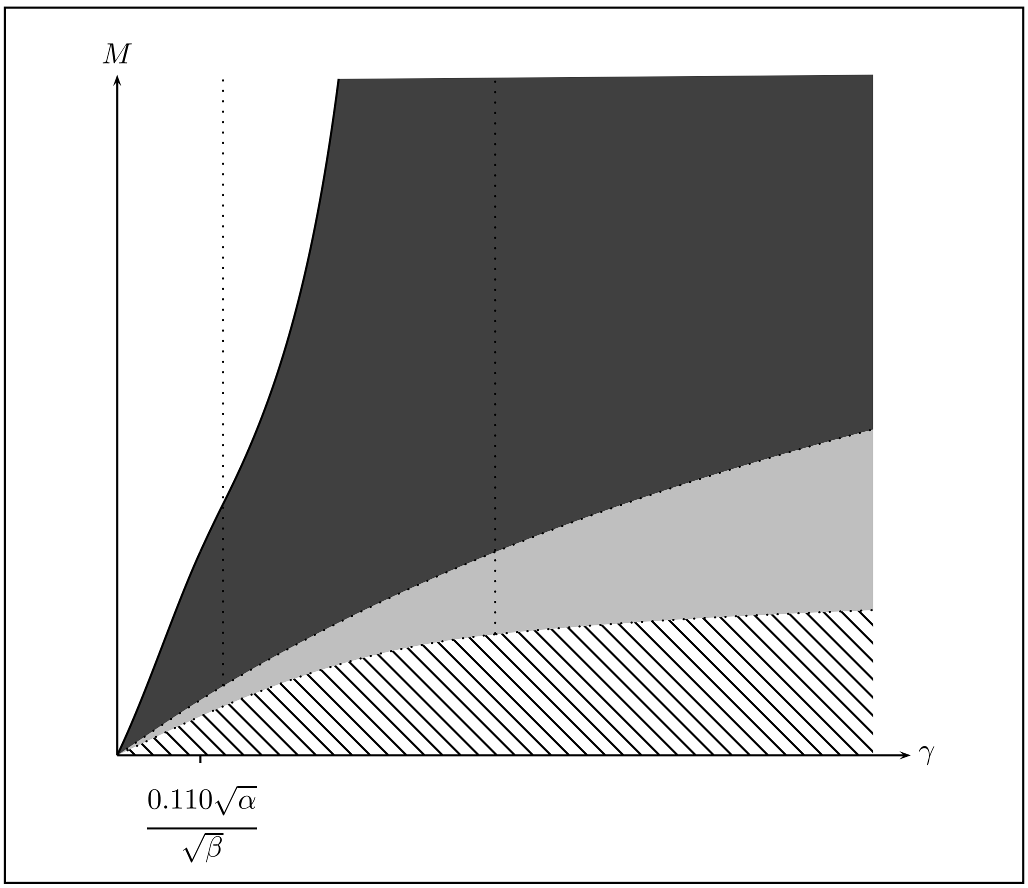
La comparaison détaillée des surplus est faite dans l'annexe C et illustrée avec la figure 6. Dans

12. Notons également que la proportion d'agriculteurs générant une externalité est plus élevée avec un duopole, ce qui accroit encore l'externalité générée.

les zones grise et noire, l'équilibre conduit à une situation de monopole. Dans la zone noire, les deux structures conduisent à un surplus positif, mais celui avec monopole est supérieur pour les raisons que nous venons d'évoquer (externalité plus réduite). La valeur de $\bar{z}$ définie dans cette zone est donc comprise entre $0.028M\sqrt{\alpha\beta}$ et $M/8\sqrt{\alpha\beta}$. Dans la zone grise, le produit est interdit avec un duopole (surplus négatif) alors que le monopole conduit à un surplus positif. En revanche, le duopole conduit à un surplus supérieur au monopole dans la zone blanche où l'externalité est faible et les tailles de marché suffisamment importantes. Enfin, le produit est interdit dans la zone hachurée car aucune des structures ne permet de dégager un surplus positif à l'équilibre. Ces résultats sont synthétisés dans la proposition suivante.

