Economie de l'Environnement et du Climat

Matthieu Glachant, CERNA, MINES ParisTech

Exercices 2021

Exercice 1 - La tarification du service de collecte et de traitement des ordures ménagères

1) Le coût social correspond à la somme de tous les coûts, il s'agit donc dans cet exercice du coût économique, du coût environnemental et de l'effort des ménages. Pour répondre à la question, il faut minimiser la fonction de coût social :

$$\text{Min CS} = n\,[\tfrac{1}{2}(q° - q)^2] + \delta Q + C° + \theta Q$$

En remplaçant Q par nq, on obtient une fonction de coût social en fonction de la variable q :

$$\text{Min CS} = n\,[\tfrac{1}{2}(q° - q)^2] + \delta nq + C° + \theta nq$$

Nous cherchons la valeur de q* qui minimise la fonction de coût social, c'est pourquoi, nous appliquons les conditions du premier ordre CPO :

$$\frac{dCS}{dq} = -n\,[(q° - q)] + \delta n + \theta n = 0$$

Et l'on obtient le niveau d'effort de réduction socialement optimal : $q° - q^* = \theta + \delta$

Pour calculer le taux de la redevance permettant d'obtenir ce résultat, on se place du point de vue du ménage qui doit payer la redevance. Il minimise son coût privé :

$$\text{Min } \frac{1}{2}(q° - q)^2 + \rho q$$

La CPO est $\frac{dCP}{dq}=0$. Et donc $(q° - q) = \rho$. Cette équation décrit la fonction de réaction du ménage à un taux de redevance ρ. En remplaçant q par q* dans la fonction de réaction, on obtient : $\boxed{\rho^* = \theta + \delta}$.

2) Les dépenses de la municipalité sont les suivantes : $C° + \theta nq^* + \delta nq^*$ (Elle ne finance pas le coût environnemental). Les recettes de la municipalité sont : $n\rho^*q^* = n(\theta + \delta)(q° - \theta - \delta)$. Les deux n'ont aucune raison de coïncider car la dépense n'intègre pas l'environnement et la recette n'intègre pas le financement du coût fixe C°.
Mais une version modifiée assurant l'équilibre budgétaire consiste à faire payer à chaque ménage avec une partie fixe et une partie variable (un tarif binome). Seule la partie variable influence le comportement. On fixe son taux à ρ* pour obtenir l'effort optimal de réduction des déchets. On fixe la partie fixe au niveau réalisant l'équilibre budgétaire.

3) Il est évident que l'élimination illégale est toujours moins efficace que l'élimination puisque son coût social est toujours supérieur au coût social de l'élimination légal (θ + δ). Reste donc à calculer la répartition optimale entre élimination légale et prévention. Or nous avons déjà traité cette question dans la question 1 : il faut un effort de prévention q°-q* et le reste (q*) est éliminé. Il faudrait donc un taux de redevance égal à ρ*. Mais ce taux conduit à une élimination illégale totale puisque Ɛ < ρ*. Il faut donc diminuer ρ jusqu'à éviter cela, càd. jusque ρ = Ɛ. Ce niveau n'est pas un optimum de premier rang puisqu'il ne permet pas d'obtenir un niveau optimal de prévention. Mais il évite l'élimination illégale qui est la pire des options.

Exercice 2 – Responsabilité civile et prévention des marées noires

1) L'intérêt général doit prendre en compte le coût de la coque et celui de la marée noire. Je raisonne en millions €. Le coût social est alors $CS = t^2 + 8000p$ avec $p = 0{,}002/t$. En opérant la substitution, on obtient $CS = t^2 + 16/t$. La CPO s'écrit alors $dCS/dt = 2t - 16/t^2 = 0$. L'épaisseur optimale est donc 2 cm.

2) Evident. La même épaisseur (2 cm) puisque la règle conduit l'entreprise à internaliser la totalité du coût de la marée noire, y compris les dommages subis par les tiers. Son objectif est donc de minimiser le coût social. Message : il n'a pas que la taxe pigouvienne pour internaliser les coûts. La responsabilité civile est son équivalent quand il s'agit de réguler les risques. Son coût informationnel est plus limité qu'une taxe ex ante dont l'assiette serait l'épaisseur de la coque. La calibration de cette dernière exigerait de connaitre la probabilité d'accident et son cout. Avec la responsabilité, l'évaluation est ex post, i.e. par un juge quand le dommage se réalise. Le régulateur ne l'évalue donc qu'en cas d'accident, ce qui n'arrive pas systématiquement par définition (c'est une pollution *accidentelle*).

3) La valeur des actifs est inférieure au coût de la marée noire. Cela signifie que l'entreprise fera faillite en cas d'accident. Elle perdra « tout » soit 1 milliard (contre 8 milliards dans la question précédente). Ex ante, son coût est alors $t^2 + 1000p$. On a donc la CPO $2t - 2/t^2 =0$ et donc $t = 1$. C'est une faiblesse de l'instrument « responsabilité civile » quand il est utilisé pour inciter à la prévention d'accidents très graves (des « catastrophes » comme une marée noire ou un accident nucléaire). Certains observateurs avancent même que la sous-traitance du transport pétrolier à des entreprises spécialisées plus petites, dont la valeur des actifs est donc plus faible que celle des majors pétrolières est motivé par cet objectif de réduction du niveau de responsabilité.

