
Coordination face à un mixte d'instruments pour réguler la pollution diffuse. Une étude expérimentale

Coordinating with a mix of instruments to regulate diffuse pollution: An experimental study

François Destandau, Mohamed Ali Bchir et Anne Rozan



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/6331>

DOI : [10.4000/economierurale.6331](https://doi.org/10.4000/economierurale.6331)

ISSN : 2105-2581

Éditeur

Société Française d'Économie Rurale (SFER)

Édition imprimée

Date de publication : 1 octobre 2018

Pagination : 97-115

ISSN : 0013-0559

Référence électronique

François Destandau, Mohamed Ali Bchir et Anne Rozan, « Coordination face à un mixte d'instruments pour réguler la pollution diffuse. Une étude expérimentale », *Économie rurale* [En ligne], 366 | Octobre-décembre, mis en ligne le 01 octobre 2019, consulté le 07 janvier 2021. URL : <http://journals.openedition.org/economierurale/6331> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/economierurale.6331>

© Tous droits réservés

Coordination face à un mixte d'instruments pour réguler la pollution diffuse

Une étude expérimentale

François DESTANDAU, Mohamed Ali BCHIR, Anne ROZAN • GESTE, UMR MA 8101, Engees-Irstea. ENGEES, Strasbourg ; BETA UMR 7522 CNRS
francois.destandau@engees.unistra.fr ; mohamedali.bchir@engees.unistra.fr ;
anne.rozan@engees.unistra.fr

Réguler une pollution diffuse en mixant des instruments, taxe ambiante et zones tampons, apparaît pertinent en théorie mais risque de compliquer la coordination et donc la mise en œuvre de la politique. C'est ce que les auteurs cherchent à observer à travers une expérience en laboratoire. Afin d'atteindre une norme environnementale, et ainsi éviter de payer une taxe ambiante, les joueurs avaient la possibilité de renoncer, en partie, à une activité lucrative mais polluante, ou contribuer à une zone tampon. L'expérience montre la capacité de cet instrument mixte à converger vers l'objectif environnemental.

MOTS CLÉS : *gestion de l'eau, pollution diffuse, taxe ambiante, zone tampon, expérience en laboratoire*

Coordinating with a mix of instruments to regulate diffuse pollution: An experimental study

Regulating ambient pollution with a mix of instruments—an ambient tax and buffer zones—is relevant in theory but may complicate coordination and, as a consequence, the implementation of a policy. The aim of this paper is to examine the prospects for applying this method of regulation, and we test out this possibility via an experiment in the laboratory. In order to reach an environmental norm, and to avoid paying an ambient tax, the players had the option to either put an end to a part of their lucrative but polluting activities, or to contribute to a buffer zone. Our experiment shows that a mix of instruments is able to reach an environmental target. (JEL: C92, Q25, Q58).

KEYWORDS: *water management, non-point source pollution, ambient tax, buffer zone, laboratory experiment*

Malgré des efforts pour améliorer la qualité des milieux aquatiques, la pollution diffuse, notamment d'origine agricole, reste un problème très préoccupant. Dans le cas d'une pollution diffuse, les émissions individuelles ne peuvent pas être observées à cause des coûts prohibitifs de contrôle. Le régulateur ne peut donc pas appliquer une taxe classique pour corriger la pollution. Face à ce problème, Segerson (1988) a proposé, à la suite d'Holmström (1982), la solution d'une nouvelle taxe dite « taxe ambiante ».

L'idée de Segerson (1988) est d'imposer à tous les usagers, indépendamment de leur niveau d'émission, une taxe dès lors que la norme environnementale de pollution ambiante est dépassée. Lorsque le niveau de pollution est inférieur à la norme, aucune taxe n'est appliquée. La menace de la taxe ambiante conduit ainsi les usagers à réduire leurs niveaux d'émissions individuelles à la source.