Proposition 3. *Avec une autorisation de mise sur le marché et lorsqu'une ou deux firmes peuvent être présentes, le régulateur fixe un niveau d'AMM ($\bar{z}$) qui conduit à une structure de monopole si l'ampleur de l'externalité (γ) est élevée ou si la taille de marché (M) est petite.*

FIGURE 6 – Stratégie du régulateur avec une AMM ($\alpha = \beta = 1$)



7 Conclusion

Dans ce papier, nous avons examiné les effets de la régulation sur les incitations à investir en R&D des firmes évoluant dans l'agrochimie. Nous nous sommes intéressés à deux instruments de régulation que sont, l'autorisation de mise sur le marché (AMM) qui consiste à vérifier que le pesticide n'a pas d'effets toxiques inacceptables sur la santé et l'environnement et la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) qui est appliquée aux pollutions diffuses d'origine agricole. En clair, nous avons analysé dans ce chapitre la question de l'impact de ces deux instruments sur les incitations à investir en R& D des firmes évoluant dans le secteur de l'agrochimie.

Rappelons que l'une des spécificités de ce papier vient du fait que dans le secteur agricole c'est la firme agrochimique qui fabrique le pesticide mais c'est l'agriculteur qui pollue. C'est pourquoi nous avons un modèle avec trois acteurs, à savoir : des agriculteurs qui peuvent être amenés à acheter le pesticide pour améliorer leur productivité, une firme agrochimique en monopole qui investit en recherche pour créer un pesticide et un régulateur qui prend en compte l'externalité générée par le pesticide. Une extension de ce modèle est faite en considérant une offre par un duopole différencié.

Nous montrons que l'AMM conduit à des pesticides plus performants et moins toxiques que la TGAP. On peut montrer que le profit brut marginal de la firme baisse avec l'introduction de la TGAP. Par contre, l'AMM, qui est certes une contrainte, ne réduit pas le profit brut du monopole.

Pour autant, la TGAP peut conduire à un surplus plus important sous certaines conditions. En particulier lorsque la taille de marché du pesticide est suffisamment faible. L'idée essentielle ici est que la TGAP a deux effets. Elle incite les firmes à avoir un produit moins toxique et elle limite l'usage du pesticide par les agriculteurs. L'AMM n'a que le premier effet. Elle n'affecte pas l'usage.

Enfin, une extension de ce modèle est faite avec une offre par un duopole différencié. Les résultats obtenus avec cette structure de duopole ont été comparés avec ceux obtenus dans le modèle avec une firme mais uniquement lorsque les firmes sont régulées par une AMM. Dans ce contexte, on peut se demander si un monopole ne serait pas plus intéressant qu'une structure de duopole. On montre qu'avec une AMM et lorsqu'une ou deux firmes peuvent être présentes sur le marché, le régulateur fixe un niveau d'AMM qui conduit à une structure de monopole si l'ampleur de l'externalité est élevée ou si la taille de marché est petite.

Annexes

8 Répartition du surplus avec AMM

On s'intéresse ici au cas où la taille de marché est suffisamment grande si bien que le régulateur autorise la commercialisation du pesticide (sous condition d'AMM). Les décisions prises par le régulateur ($\bar{z}_A^*$) et la firme d'agrochimie (z_A^* et x_A^*) sont définies dans le Lemme 2.

Comme dans le cas sans régulation, la tarification optimale du monopole est $w = x/2$ et la moitié des agriculteurs (ceux tels que $\theta > 1/2$) achète le pesticide. Le surplus des agriculteurs est alors :

$$SC_A^* = M \int_{1/2}^{1} \left(\theta x_A^* - \frac{x_A^*}{2} \right) d\theta = \frac{M^2}{64\beta}$$

Ce profit est indépendant de la décision du régulateur.

Le profit du monopole se définit de la manière suivante :

$$\pi_A^* = \frac{1}{2} \cdot \frac{x_A^*}{2} - \beta x_A^* - \alpha z_A^* = \frac{M^2}{64\beta} - \alpha z_A^*$$

L'expression exacte dépend de la valeur de l'expression de z_A^* qui dépend de l'ampleur de l'externalité (voir Lemme 2). Ces expressions sont données dans le tableau ci-dessous.

Comme la moitié des agriculteur utilisent le produit phyto, l'expression générale de l'externalité est $E_A^* = \dfrac{\gamma(1 - z_A^*)}{2}$. L'expression précise est donnée dans le tableau ci-dessous.