Oui une autre politique est nécessaire. La plus simple est une réglementation prescrivant une épaisseur de coque de plus de 2 cm. Pour qu'elle soit optimale, il faut toutefois qu'elle se fonde sur la même info que la taxe ex ante décrite plus haut.

Exercice 3 – Une politique de l'eau

Considérons un bassin versant dans lequel la pollution provient de deux pollueurs 1 et 2. Ces pollueurs sont identiques du point de vue des coûts de dépollution. Leur coût de dépollution est donné par une fonction C(q) avec q la quantité de polluant rejeté dans le milieu est exprimé en quantité par litre d'effluent.

Leurs émissions polluent un point de captage de l'eau brute qui alimente une usine de production d'eau potable. Les pollueurs sont hétérogènes du point de vue de leur pouvoir polluant :

- 30% des émissions du pollueur 1 arrive au point de captage
- 60% des émissions du pollueur 2 arrive au point de captage

La législation requiert que l'eau potable distribuée ait une quantité de polluant par litre inférieur ou égale à x. L'usine d'eau potable peut réduire la teneur en polluant jusqu'au niveau requis par la législation à un coût F(y-x) avec y la teneur initiale en polluant de l'eau brute. On a F' et F''>0. Caractériser les niveaux de pollution (q_1*, q_2*) permettant d'atteindre la norme à moindre coût pour la société.

Exercice 4 – Les Agences de l'Eau

1) Déterminons le niveau de dépollution choisi par la centrale d'épuration. Nous nous plaçons du point de vue du pollueur qui minimise son coût privé compte tenu des instruments mise en œuvre par les agences de l'eau :

- La taxe sur les rejets correspond à : t (q°-q)
- La prime d'épuration correspond à : sq
- La subvention sur le coût de dépollution correspond à : aC(q)

La fonction de coût de la centrale s'écrit donc

$$\text{Min } C(q) + t(q°-q) - sq - ac(q)$$

Nous écrivons la CPO pour déterminer le niveau de dépollution choisi par la centrale : C'(q)-t- s + aC'(q) =0. Et donc

$$C'(q) = \frac{t+s}{(1-a)}$$

Dans la combinaison, la présence de la taxe ou de la subvention est indispensable car, sans l'un des deux, la dépollution est nulle. Si t=0 et s=0, q = 0.

2) La centrale est soumise à une norme prescrivant un niveau minimal de dépollution égal à N. On note q*, le niveau d'épuration déterminé dans la question précédente. En conséquence, quand on a $q^* > N$ alors le niveau d'épuration reste q*. Dans cette situation le respect de la norme ne sert à rien. En revanche, quand $q^* \leq N$, le niveau d'épuration est N. Le système de l'eau n'a alors pas d'effet sur le niveau d'abattement (mais demeure un effet financier). Dans la réalité, on est plutôt dans ce second cas.

3) On considère que les centrales ont des coûts de dépollution hétérogènes : certaines ont des coûts d'abattement faible et d'autre ont des coûts plus élevés. Les premières seront donc plutôt dans une situation où $q^*>N$. Leur effort sera déterminé par les instruments économiques. Les seconds épureront au niveau de la réglementation, qui jouera en quelque sorte le rôle d'une voiture balai.

Exercice 5 - La régulation environnementale des produits

1) Notons d'abord que production = consommation (il est inefficace de produire plus que ce l'on consomme). Le bien-être s'écrit alors W = U(q) – C(q) – δq. L'optimum social est donc défini implicitement par la condition U'(q*) = C'(q*) + δ. L'utilité marginale est égale à la somme du coût marginal de production et du dommage marginal.

2) C'est la taxe pigouvienne dont le taux est égal au dommage marginal, et donc t=δ. On le démontre facilement. Le consommateur maximise son surplus U(q) – tq – pq et le producteur maximise le profit pq – C(q). On donc 2 CPO : U'= p+t et C'=p. Et donc U'= C'+t. La comparaison avec l'équation de la question précédente implique immédiatement t = δ.

3) Le consommateur maximise maintenant U(q) – tq – pq – δq, ce qui implique U'(q) = t + p + δ. Le producteur (qui est le pollueur) ne le prend pas en compte dans son profit pq- C(q), ce qui implique C'=p. La comparaison avec l'optimum social conduit immédiatement à t=0. Un résultat qui peut paraître surprenant : le producteur est en effet le pollueur et le consommateur la victime (il intègre le dommage dans son surplus). Le premier génère donc un coût subi par autrui. Cela ressemble à une externalité sauf que les deux entités sont dans une relation marchande qui va permettre de l'internaliser.

Exercice 6 - Le contrôle des politiques environnementales

Adoptons dans un premier temps le point de vue du régulateur. La fonction de bien-être social s'écrit

$$W = \delta q - C(q) - wp. \qquad (1)$$

Pour identifier les valeurs de N et de p qui le maximisent, il est au préalable nécessaire de caractériser les relations entre q, choisi par le pollueur, et N et p choisis par le régulateur.

Dans ce but, adoptons le point de vue du pollueur. Soumis à la norme N et à une probabilité d'inspection p, il a deux choix possibles : respecter la norme ou tricher. Dans le premier cas, il choisira $q = N$ (il n'a aucun intérêt à aller au-delà de la norme puisque dépolluer est couteux). Son coût sera alors égal à $C(N)$. Dans le second cas, il choisira $q=0$. En effet, la sanction étant forfaitaire, il a tout intérêt à aller le plus loin possible dans la triche. Son coût sera alors égal à l'espérance statistique de la sanction pF. Il choisira alors de respecter la réglementation si $C(N) < pF$.