Une autre solution proposée pour réduire la pollution diffuse consiste à améliorer la capacité épuratrice

des milieux naturels en construisant des zones tampons : bandes enherbées, zones humides... (Onema, 2016). L'accroissement de la capacité épuratrice des milieux naturels pour réduire la pollution diffuse par une zone humide a été notamment beaucoup étudié dans la littérature économique scandinave depuis le début des années 2000, notamment dans le cadre de la Convention d'Helsinki visant à réduire l'eutrophisation de la mer Baltique (voir Elofsson 2010 ; Destandau *et al.*, 2013 pour un *survey* de la littérature). Dans des contextes géographiques autres que scandinave, sont étudiés l'intérêt des populations pour ce type de dispositif (Ahmad *et al.*, 2013), le consentement à payer des agriculteurs (Buckley, 2012), ou les politiques d'incitation à créer ou restaurer des zones humides (Heberling *et al.*, 2010 ; Crépin, 2005).

Dans ce travail, c'est une approche par un instrument mixte qui nous intéresse. En effet, différentes raisons sont évoquées pour justifier l'utilisation de plusieurs instruments. Tout d'abord, lorsque la politique du régulateur a plusieurs objectifs (Goulder et Parry, 2008), puis pour des raisons informationnelles, qui peuvent se manifester par une asymétrie d'information entre le pollueur et le régulateur¹, ou bien à cause d'une incapacité du régulateur à observer parfaitement les émissions individuelles (Xepapadeas, 1995).

Dans ce contexte, différents articles ont étudié la combinaison d'un instrument préventif (taxe sur les émissions, taxe sur les inputs) à un instrument répressif sanctionnant *a posteriori* les pollueurs potentiellement responsables des dommages (Kolstad *et al.*, 1990 ; Braden et Segerson, 1993 ; Xepapadeas, 1995 ; Horan *et al.*,

1998). D'autres ont combiné des instruments agissant à la source (taxe sur les émissions, taxe sur l'input) et sur l'output (taxe sur l'output, taxe sur l'utilisation des terres, réduction des terres ou des stocks) (Schmutzler, 1996 ; Goetz *et al.*, 2006 ; Aftab *et al.*, 2010). Enfin, une troisième catégorie d'articles s'est intéressée à une réduction des émissions à la source combinée à la construction d'une zone tampon (Lankoski et Ollikainen, 2003 ; Ribaud *et al.*, 2001 ; Destandau *et al.*, 2013). C'est cette dernière approche combinant une taxe ambiante avec une zone tampon qui nous intéresse dans ce travail.

Ribaud *et al.* (2001) comparent une politique de réduction des intrants à la source à une politique de construction de zones humides à l'aval pour réduire les nutriments dans le bassin du Mississippi. L'une ou l'autre politique est plus intéressante selon l'objectif de réduction de pollution ambiante. Destandau *et al.* (2013) combinent ces deux types d'instruments pour réduire les pesticides issus d'un bassin viticole en France. La combinaison permet une réduction de 90 % des pesticides par rapport à une action ciblée uniquement à la source. Lankoski et Ollikainen (2003) se placent du point de vue d'un agriculteur qui choisit sa quantité d'intrant mais également la surface des terres qui sera consacrée à une zone tampon. Le régulateur cherche à obtenir l'allocation optimale par une taxe sur les intrants combinée à une subvention sur les zones tampons.

Cependant, tous ces travaux cités posent la question du point de vue du régulateur cherchant à identifier la meilleure combinaison d'instruments possible. Dans cet article, c'est la capacité de l'usager à appréhender deux instruments qui nous intéresse. À cet effet, l'approche par la méthode expérimentale est pertinente car elle permet de révéler les comportements

1. Laffont et Tirole (1993) proposent, dans ce cas, un menu de contrats pour révéler l'information, Roberts et Spence (1976) de mixer la régulation par les prix et les quantités.

des joueurs, ce qui n'a pas été fait dans les travaux cités ci-dessus.

Dans cette étude, en plus de la taxe ambiante, nous donnons la possibilité aux pollueurs d'investir dans des zones tampons qui augmenteront la capacité assimilatrice du milieu. Ce faisant, le pollueur peut limiter son risque de devoir s'acquitter de la taxe ambiante à travers une des deux solutions : la restriction de ces émissions à la source ou la création d'une zone tampon. Ainsi, un premier avantage à cette gestion mixte est que dans un contexte où la réduction des effluents sera peu coûteuse et les zones tampons coûteuses (ou peu efficaces), les pollueurs devront se coordonner vers une réduction des émissions, dans le cas contraire, ils devront se coordonner vers la solution « zone tampon ». Un second avantage est que chaque instrument propose une réponse au défaut de l'autre. Ainsi, la construction de la zone tampon nécessite une coordination que la menace de la taxe ambiante peut faciliter. De même, la présence de la zone tampon donne la possibilité aux pollueurs de limiter le risque de devoir s'acquitter de la taxe ambiante s'ils investissent dans des zones tampons qui augmenteront la capacité assimilatrice du milieu.