	$\gamma < \sqrt{\alpha}/2\sqrt{\beta}$	$\gamma > \sqrt{\alpha}/2\sqrt{\beta}$
SC_A^*	$M^2/64\beta$	
π_A^*	$M^2(1/64\beta - \gamma^2/16\alpha)$	0
E_A^*	$\gamma(1 - M\gamma/4\alpha)/2$	$\gamma(1 - M/8\sqrt{\alpha\beta})/2$
W_A^*	$\dfrac{M(M(\alpha + 2\beta\gamma^2) - 16\alpha\beta\gamma)}{32\alpha\beta}$	$\dfrac{M(M(\alpha + 4\sqrt{\alpha\beta}\gamma) - 32\alpha\beta\gamma)}{32\alpha\beta}$

9 Comparaison du niveau d'innovation avec AMM *vs* taxe

On définit la fonction suivante :

$$H(x,z) = \frac{Mx}{4} - \frac{2M\gamma(1-z)}{4} - \alpha z^2 - \beta x^2$$

On remarque que la maximisation de $H(x,z)$ par rapport à x et z donne le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} \dfrac{\partial H(x,z)}{\partial x} = \dfrac{M}{4} - 2x\beta = 0 \\ \dfrac{\partial H(x,z)}{\partial z} = \dfrac{M\gamma}{2} - 2z\alpha = 0 \end{cases} \tag{24}$$

Les solutions sont $x^* = \dfrac{M}{8\beta}$ et $z^* = \dfrac{M\gamma}{4\alpha}$. On remarque que ces solutions correspondent à l'équilibre avec une AMM lorsque $\gamma < \dfrac{\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{\beta}}$.

Intéressons-nous à présent à l'équilibre avec une taxe. Rappelons que le profit du monopole avec une taxe est :

$$\pi_T(x,z) = B - I(x,z) = \frac{Mx}{4} - \frac{2M\gamma(1-z)}{4} - \frac{M\gamma^2(1-z)^2}{4x} - \alpha z^2 - \beta x^2$$

La maximisation de $\pi_T(x,z)$ par rapport à x et z donne le système d'équation suivant :

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \pi_T(x,z)}{\partial x} = \dfrac{M}{4} - 2x\beta - \dfrac{M(1-z)^2\gamma^2}{4x^2} = 0 \\ \dfrac{\partial \pi_T(x,z)}{\partial z} = \dfrac{M\gamma}{2} - 2z\alpha - \dfrac{M(1-z)\gamma^2}{2x} = 0 \end{cases}$$

Ce système d'équation peut aussi se réécrire :

$$\begin{cases} \dfrac{\partial H(x,z)}{\partial x} - \dfrac{M(1-z)^2\gamma^2}{4x^2} = 0 \\ \dfrac{\partial H(x,z)}{\partial z} - \dfrac{M(1-z)\gamma^2}{2x} = 0 \end{cases}$$

Comme les deux seconds termes à gauche du signe = des deux équations sont négatifs, on peut en conclure que la solution (x_T^*, z_T^*) de ce système d'équation est telle que :

$$\left.\frac{\partial H(x,z)}{\partial x}\right|_{x=x_T^*} > 0 \quad \text{et} \quad \left.\frac{\partial H(x,z)}{\partial z}\right|_{z=z_T^*} > 0$$

Comme $H(x,z)$ est concave en x et en z on en conclut finalement que $x_T^* < \dfrac{M}{8\beta}$ et $z_T^* < \dfrac{M\gamma}{4\alpha}$.

10 Arbitrage du régulateur entre une strucrture de duopole et une structure de monopole avec AMM

Nous comparons ici le surplus entre un équilibre avec monopole et un équilibre avec duopole dans le cas où ces surplus sont tous les deux positifs. Pour cela, nous considérons trois zones selon que γ est compris entre 0 et $0.11\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$, entre $0.11\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$ et $0.140\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$, entre $0.140\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$ et $\sqrt{\alpha}/2\sqrt{\beta}$, et enfin lorque γ est supérieur à $\sqrt{\alpha}/2\sqrt{\beta}$.

Tout d'abord, **lorsque** γ est compris entre 0 et $0.11\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$, le régulateur choisit $\bar{z} = 0.028M/\sqrt{\alpha\beta}$ s'il souhaite avoir un équilibre dans lequel une seule firme est présente. En effet, il ne peut choisir $\bar{z}_A^* = M\gamma/4\alpha$ car cela conduirait à une solution de duopole. Le surplus est alors :

$$W_A = \frac{0.0304(M\sqrt{\alpha} + 0.453M\sqrt{\beta}\gamma - 16.401\beta\gamma\sqrt{\alpha})}{\beta\sqrt{\alpha}}$$