Une fois clarifiée la réponse du pollueur à la politique (N, p), nous pouvons revenir au point de vue du régulateur. Il a lui aussi deux options. La première est de choisir une politique qui assure le respect de la réglementation ($q=N$). Pour cela, il va choisir la valeur de p la plus faible possible (augmenter p est couteux pour lui). Cette valeur correspond à celle qui rend le pollueur indifférent entre respecter la norme ou tricher. Elle est définie par la condition $C(N) = pF$. On substitue $p = C(N)/F$ dans la fonction de bien-être exprimée dans l'équation (1) plus haut. On obtient

$$W(N) = \delta N - C(N) - w\, C(N)/F$$

On écrit la CPO par rapport à N :

$$\delta - \theta N\,(1+w/F)=0$$

et on obtient la valeur de N qui maximise le bien être

$$N^*=\delta/\theta(1+w/F)$$

Cette équation montre clairement l'effet du contrôle. Quand le niveau de la sanction F augmente, le régulateur peut augmenter l'ambition de la norme puisque le contrôle est plus dissuasif. Inversement, un coût d'inspection w élevé conduit le régulateur à diminuer l'ambition de la norme, et donc les incitations à tricher, pour limiter l'effort d'inspection.

L'autre choix est de laisser le pollueur tricher ($q=0$). Le régulateur ne fait alors aucune inspection ($p=0$) et le bien-être est nul $W=0$. Comme $W(N^*, p^*) > 0$, cette solution est dominée par la première.

Exercice 7 - Incitation à l'innovation et instruments de politique environnementale

1) La réponse est immédiate. On maximise le bien être $W=\delta q-C^\circ(q)$ ce qui permet d'identifier le niveau optimal d'abattement $q_*=\delta/\theta$. La taxe optimale est la taxe pigouvienne égale au dommage marginal $t_*=\delta$.La norme optimale est celle qui prescrit q_*. Les deux instruments ont la même efficacité puisqu'ils permettent d'atteindre l'optimum. (la taxe n'est pas supérieure à la norme car il n'y a pas une population hétérogène de pollueurs).

2) Sans innovation, le coût de la politique est $C^\circ(q_*)=\delta^2/2\theta$. Avec innovation, $C(q_*)+K = (\delta^2)/(4\theta) + K$. Il innove donc si $\delta^2/2\theta > (\delta^2)/(4\theta) +K$, ce qui est équivalent à $\delta^2/(4\theta) > K$. Nous noterons K_N, le terme de gauche de cette inégalité.

3) Sans innovation, le coût est $C^\circ(q_*) + t_*(q^\circ-q_*) = \delta(q^\circ-\delta/2\theta)$. Avec innovation, l'analyse est un peu plus compliqué car il révise son niveau de pollution: il va égaliser le taux de la taxe δ avec son nouveau coût marginal $C'(q)=\theta q/2$. On a donc $q(t_*)=2\delta/\theta$ qui est supérieur à q_* puisque le pollueur a une fonction

de coût plus favorable. Le coût total final est donc $C(q(t*)) + t*(q°-q(t*)) + K = \delta(q°-\delta/\theta)+K$. Il y aura innovation si

$$\delta^2/2\theta > K$$

Nous noterons K_{tax}, le terme de gauche de cette inégalité.

4) Il suffit de comparer K_N et K_{tax}. Il est immédiat que $K_N < K_{tax}$: l'incitation à innover puisqu'elle intervient pour un intervalle de valeur de K plus grand.

5) Quel est l'instrument le plus efficace ? Calculons pour cela la différence de bien être. Comme K=0, les firmes innovent systématiquement, on a donc

$W_{tax} - W_N = \delta(q(t*)-q*) - (\theta/4)(q(t*)^2-(q*)^2) = \delta^2/(4\theta) > 0$

La taxe est toujours plus efficace.

Exercice 8 - La fiscalité sur la circulation routière

1) Caractérisons la distance parcourue socialement optimale. La fonction de bien être s'écrit : $W(q,d) = S(d) - pq + pq - Cq - \delta q$. Il dépend de d et de q mais il existe une relation entre les deux variables : $q = dx$. Le bien-être s'écrit donc :

$$W = S(d) - p dx + p dx - C dx - \delta dx$$

La distance optimale est obtenue par la CPO : W'= 0, soit :

$$S'(d) = x\,(C + \delta)$$

On a une égalité entre le surplus marginal de l'automobiliste S' et le coût marginal d'utilisation de sa voiture qui comprend à la fois le coût économique et le coût environnemental.

2) Calculons la taxe socialement optimale par litre de carburant t_*. Pour cela, il faut caractériser la fonction de réaction de l'automobiliste face à une taxe L'automobiliste maximise son surplus incluant les achats de carburant :

$$\text{Max } SP = S(d) - (p + t)\, dx$$

On écrit la CPO qui nous fournit la relation $S'(d) = (p + t)\, x$. On compare cette relation avec celle de l'optimum social $S'(d^*) = x\,(C + \delta)$. Pour cela, on égalise les deux relations :

$$(p + t)\frac{x}{100} = \frac{x}{100}(C + \delta)$$

Le prix p est égal au coût marginal de production du carburant C. On obtient donc $\boxed{\delta = t^* .}$ Il s'agit de la taxe pigouvienne étant donné que la taxe t* est égale au dommage marginal environnemental δ.