Plus précisément, nous proposons dans cet article de tester la régulation de la pollution diffuse par un double instrument taxe ambiante/zone tampon à travers une expérience en laboratoire. Cela revient à effectuer une régulation par la taxe ambiante avec une option de sortie à travers la production d'un bien public. En effet, la zone tampon peut être assimilée à un bien public avec seuil, à savoir qu'il faut un effort collectif minimum pour que le bien public soit produit. Si les efforts collectifs sont en dessous du

seuil, le bien public n'est alors pas fourni. C'est la taxe ambiante qui sera appliquée. Ainsi, c'est un problème de coordination à deux niveaux qui se pose aux joueurs. Tout d'abord une coordination entre les instruments pour choisir la façon d'atteindre l'objectif, mais aussi une coordination à l'intérieur de chaque instrument pour obtenir le seuil nécessaire. Dans un premier cas, il s'agira de se coordonner vers une réduction suffisante des effluents pour éviter de payer la taxe ambiante, dans l'autre, de contribuer suffisamment au bien public (zone tampon). Les expériences précédentes en laboratoire ont montré que les joueurs sont capables de se coordonner dans le cadre d'une taxe ambiante seule (Poe *et al.*, 2004 ; Spraggon, 2002, 2004 ; Cochard *et al.* 2005 ; Vossler *et al.*, 2006 ; Suter *et al.*, 2008, 2009, 2010 ; Cochard et Rozan, 2010 ; Spraggon et Oxoby, 2010 ; Camacho et Requate 2012 ; Vossler *et al.*, 2013 ; Willinger *et al.*, 2014 ; Suter et Vossler, 2013), et de même, dans le cadre de la production d'un bien public avec seuil (Isaac *et al.*, 1989 ; Marks et Croson, 1998). La présence simultanée des deux instruments, quant à elle, interroge sur la capacité des joueurs à réussir cette double coordination, ce qui n'a jamais été testé expérimentalement auparavant.

La régulation de la pollution diffuse par un double instrument taxe ambiante/zone tampon pour réduire les inconvénients de chacun utilisé de façon isolée est séduisante en théorie, mais qu'en est-il en pratique ? Cela ne va-t-il pas compliquer la coordination, en particulier lorsque les deux équilibres seraient équivalents ? Dans une première partie, nous présentons le modèle théorique expliquant le mix des instruments, suivi par le modèle empirique puis l'expérience. Enfin, nous analyserons les résultats, avant de conclure.

Modèle théorique

1. Contexte

Soit un bassin versant composé de n producteurs homogènes. Chaque producteur i utilise dans son processus de production un input polluant x_i (à la fois facteur de production et externalité négative).

Le producteur retire un bénéfice de l'utilisation de x_i : $f(x_i)$, fonction croissante jusqu'à un maximum : $f' \geq 0$ pour $x_i \leq \bar{x}$ puis décroissante : $f' < 0$ pour $x_i > \bar{x}$, à un taux toujours décroissant : $f'' < 0$.

Dans la rivière à l'aval, il en résulte une pollution ambiante $Q = \sum_{i=1}^n \emptyset . x_i$.

La pollution est diffuse. Nous supposons cependant que les coefficients de transfert \emptyset sont connus mais les x_i inobservables par un régulateur.

Sans régulation, les producteurs maximisent leur profit. Il en résulte une pollution constatée $Q_0 = n \emptyset . \bar{x}$, excessive. Le régulateur souhaite la réduire et atteindre un niveau $Q \leq \bar{Q}$. Le caractère diffus de la pollution rend difficile la régulation à la source. Dans un tel cas de figure, différents outils ont été proposés dans la littérature comme la taxe ambiante ou la construction de zones tampons.

2. Fonctionnement de la taxe ambiante

Le régulateur observe la qualité ambiante Q .