On compare ce niveau de surplus avec celui obtenu en duopole avec $\bar{z} = 0,196M\gamma/\alpha$. La différence donne :

$$W_A^M - W_A^D = -\frac{(0.0041M(M(\alpha - 3.365\sqrt{\alpha\beta}\gamma + 18.88\beta\gamma^2) - 70.02\alpha\beta\gamma)}{\alpha\beta}$$

On peut montrer que $-(\alpha - 3.365\sqrt{\alpha\beta}\gamma + 18.88\beta\gamma^2) < 0$ pour toutes les valeurs des paramètres. En conséquence, la différence $W_A^M - W_A^D$ est concave en M avec une racine égale à 0 et la deuxième racine définie de la manière suivante :

$$M_{(1)} = \frac{70.02\alpha\beta\gamma}{\alpha - 3.365\gamma\sqrt{\alpha\beta} + 18.88\beta\gamma^2}$$

La différence $W_A^M - W_A^D$ est positive entre ces deux racines ce qui signifie que le monopole conduit à une surplus social supérieur si M est inférieur à $M_{(1)}$. On peut vérifier que $M_{(1)} = 0$ quand $\gamma = 0$: en l'absence d'externalité, le régulateur n'impose aucune contrainte ($\bar{z} = 0$) et on retrouve un modèle simple de différenciation verticale dans lequel l'équilibre avec duopole conduit à un surplus supérieur à l'équilibre avec monopole.

Ensuite, **lorsque** γ est compris entre $0.11\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$ et $0.140\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$, le régulateur choisit $\bar{z}_A^* = M\gamma/4\alpha$ s'il souhaite avoir un équilibre dans lequel une seule firme est présente. S'il s'impose un duopole, il choisit $\bar{z} = 0,196M\gamma/\alpha$. Dans ce cas, les surplus respectifs en monople et en duopole sont donnés par :

$$W_A^M = \frac{M(M(\alpha + 2\beta\gamma^2) - 16\alpha\beta\gamma)}{32\alpha\beta}$$

et

$$W_A^D = \frac{M\left(M(0,034\alpha + 0,077\beta\gamma^2) - 0,787\alpha\beta\gamma\right)}{\alpha\beta}$$

Nous comparons de ces deux surplus. Pour ce faire nous calculons leur différence. Cette différence est donnée :

$$W_A^M - W_A^D = -\frac{M\left(M(0,0033\alpha + 0,015\beta\gamma^2) - 0,287\alpha\beta\gamma\right)}{\alpha\beta}$$

On peut remarquer que $-(0,0033\alpha + 0,015\beta\gamma^2) < 0$ pour toutes les valeurs des paramètres. Par conséquent, la différence $W_A^M - W_A^D$ est concave en M avec une racine égale à 0 et la deuxième racine définie de la manière suivante :

$$M_{(1)} = \frac{0,287\alpha\beta\gamma}{0,0033\alpha + 0,015\beta\gamma^2}$$

Aussi, la différence $W_A^M - W_A^D$ est-elle positive entre ces deux racines. Cela signifie que le surplus social obtenu avec le monopole est supérieur à celui obtenu avec le duopole si et seulement si M est inférieur à $M_{(1)}$.

En outre,**lorsque** γ est compris entre $0.140\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$ et $\sqrt{\alpha}/2\sqrt{\beta}$, le régulateur choisit $\bar{z}_A^* = M\gamma/4\alpha$ s'il souhaite avoir un équilibre dans lequel une seule firme est présente. S'il s'impose un duopole, il choisit $\bar{z} = 0.028M/\sqrt{\alpha\beta}$. Rappelons que cette valeur de $\bar{z}$ correspond au cas où la firme 1 est indifférente entre vendre et ne pas vendre. Par contre le profit de la firme 2 est bien positif. Dans ce cas, les surplus respectifs en monople et en duopole sont donnés par :

$$W_A^M = \frac{M(M(\alpha + 2\beta\gamma^2) - 16\alpha\beta\gamma)}{32\alpha\beta}$$

et

$$W_A^D = \frac{M\left(M(0,033\alpha + 0,021\sqrt{\alpha\beta}\gamma) - 0,0787\alpha\beta\gamma\right)}{\alpha\beta}$$

Nous comparons ces deux surplus. Pour ce faire nous calculons leur différence.Nous obtenons :

$$W_A^M - W_A^D = -\frac{M\left(M(0,0018\alpha + 0,021\gamma\sqrt{\alpha\beta} - 0,062\beta\gamma^2) - 0,287\alpha\beta\gamma\right)}{\alpha\beta}$$