3) Déterminons la combinaison (x, d) que l'automobiliste doit-il choisir pour atteindre l'optimum social.

<u>Étape 1</u> : La fonction de bien-être social

$W(d,x) = S(d) - p dx + p dx - c\, dx - \delta dx - \alpha(x)$

On écrit les 2 conditions du premier ordre: $\frac{\partial W}{\partial d} = 0$ et $\frac{\partial W}{\partial x} = 0$ et donc :

$$S'(d) = x\,(C + \delta) \quad \text{et} \quad -\alpha(x) = d\,(C + \delta)$$

<u>Étape 2</u>: La réponse de l'automobiliste

L'automobiliste maximise son surplus :

Max SP= S(d) – (p + t) dx - α(x) – rx

On applique les CPO sur la distance qu'il parcourt d et le type de véhicule qu'il va acheter x et on obtient :

$$S'(d) = (p+t)\,x \quad \text{et} \quad -(p+t)\,d - \alpha'(x) - r = 0$$

La comparaison des deux jeux d'équations nous donne t*= δ et r*=0. La taxe sur les carburants suffit dans la mesure où il cible directement le problème. La fiscalité à l'achat influence le choix du modèle de voiture mais pas celui de la distance parcourue. Si elle est utilisée, l'automobiliste conduira « trop ». Un effet « rebond » que la taxe sur les carburants empêche.

Exercice 9 – Taxe, subvention ou norme ?

1) Déterminons le profit de chaque entreprise :

L'entreprise Fireyear maximise son profit : π = recette – coût: Π= 60.Q_f – (300 + 2Q_f^2). Nous écrivons la CPO afin de déterminer la quantité de pneus produites par cette entreprise $\frac{d\ \Pi}{d\ Qf}$=60 - 4Q_f = 0, ce qui permet de déterminer la quantité de pneus, soit

$$\boxed{Q_f = 15 \text{ tonnes de pneus}}$$

Son profit est alors Π= 60.15 – (300 + 2$(15)^2$ = $\boxed{150 \text{ euros}}$

En suivant le même raisonnement pour Goodstone, nous trouvons une quantité de pneus produite de 30 tonnes et un profit de 400 euros.

2) Le gouvernement décide d'instaurer une taxe pigouvienne sur les émissions.

Etape 1 : L'optimisation sociale :

La fonction de bien être sociale s'écrit W= p ($Q_F + Q_G$) – 800 - 2Q_f^2 - Q_G^2 - 12 ($Q_F + Q_G$). Pour trouver l'optimum social, on écrit les CPO :

$$\frac{dW}{dQ_F} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{dW}{dQ_G} = 0$$

On trouve alors la valeur de $Q_F *$ =12 et Q_G*=24.

Etape 2 : L'optimisation privée des entreprises :

On maximise le profit respectif de chaque entreprise. Pour Fireyear, le programme s'écrit Max Π = 60 Q_F- 300 – 2Q_f^2 -TQ_F. La CPO est 60 – 4 Q_F –T =0. Il suffit de remplacer Q_F * par 12. La taxe efficace est de T= 12. On obtient le même résultat pour Goodstone Max Π = 60 Q_G- 500 – Q_G^2 -TQ_G. On obtient : 60 – 2Q_G –T =0. Il suffit de remplacer Q_G * par 24. La taxe efficace est la même : T= 12.

Le profit des entreprises s'écrit alors

$$\Pi_F = 60\,Q_F - 300 - 2Q_f^2 - 12Q_F = -12$$

$$\Pi_G = 60\,Q_G - 500 - Q_G^2 - TQ_G = 76$$

Le premier profit est négatif. Cela signifie que soumis à cette taxe, le producteur préfèrera ne pas produire. On aura donc $Q_F = 0$. Est-ce efficace ? Oui, car le profit inclut le dommage environnemental (via la taxe). Le bénéfice social de la production est donc négatif.

En résumé, la taxe optimale est égale à 12 et elle conduit aux niveaux optimaux de production $Q_F *= 0$ et Q_G*=24.

3) Le gouvernement décide de mettre en place une subvention sur la quantité de pollution évitée. Fireyear maximise son profit :

$$\text{Max } \Pi = 60\ Q_F - 300 - 2Q_f^2\ + (Q_F° - Q_F)$$

Q_F° : Correspond à la quantité de pollution sans aucun effort de dépollution.

$$\text{CPO: } \frac{d\ \Pi}{d\ QF} = 0 \qquad 60 - 4\ \ Q_F - \text{S} = 0$$

On remplace $Q_F *$ par 12 et on obtient S*=12. Pour finir, on détermine la valeur du profit : Π_F= 60.12-300 – 2 $(12)^2$ + (15- 12) = 168 euros, la firme F reste sur le marché car elle dégage un profit positif lorsqu'elle est soumise à une subvention et elle produit la quantité $Q_F *= 12$.

4) La comparaison des résultats.

Comme prévu, la production sans régulation est trop importante. Ensuite, taxe et subvention optimale ont le même taux et conduisent donc au même niveau de production SAUF que la taxe conduit la firme Fireyear à sortir du marché, ce qui est socialement préférable.

C'est là un résultat central d'économie de l'environnement : une taxe sur la pollution ou une subvention sur la dépollution ont les mêmes propriétés marginales à court terme, mais la subvention augmente la profitabilité et donc incite des entreprises à entrer dans les secteurs subventionnés ou à ne pas en sortir (comme Fireyear dans notre exercice). Cela génère une inefficacité de long terme car il y a alors trop d'entrées ou pas assez de sorties, et donc trop de pollution à long terme.