- Personne ne paye de taxe si : $Q \leq \bar{Q}$
- Chacun paye : $t.(Q - \bar{Q})$ si $Q > \bar{Q}$

Avec t le taux de la taxe ambiante défini de telle façon que les usagers seront incités à réduire x_i de sorte que la norme ne soit pas dépassée. Ainsi, il faut que le taux de taxe incite chaque producteur à ne pas émettre une quantité x_i au-delà de : $\frac{\bar{Q}}{n \emptyset}$.

À savoir qu'en ce point, le bénéfice d'une unité supplémentaire de x_i équivaut

à la perte due au paiement de la taxe, et qu'au-delà, il soit inférieur. Nous en déduisons le montant de la taxe ambiante :

$$f' \left(\frac{\bar{Q}}{n \emptyset} \right) = \emptyset . t$$

$$\Leftrightarrow t = \frac{f' \left(\frac{\bar{Q}}{n \emptyset} \right)}{\emptyset} \quad (1)$$

Ainsi, si l'effet dissuasif de la taxe ambiante fonctionne, elle ne sera pas payée par les pollueurs.

3. Fonctionnement de la zone tampon

La solution « zone tampon » nécessite des efforts individuels pour un résultat collectif qui permettrait un taux d'abattement de la pollution ambiante $a \in]0, 1[$ suffisamment élevé pour que la norme soit respectée. En effet, nous supposons : $(1-a)Q_0 \leq \bar{Q}$.

L'effort individuel noté y_i consiste à créer des zones tampons sur chaque parcelle, par exemple en entretenant une végétation permettant de capturer la pollution (bandes enherbées...). La capture des polluants sur l'ensemble du bassin ne pourra fonctionner que si l'effort collectif est suffisant : $\sum_{i=1}^n y_i \geq \bar{Y}$, sinon il existera

toujours une possibilité pour la pollution de ruisseler jusqu'à l'aval. Dans ce cas de figure (à savoir : $\sum_{i=1}^n y_i < \bar{Y}$), nous suppo-

sons que la qualité ambiante sera la même que dans le cas d'une absence d'investissement dans la zone tampon.

Ainsi : Si $\sum_{i=1}^n y_i < \bar{Y}$ alors $Q = \sum_{i=1}^n \emptyset . x_i$

Si $\sum_{i=1}^n y_i \geq \bar{Y}$ alors $Q = (1-a) \sum_{i=1}^n \emptyset . x_i$

Nous considérons que le producteur subit une perte ρ pour chaque unité de y_i . Toutefois, deux cas de figure peuvent

être imaginés. Le cas où il n'y aura pas de garantie de remboursements (PGR), à savoir que cette perte unitaire ρ sera subie que le seuil \bar{Y} soit atteint ou non, et le cas de garantie de remboursement (GR) où la perte unitaire ne sera subie que lorsque le seuil de la zone tampon sera atteint.

4. Instrument mixte et équilibres de Nash

Nous supposons que le régulateur a pour seul objectif que le seuil de pollution \bar{Q} ne soit pas dépassé, quelle que soit la façon dont cet objectif est atteint. Si cette norme est dépassée, les producteurs devront s'acquitter d'une taxe ambiante telle que décrite dans la sous-partie 2.

Pour réduire la pollution ambiante, les producteurs ont deux variables de contrôle : x_i et y_i , avec $\partial Q / \partial x_i \geq 0$ et $\partial Q / \partial y_i \leq 0$. Nous supposons que chaque producteur i a une dotation initiale w qu'il pourra affecter à son activité de production/pollution x_i ou à la réalisation d'une zone tampon y_i .

$$w \geq x_i + y_i \quad \forall i \in [1, n]$$

Deux solutions sont ainsi possibles pour atteindre l'objectif du régulateur :

– La réduction des intrants polluants de sorte que : $\sum_{i=1}^n \partial_i x_i \leq \bar{Q}$

– La contribution à la zone tampon de sorte que : $\sum_{i=1}^n y_i \geq \bar{Y}$

Pour que la solution zone tampon soit soutenable, il faut que le coût de la contribution ne dépasse pas la taxe ambiante dont les producteurs devraient s'acquitter si la contribution n'était pas suffisante, donc :

$$\rho \frac{\bar{Y}}{n} < f' \left(\frac{\bar{Q}}{n\emptyset} \right) (Q_0 - \bar{Q}) \quad (2)$$

À ces deux solutions correspondent respectivement deux équilibres :

- Pour l'équilibre appelé « Taxe ambiante », chaque producteur limite ses intrants à : $x_i = \frac{\bar{Q}}{n\emptyset}$
- Pour l'équilibre appelé « Zone tampon », chacun contribue à la zone tampon à hauteur de : $y_i = \frac{\bar{Y}}{n}$

Nous pouvons noter que ces deux équilibres sont des équilibres de Nash².