Cette différence est quadratique en M et les deux racines sont : $M = 0$ et

$$M_{(3)} = -\frac{0,287\alpha\beta\gamma}{0,0018\alpha + 0,021\gamma\sqrt{\alpha\beta} - 0,062\beta\gamma^2}$$

En posant $a(\gamma) = -(0,0018\alpha + 0,021\gamma\sqrt{\alpha\beta} - 0,062\beta\gamma^2)$, il est possible de montrer que $a(\gamma)$ est negatif pour des valeurs de γ assez petites. Deux cas sont donc possibles :

– Si γ est assez petit conduisant à $a(\gamma) < 0$, alors $W_A^M - W_A^D$ est concave en M et $M_{(3)} > 0$. Dans ce cas, $W_A^M - W_A^D$ est positif pour tout $M < M_{(3)}$.
– Si γ est assez grand conduisant à $a(\gamma) > 0$, alors $W_A^M - W_A^D$ est convexe en M et $M_{(3)} < 0$. Dans ce cas on a toujours $W_A^M - W_A^D > 0$.

Enfin, **lorsque** γ est supérieur à $\sqrt{\alpha}/2\sqrt{\beta}$, le régulateur choisit $\bar{z}_A^* = M/8\sqrt{\alpha\beta}$ s'il souhaite avoir un équilibre dans lequel une seule firme est présente sur le marché. Cette valeur de $\bar{z}$ est la valeur pour laquelle le monopole est indifférent entre vendre et ne pas vendre. Dans le cas où le régulateur s'impose un duopole, il choisit $\bar{z} = 0.028M/\sqrt{\alpha\beta}$. Ceci étant, les surplus respectifs en monople et en duopole sont donnés par :

$$W_A^M = \frac{M(M(\alpha + 4\sqrt{\alpha\beta}\gamma) - 32\alpha\beta\gamma)}{64\alpha\beta}$$

$$W_A^D = \frac{M\left(M(0,033\alpha + 0,021\sqrt{\alpha\beta}\gamma) - 0,0787\alpha\beta\gamma\right)}{\alpha\beta}$$

En faisant la différence de ces surplus, on obtient :

$$W_A^M - W_A^D = -\frac{M\left(M(0,017\alpha - 0,040\gamma\sqrt{\alpha\beta}) - 0,287\alpha\beta\gamma\right)}{\alpha\beta}$$

On peut montrer que $0,017\alpha - 0,040\gamma\sqrt{\alpha\beta} > 0 \Leftrightarrow \gamma > 0.42\sqrt{\alpha}/\sqrt{\beta}$ ce qui est toujours vrai ici car $\gamma > \sqrt{\alpha}/2\sqrt{\beta}$. Dans ce cas, la différence $W_A^M - W_A^D$ est convexe en M et elle admet deux racines : une racine nulle et une autre définie par :

$$M_{(4)} = \frac{0,287\alpha\beta\gamma}{0,017\alpha - 0,040\gamma\sqrt{\alpha\beta}}$$

Nous pouvons remarquer que $M_{(4)} < 0$. En conséquence, la différence $W_A^M - W_A^D$ est toujours positive entre ces deux racines.

Références

Amacher, G. and Malik, A. (2002). Pollution taxes when firms choose technologies. *Southern Economic Journal*, 68(4) :891–906.

Biglaiser, G. and Horowitz, J. K. (1995). Pollution regulation and incentives for pollution-control research. *Journal of Economics and Management Strategy*, 3(4) :663 – 684.

Bovenberg, A. and Demooij, R. (1994). Environmental Levies and Distortionary Taxation. *American Economic Review*, 84(4) :1085–1089.

Canton, J., Soubeyran, A., and Stahn, H. (2008). Environmental taxation and vertical cournot oligopolies : How eco-industries matter. *Environmental & Resource Economics*, 40(3) :369–382.

Cremer, H., Gahvari, F., and Ladoux, N. (2001). Second-best pollution taxes and the structure of preferences. *Southern Economic Journal*, 68(2) :258–280.

Daniels, J., Olshan, A., and Savitz, D. (1997). Pesticides and childhood cancers. *Environmental Health Perspectives*, 105(10) :1068–1077.

David, M., Nimubona, A.-D., and Sinclair-Desgagne, B. (2011). Emission taxes and the market for abatement goods and services. *Resource and Energy Economics*, 33(1) :179–191.