Exercice 10 - Les risques technologiques

1) π′(e)<0 signifie que, logiquement, la probabilité d'accident diminue avec e. π"(e)>0 signifie que cette diminution est de moins en moins forte (les rendements des efforts de prévention sont décroissants)

2) C'est le niveau qui minimise le coût social CS(e)=π(e)D+e. e^{∗} est alors défini par la condition de premier ordre, soit π′(e^{∗})=-1/D

3) Evident à partir du moment où la responsabilité est intégrale. Dans ce cas, l'usine doit payer D en cas d'accident. Ex ante, son coût (privé) est donc π(e)D+e qui est égal au coût social.

4) a) Le prix maximal est celui qui est égal à l'utilité soit p(d)=U-π(e)D(1-d). Remarque : U-π(e)D(1-d) est également utilité marginale puisque l'on ne consomme qu'une unité du bien (une maison).

b) L'acheteur va choisir la distance qui maximise son surplus. Ce surplus s'écrit U-π(e)D(1-d)-p(d). Mais comme p(d)=U-π(e)D(1-d), ce surplus est nul quel que soit d. L'acheteur est indifférent. Intuitivement, la raison tient au fait que le prix de la maison internalise complètement le dommage (à cause de la concurrence entre acheteurs).

c) Le bien-être social est la différence entre l'utilité des consommateurs et les coûts (qui se limitent au coût de prévention puisque l'on a supposé que le coût de construction de la maison était nul). Soit W(e,d) = U - π(e) D (1-d) + e.

Le prix p(d) n'intervient pas puisqu'il s'agit d'un transfert. On observa alors immédiatement que W diminue avec d : la distance optimale est la distance maximale possible soit d∗ = 1. Si on remplace d∗ =1 dans W, on obtient W(e,d∗) = U + e, qui augmente avec e. L'effort optimal est donc e∗ = 0. C'est logique : quand on est à une distance d∗, le dommage est nul. Il n'est donc pas nécessaire de faire de la prévention.

d) L'exercice montre que la prévention concerne les responsables et les victimes (ici à travers les décisions de localisation de la résidence). Une politique de responsabilité civile crée des incitations à la prévention au niveau de l'usine mais pas du tout au niveau des habitants (puisqu'ils sont remboursés quoiqu'il advienne). Une politique de prévention doit donc combiner principe de responsabilité au niveau des usines et réglementation au niveau des victimes (en matière de zonage notamment).

Vous pouviez également poursuivre l'exercice en remarquant que si l'on intègre dans l'analyse le constructeur de la maison, les résultats sont modifiés. Le constructeur a intérêt à vendre le plus cher possible ce qui le conduira à construire la maison en d=1 (où le prix est maximal). On a donc, sans responsabilité civile (question 4), un équilibre efficace (puisque d=1 ce qui autorise e=0). Si l'on poursuit encore l'analyse, il faut supposer qu'à partir du moment où des maisons sont construites en d=1, les nouvelles maisons le sont à une distance plus faible. Des ménages seront prêts à les acheter puisque leur surplus ne dépend pas de la distance (question 4b). L'effort optimal de prévention n'est alors plus e∗ = 0. Il faut alors inciter l'usine à la prévention.

Exercice 11 - La régulation de la pollution diffuse : l'exemple du nitrate

1) Il fallait surtout faire remarquer que F est concave = la productivité du dernier kg d'engrais diminue avec le niveau de production. Les rendements sont décroissants. Par ailleurs, les agriculteurs sont hétérogènes du point de vue de leur effet sur l'environnement.

2) La fonction de bien-être s'écrit

$$\sum_i \left(p_y \times y_i - p_E \times q_i\right) - \delta x$$

En substituant $y_i = F_i(q_i)$ et x=a1 q1+a2 q2 +B, on obtient :

$$\sum_i \left(p_y \times F(q_i) - p_E \times q_i\right) - \delta(a_1 q_1 + a_2 q_2 + B\ )$$

ce qui donne 2 conditions de premier ordre :

$$p_y \times F'(q_i) - p_E = a_i \delta \qquad (1)$$

Que nous réécrivons

$$F'(q_i) = \frac{a_i \delta + p_E}{p_y}$$

Plus le prix du blé est élevé, plus F0 est faible et donc plus F est grand (car F'' < 0), et donc plus qi est élevé, et donc plus yi* = F(qi*) le niveau de production optimal est élevé. Inversement, le niveau de production est plus faible quand le prix de l'engrais est élevé et quand le dommage est important.

3) On se place maintenant du point de vue de l'agriculteur i qui maximise un profit qui inclut une taxe sur la quantité d'engrais achetée:

$$p_y F_i(q_i) - (p_E + t) q_i$$

La CPO fournit alors la fonction de réaction à la taxe :

$$p_y F_i'(q_i) - (p_E + t) = 0$$

La comparaison de cette expression avec la condition (1) indique immédiatement que la taxe t doit être égale à $a_i\,\delta$. Comme $a1 \neq a2$, on ne peut donc obtenir les niveaux optimaux de production avec une taxe uniforme. Elle doit être spécifique à chaque agriculteur. La raison est que cette taxe ne cible pas la pollution, mais l'intrant à l'origine de la pollution. Or comme la relation entre l'intrant et le pollution est spécifique à chaque pollueur, le caractère uniforme de la taxe introduit une distorsion.