En effet, dans le cas de l'équilibre « Taxe ambiante », si un des producteurs désire accroître d'une unité la quantité d'intrants x_i , tous les producteurs, dont lui, devront payer une taxe ambiante d'un montant : $\emptyset.t = f' \left(\frac{\bar{Q}}{n\emptyset} \right)$.

Cela représente un coût supplémentaire sans compensation pour les autres producteurs. Pour le producteur qui a augmenté ses intrants d'une unité, le bénéfice est nul puisque ses revenus augmentent également de $f' \left(\frac{\bar{Q}}{n\emptyset} \right)$.

Dans le cas de l'équilibre « Zone tampon », si un producteur ne contribue plus à la zone tampon, celle-ci n'aura aucun effet. La pollution globale reviendra à la pollution initiale Q_0 . Chaque producteur paiera une taxe ambiante $t(Q_0 - \bar{Q})$. Une économie de ρy_i sera obtenue uniquement par le producteur qui ne contribue pas (PGR) ou par tous les producteurs (GR). Toutefois, en vertu de la condition (2), la perte sera supérieure à l'économie.

2. Dans l'expérience, les deux équilibres de Nash seront symétriques, chaque joueur devra adopter la même stratégie. Les équilibres conduisent en plus à des gains identiques afin d'observer si les joueurs parviennent à se coordonner vers l'un d'entre eux.

Tableau 1. Gain lié au rendement de l'activité productive

Nombre de jetons mis dans X	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gains de points sur le compte X	480	590	680	750	800	830	840	830	800

Source : les auteurs.

Modèle empirique

Afin de ne pas favoriser un instrument par rapport à l'autre, nous avons choisi nos paramètres de manière à ce que les équilibres « Taxe ambiante » (TA) et « Zone tampon » (ZT) rapportent le même gain. Dans ce cas, la coordination est rendue plus difficile, mais si un équilibre émerge, nous pouvons penser qu'une coordination sera possible et un équilibre atteint dans tous les autres cas. Nous avons toutefois voulu vérifier que lorsqu'un équilibre rapportait plus de gain, la coordination se faisait facilement vers cet équilibre. Cette expérience est décrite en *Annexe*.

Pour l'expérience, les variables seront calibrées de la façon suivante ³ :

- Producteurs : nombre : $n = 6$; dotation initiale : $\omega = 8$; coefficient de transfert $\emptyset = 1$
- Seuil de la zone tampon : $\bar{Y} = 12$
- Coût unitaire de la contribution à la zone tampon : $\rho = 20$ points
- Rendement : $f(x) = -10x^2 + 120x + 480$

Nous pouvons déduire des hypothèses ci-dessus que la pollution maximum émise sera $Q_{max} = 6 \times 8 = 48$

3. Il convient de noter que la valeur du taux d'abattement « a » consécutif à la mise en place de la zone tampon n'a pas besoin d'être déterminée. En effet, dans notre modèle, le régulateur a pour seul objectif que la norme de pollution ne soit pas dépassée. Ce qui se passe « en dessous » de cette norme ne l'intéresse pas. Or, comme nous l'exposons dans la sous-partie 3, si la zone tampon fonctionne, le taux d'abattement « a » sera suffisant pour que la norme soit respectée, quelle que soit la pollution émise.

La contribution à l'activité productive/polluante étant discrète, les rendements possibles apparaissent dans le *tableau 1* ci-dessous.

Ainsi, sans régulation, le profit est maximisé pour $x = 6$. Par conséquent, la pollution initiale $Q_0 = 6 \times 6 = 36$.