David, M. and Sinclair-Desgagne, B. (2005). Environmental regulation and the eco-industry. *Journal of Regulatory Economics*, 28(2) :141–155.

David, M. and Sinclair-Desgagne, B. (2010). Pollution Abatement Subsidies and the Eco-Industry. *Environmental & Resource Economics*, 45(2) :271–282.

Dich, J., Zahm, S., Hanberg, A., and Adami, H. (1997). Pesticides and cancer. *Cancer Causes & Control*, 8(3) :420–443.

Downing, P. and White, L. (1986). Innovation in Pollution-Control. *Journal of Environmental Economics and Management*, 13(1) :18–29.

Fullerton, D. (1997). Environmental levies and distortionary taxation : Comment. *American Economic Review*, 87(1) :245–251.

Innes, R. and Bial, J. (2002). Inducing innovation in the environmental technology of oligopolistic firms. *Journal of Industrial Economics*, 50(3) :265–287.

Jung, C., Krutilla, K., and Boyd, R. (1996). Incentives for advanced pollution abatement technology at the industry level : An evaluation of policy alternatives. *Journal of Environmental Economics and Management*, 30(1) :95–111.

Kaplow, L. (1996). The optimal supply of public goods and the distortionary cost of taxation. *National Tax Journal*, 49(4) :513–533.

Kaplow, L. (2004). On the (Ir)relevance of distribution and labor supply distortion to government policy. *Journal of Economic Perspectives*, 18(4) :159–175.

Karabelas, A., Plakas, K., Solomou, E., Drossou, V., and Sarigiannis, D. (2009). Impact of european legislation on marketed pesticides — a view from the standpoint of health impact assessment studies. *Environment International*, 35(7) :1096 – 1107.

Malueg, D. (1989). Emission Credit Trading and the Incentive to Adopt New Pollution-Abatement Technology. *Journal of Environmental Economics and Management*, 16(1) :52–57.

Milliman, S. and Prince, R. (1989). Firm Incentives to Promote Technological-Change in Pollution-Control. *Journal of Environmental Economics and Management*, 17(3) :247–265.

Montero, J. (2002a). Permits, standards, and technology innovation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 44(1) :23–44.

Montero, J.-P. (2002b). Market structure and environmental innovation. *Journal of Applied Economics*, page Montero2002b.

Motta, M. (1993). Endogenous Quality Choice - Price vs Quantity Competition. *Journal of Industrial Economics*, 41(2) :113–131.

Mussa, M. and Rosen, S. (1978). Monopoly and product quality. *Journal of Economic Theory*, 18(2) :301–317.

Parry, I. (1995). Optimal Pollution Taxes and Endogenous Technological-Progress. *Resource and Energy Economics*, 17(1) :69–85.

Parry, I. (1998). Pollution regulation and the efficiency gains from technological innovation. *Journal of Regulatory Economics*, 14(3) :Parry1998.

Requate, T. (2005). Dynamic incentives by environmental policy instruments - a survey. *Ecological Economics*, 54(2-3) :175–195.

Requate, T. and Unold, W. (2001). On the incentives created by policy instruments to adopt advanced abatement technology if firms are asymmetric. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 157(4) :536 – 554.

Requate, T. and Unold, W. (2003). Environmental policy incentives to adopt advanced abatement technology : Will the true ranking please stand up ? *European Economic Review*, 47(1) :125–146.

Sandmo, A. (1975). Optimal Taxation in the Presence of Externalities. *Swedish Journal of Economics*, 77 :86–98.

Tinbergen, J. (1952). On the theory of economic policy.

Turgut, C. and Fomin, A. (2002a). Sensitivity of the rooted macrophyte Myriophyllum aquaticum (Vell.) Verdcourt to seventeen pesticides determined on the basis of EC50. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 69(4) :601–608.

Turgut, C. and Fomin, A. (2002b). The ability of Myriophyllum aquaticum (Vell.) verdcourt in the uptake and the translocation of pesticides via roots with a view to using the plants in sediment toxicity testing. *Journal of Applied Botany-Angewandte Botanik*, 76(1-2) :62–65.

van den Bergh, J. C., Truffer, B., and Kallis, G. (2011). Environmental innovation and societal transitions : Introduction and overview. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1) :1 – 23.

Wauthy, X. (1996). Quality choice in models of vertical differentiation. *Journal of Industrial Economics*, 44(3) :345–353.