4) On suppose maintenant que le pollueur *i* paye une taxe τ sur l'excédent, c'est à dire sur l'azote non absorbé par la plante, c'est à dire sur l'assiette $a_i q_i$. Il maximise son profit, ce qui s'écrit :

$$\max_{q_i} \quad p_y \times F_i(q_i) - p_E \times q_i - t\, a_i \times q_i$$

On obtient alors la CPO :

$$p_y \times F_i'(q_i) - p_E = a_i \times t$$

En comparant cette condition avec (12-1), on obtient le taux optimal de taxe sur les excédents azotés :

$$t^* = \delta$$

C'est la taxe pigouvienne. Le problème est que la mettre en œuvre dans la pratique suppose de connaître le niveau de l'excédent azoté de chaque agriculteur, et donc les a_i ce qui est très compliqué…

5) Le pollueur maximise

$$p_y\, F_i(q_i) - p_E q_i - \gamma x = p_y\, F_i(q_i) - p_E q_i - \gamma(a_1 q_1 + a_2 q_2 + B)$$

La CPO s'écrit

$$p_y\, F_i'(q_i) - p_E - \gamma\, a_1 q_1 = 0$$

C'est la même que dans la question précédente. On peut donc atteindre l'optimum avec un taux $\gamma = \delta$. Elle est efficace car elle cible la pollution comme la taxe pigouvienne. La seule différence est qu'elle cible la totalité de la pollution, y compris celle émise par l'autre agriculteur. Mais cela n'a pas d'effet incitatif différent puisque l'agriculteur ne peut modifier que sa pollution.

6) En information imparfaite, en particulier si le régulateur ne connait pas les ai, la taxe la plus efficace est la taxe ambiante. En effet, la taxe sur les engrais reste sous optimale et la taxe sur les excédents azotés ne peut plus être mise en œuvre efficacement faute d'information suffisante.

Examiner les effets distributifs consiste à comparer le coût des différentes politiques pour les agriculteurs. La taxe ambiante est évidemment beaucoup plus coûteuse que la taxe sur les excédents azotés pour le taxé puisque les taux sont identiques et l'assiette de la seconde est plus faible. La comparaison avec la taxe sur les engrais est plus compliquée puisque nous n'avons pas calculé précisément son taux. Mais si on raisonne sur une version différenciée, son taux est $a_i\,\delta$ et son assiette qi, soit un coût financier $a_i\,\delta qi$, similaire au coût financier de la taxe sur les excédents azotés. Les deux taxes présentent donc des profils distributifs similaires. Pour résumer, si l'on peut ignorer les effets distributifs, la taxe ambiante est indéniablement la solution à préférer car elle est efficace et simple à mettre en œuvre. Mais son coût pour les agriculteurs devient rapidement très important quand leur nombre augmente. On est alors amener à choisir entre une taxe sur les engrais, sous optimale mais simple, ou une taxe sur les excédents, efficace mais compliquée à mettre en œuvre.

Exercice 12 - Les nuisances sonores autour d'un aéroport

1) Le bien-être social est W = $\Pi(m)$ - mc°. Le nombre optimal est donc $\Pi'(m)$ = c° (profit marginal du pollueur = coût marginal environnemental).

2) Ce cera la taxe pigouvienne. La compagnie maximise $\Pi(m)$ - tm ce qui implique $\Pi'(m)$ = m. On a donc bien t=c°.

3) Le bien être maintenant dépend de deux variables W (m, c) = $\Pi(m)$ – mc - $(a/2)(c°-c)^2$. Les deux CPO sont alors :

$$\partial W/\partial m = \Pi'(m) - c = 0 \qquad \text{et} \qquad \partial W/\partial c = -m + a(c°-c) = 0$$

Comme c est inférieur (seconde CPO), m est plus grand (1ere CPO). Intuition : par rapport à la première question, nous avons introduit un moyen supplémentaire pour réduire la nuisance (l'insonorisation) qui vient se substituer partiellement au moyen consistant à réduire le nombre de mouvement.

4) Examinons comment l'habitant réagit à la subvention. Elle est inclus dans son coût privé qui s'écrit maintenant : $C(m) = mc + (1-s)(a/2)(c°-c)^2$. La CPO est alors m = (1-s)a(c°-c). La comparaison avec la CPO de la question 3 montre que la subvention doit être nulle. Cela tient au fait que la décision d'insonoriser ne produit des coûts et des bénéfices que pour l'habitant. Elle ne génère pas une externalité affectant le profit de la compagnie. La décision de l'habitant est donc socialement optimale. Dans la réalité, ce type de subvention est parfois octroyé. L'exercice nous apprend que l'instrument se justifie pour des raisons distributives (« indemniser » les victimes du bruit) et que cela se fait au détriment de l'efficacité sociale (elle influence le partage du gâteau au profit de la victime au détriment de la taille du gâteau). Rien de choquant à cela : l'équité est l'un des objectifs de l'Etat.

Exercice 13 – Une pollution transfrontière

1) Aucun pays ne mettra en place de taxe puisque la Comté subit un dommage mais ne peut pas réguler une firme à l'étranger. Inversement, la Moria ne subit aucun dommage et n'a donc pas intérêt à réguler la firme localisée chez elle.

2) Il maximise le coût social mondial qui s'écrit

$$\delta Q + C(q) = \delta\,(Q°-q) + q^2/2.$$

L'optimum est décrit par la CPO : $-\delta + q=0$ donc $q^* = \delta$. Ce niveau de dépollution peut être atteint avec une taxe dont le taux est égal à δ. C'est la taxe pigouvienne.

3) La réponse est très simple. Comme la Comté a le pouvoir de négociation, elle fixera un transfert en échange d'un effort de dépollution égal au minimum qu'est prêt à accepter, soit T = C(q). Pour choisir le niveau du transfert, la Comté maximisera donc Q + C(q) soit le coût social mondial. C'est donc une solution efficace. Il s'agit en fait d'un marchandage Coasien dans lequelles droits de propriété sont affectés à la firme de la Moria.

4) Il est évident que 2 et 3 sont meilleures que 1 et conduisent au même résultat. Pour aller au-delà, il convient de s'interroger sur la faisabilité des deux options. De mon point de vue, il est difficile d'avoir une conclusion tranchée. On peut remarquer que la première solution exige un accord international incluant un transfert entre les deux pays en échange d'un engagement de la Moria sur un niveau de dépollution, ce qui est donc très similaire à la solution 3 sauf que la négociation implique le régulateur de La Moria, alors qu'elle implique directement la firme dans la solution 3. La solution 3 apparaît alors comme plus directe sauf que comme le montre Coase, elle nécessite des droits de propriétés non

ambigus, ce qui nécessite l'implication du régulateur de la Moria… On peut aussi remarquer que la solution 3 rappelle le Mécanisme de Développement Propre du Protocole de Kyoto.

Exercice 14 – Learning by doing

1) Elle suggère que le coût diminue avec les efforts de dépollution passés. En effet (1-q1)/q1 diminue avec q1. On a donc une forme d'apprentissage que l'on appelle le plus souvent le Learning By Doing.

2) Il suffit d'écrire le bien être :

$$W(q1,q2) = q1 + q2 - a(q1)^2/2 - a(q2)^2((1-q1)/q1)/2.$$

Les deux CPO s'écrivent :

$$1 – a\ q1 + a(q2)^2 /(2(q1)^2) = 0$$

$$1 - aq2((1-q1)/q1) = 0$$

On voit que a1 est plus grand que a2. C'est intuitif : la dépollution en première période fournit un bénéfice supplémentaire = un coût plus réduit en période 2.

Quelles taxes doit-on alors appliquées en période 1 et en période 2 ? Il faut écrire le programme d'optimisation privé du pollueur. Il minimise :

Coût total = $t1*(Q-q1) + t2(Q-q2) + a(q1)^2/2 + a(q2)^2((1-q1)/q1)/2$. Les CPO s'écrivent alors

$$-t1 + aq1 - a(q2)^2 /(2(q1)^2) = 0 \Rightarrow t1^* = 1$$

$$- t2 + aq2^*((1-q1)/q1) = 0 \Rightarrow t2^* = 1$$

Il ne faut donc pas différencier les taux de taxe. Intuitivement, ce n'est pas nécessaire car le pollueur intègre dans son calcul les bénéfices d'apprentissage.

Exercice 15 - La labélisation énergétique des logements

1) Comme le prix des logements et la qualité perçue sont identiques, chaque ménage choisit aléatoirement un logement. Chaque logement a donc une probabilité ½ d'être occupé par un ménage consommant beaucoup d'énergie. La moitié des logements étant efficace, et donc ayant une consommation énergétique nulle quel que soit l'occupant, la consommation moyenne est égale à $(E_{min} + E_{max})/4$.

2) Il y a maintenant une différenciation de la qualité (perçue des logements). Par rapport à la situation de référence sans label, le prix du logement efficace augmente, celui du logement inefficace diminue. Comme les ménages consommant beaucoup d'énergie ont un consentement à payer plus élevé pour la performance énergétique, le processus concurrentiel sur le marché de l'immobilier les conduit à acheter les logements plus efficaces. Les n logements inefficaces seront eux achetés et occupés par les consommateurs dépensant Emin. La consommation moyenne des 2n logements sera alors égale à Emin /2. En améliorant le matching entre ménages et logements, le label a diminué la consommation d'énergie.

3) Compte tenu des hypothèses, la question de l'investissement ne se pose que pour les logements inefficaces occupés par des consommateurs de type Emax. Les autres n'investissent jamais puisque I > Emin.

Sans label, les ménages découvrent ex post la performance énergétique du logement. L'allocation des logements est toujours aléatoires et ¼ des logements sont inefficaces et occupés par des consommateurs dépensant Emin qui n'investiront pas puisque I > Emin. Un autre quart est constitué de logements inefficaces occupés par des consommateurs de type Emax. Ces derniers investiront ou pas selon la valeur de I :

Cas 1 : Si I > Emax, ils n'investissement pas et on a la consommation moyenne de la question 1 : (Emin + Emax)/4.

Cas 2 : Si I < Emax, ils investissement et la consommation moyenne tombe à Emin/4

Avec label, les consommateurs de type Emax achètent les logements efficaces ce qui annule leur dépense énergétique. Les autres achètent les logements inefficaces, n'investissement pas et dépenses Emin par logement. La consommation moyenne est donc Emin/2 comme dans la question 2.

Comparons maintenant les deux scénarios. Dans le premier cas (I >Emax), la consommation d'énergie est plus faible avec le label. Dans le second, elle est supérieure avec le label ! L'intuition est la suivante : En informant le ménage, le label fournit un moyen additionnel au ménage fortement consommateur pour moins consommer : acheter un logement efficace (au lieu d'investir dans un logement inefficace).

4) On se concentre sur le cas avec investissement. En outre, comme tous les ménages dérivent une utilité U dans tous les cas, on peut se limiter à comparer les coûts (coût énergétique + investissement). Considérons les deux cas :

1. Le coût total est égal à 1/4 * (Emin + Emax) sans label et Emin /2 avec label. Le label améliore l'efficacité.
2. Le coût total est (1/4) Emin + (1/4) I sans label et Emin / 2 avec label. Comme Emin est inférieur à I, le label améliore l'efficacité. Le label a permis d'éviter des investissements trop couteux.

On observe donc que plus d'information améliore l'efficacité sociale, mais elle ne diminue pas nécessairement la consommation énergétique.

Exercice 16 - L'adaptation au risque de submersion en bord de mer

1) La famille Durand choisit la distance d qui minimise son coût total = coût espérée de la submersion + coût de transport pour se baigner = c(d) +2*d avec $d \leq 0,1$. La CPO s'écrit : $c'(d)+2 = -2/d^2 + 2 = 0$. La famille Durand s'installe donc à 1 km de l'eau.

2) A 100 m du rivage puisqu'elle ne subit que le coût de transport. Ce n'est pas optimal puisque cela ne minimise pas le coût social qui est ici égal à c(d) +2d.

3) Même réponse que précédemment pour les mêmes raisons. A 100 m du rivage

4) Réponse immédiate. Le coût social est c(d) + 2/d, et donc égal au coût subi par la famille en l'absence d'intervention publique. Le choix de d par la famille n'a pas de conséquence sur autrui (pas d'externalité). L'Etat ne doit pas intervenir. Toute protection de l'Etat (par une digue ou l'indemnisation) conduit la famille à trop s'exposer au risque de submersion.

5) La famille est à 1 km du rivage. Elle subit donc un coût espéré de la submersion égal à 1 €. Indemniser aujourd'hui ce coût ne modifie pas le coût social. Cela transfère seulement la charge de la famille Durand au contribuable finançant l'indemnité par l'impôt. Cette indemnisation est donc neutre sur l'efficacité. Reste à la juger sur le critère de l'équité, une question difficile sans connaître le profit des contribuables et de la famille Durand.

La digue a, elle, un effet sur le coût social puisqu'elle supprime le coût de la submersion. A l'aune de l'intérêt général, elle améliore la situation si C est inférieur à ce coût : C<1. Dans ce cas, elle suscite également un transfert entre le contribuable qui finance C et la famille Durand qui évite la submersion. L'équité de ce transfert se pose dans les mêmes termes que précédemment. A noter que son niveau est inférieur à celui observé en cas d'indemnisation.

Exercice 17 – Un système de certificats d'électricité renouvelable

1) On écrit le coût social qui est la somme du surcoût de production du renouvelable et du dommage environnemental

$CS = (\alpha_A q)^2 + (1/2)(\alpha_B q)^2 + \delta\ (2 - \alpha_A q - \alpha_B q)$

Les deux conditions de premier ordre sont $\partial CS/\partial\alpha_A = 0$ et $\partial CS/\partial\alpha_B = 0$. Elles impliquent que

$$\alpha_A^* = \delta/2q \text{ et } \alpha_B^* = \delta/q$$

Le producteur A dont le surcout de production est plus élevé produit moins de renouvelables à l'optimum social.

2) On s'interroge dans un premier temps sur le fonctionnement du marché. En l'occurrence, il s'agit d'identifier la valeur de x qui émergera à l'équilibre si les producteurs sont soumis à l'obligation α . Le surcoût de la production de renouvelables étant plus élevé pour le producteur A que pour le producteur B, on peut supposer que le producteur A va payer le producteur B pour qu'il produise une quantité supplémentaire de renouvelables x. On note p le prix d'échange d'une unité de renouvelables. On écrit alors le cout total pour chacun des producteurs de la manière suivante :

$$C_A = (\alpha q - x)^2 + px$$

$$C_B = (1/2)(\alpha q + x)^2 - px$$

Chaque producteur choisit la valeur de x qui minimise son cout sous la contrainte que la quantité vendue par l'un est achetée par l'autre (et donc égal à x). Par ailleurs, le marché étant concurrentiel, chaque producteur considère que le prix p est donné quand il prend sa décision. L'équilibre de marché est donc donné par ces deux conditions :

$\partial CA/\partial x = 0 \Rightarrow p = 2\ (\alpha q - x)$

$\partial CB/\partial x = 0 \Rightarrow p = \alpha q + x.$

On en déduit la quantité échangée : $\mathbf{x^* = \alpha q / 3}$. Le producteur A produit donc alors $\alpha q - x^*$ et donc une part $\alpha_A' = 2\alpha/3$ de renouvelables. Le producteur B produit quant à lui une part $\alpha_B' = 4\alpha/3$. Le marché a réalloué une partie de l'effort d'intégration des renouvelables au producteur B qui a le coût le plus faible.

Il nous reste à déterminer si une valeur de α peut conduire à la répartition socialement optimale de la production de renouvelables identifiée dans la question précédente. En l'occurrence, existe-t-il une valeur de α telle que

$$\alpha_A' = \alpha_A^*$$

$$\alpha_B' = \alpha_B^*$$

La réponse est positive. Il suffit de choisir $\alpha^* = 3\ \delta/4q$.