Nous supposons que le régulateur souhaite le respect d'une norme : $\bar{Q} = 24$. Pour cela, chaque producteur ne doit pas émettre plus de 4 unités polluantes. Le taux de la taxe ambiante sera donc $t = 40$, en effet dans ce cas-là, t sera supérieur au rendement de x au-delà de 4.

Trois stratégies peuvent être déduites du modèle théorique :

- *Stratégie Passager Clandestin* (PC) : si le producteur pense que la zone tampon sera construite sans son apport, ou que la norme ne sera pas dépassée quoi qu'il fasse, sa stratégie sera la même que sans régulation, à savoir : $(x, y) = (6, 0)$. Si tous les producteurs ont ce raisonnement, la politique ne marchera pas, la pollution restera la même. Les joueurs gagneront 840 points grâce au Compte X, mais perdront $40 \times (6 \times 6 - 24) = 480$ points à cause de la taxe ambiante, d'où un gain net de 360 points.

- *Stratégie Taxe Ambiante* (TA) : si le producteur pense que la zone tampon ne sera pas construite quel que soit son apport, sa stratégie sera : $(x, y) = (4, 0)$. Si tous les producteurs ont ce raisonnement, la norme sera respectée sans zone tampon. Ils gagneront 800 points grâce au Compte X et ne subiront aucune perte.

- *Stratégie Zone Tampon* (ZT) : si le producteur pense que la construction de

la zone tampon dépendra de son apport, il contribuera à hauteur du montant juste nécessaire pour construire la zone tampon. S'il pense que tout le monde raisonnera comme lui, il contribuera à hauteur du seuil moyen et sa stratégie sera : $(x, y) = (6, 2)$. Si tous les producteurs ont ce raisonnement, la norme sera respectée grâce à la zone tampon. Les joueurs gagneront 840 points grâce au Compte X, et paieront 2×20 points pour les jetons mis dans le Compte Y, soit un gain net de 800 points également.

La probabilité que les producteurs choisissent les stratégies PC, TA ou ZT dépendra du niveau de seuil pour construire la zone tampon, du nombre de producteurs et de la dotation initiale de chacun. Si les producteurs ont des stratégies différentes, une multitude de résultats peuvent être obtenus, ce que nous allons observer maintenant à l'aide de l'expérience.

Expérience

L'expérience a été réalisée au laboratoire d'économie expérimentale du BETA de l'université de Strasbourg en mai 2016. Au total, 96 sujets ont été recrutés aléatoirement parmi 1 000 étudiants. Au démarrage de l'expérience, chaque sujet était assigné aléatoirement à un seul groupe de 6 sujets pour former 16 groupes. Les groupes de 6 sont fréquents dans la littérature sur la pollution diffuse, comme dans Spraggon (2004), Cochard et Rozan (2010), ou Spraggon (2013). Le programme de l'expérience a été créé par Kene Boun My à l'aide de la plateforme web *EconPlay* (www.econplay.fr).

Les expériences étaient décontextualisées⁴. Pour illustrer ceci, dans l'expérience le Compte X théorique devient

le Compte A, et le Compte Y devient le Compte B. Après avoir vérifié que chaque joueur avait bien compris les instructions, il leur a été demandé pour chacune des 20 périodes (à l'instar de : Cochard *et al.*, 2005 ; Camacho-Cuena et Requate, 2012) de placer au plus 8 jetons dans les Comptes A ou B. À la fin de chaque période, ils pouvaient observer le résultat collectif (contribution du groupe au Compte A, contribution du groupe au Compte B) et leur gain individuel (dépendant de leur contribution au Compte A, des pertes individuelles s'ils contribuaient au Compte B, et des pertes collectives si, simultanément, le seuil de 24 jetons du Compte A étaient dépassés et le seuil de 12 jetons du Compte B non atteint). Toutes les 4 périodes, une session de discussion publique⁵ intra-groupe *via* les ordinateurs d'une durée de 2 min leur permettait de communiquer gratuitement et anonymement.

Au total, 8 groupes ont joué ainsi avec une garantie de remboursement (GR) des jetons mis dans le compte B si le seuil de 12 n'était pas atteint, et 8 autres groupes ont joué sans cette garantie (PGR).

À la fin de l'expérience, deux périodes ont été tirées au sort pour établir les gains monétaires au taux de conversion de 1,25 euro pour 100 points obtenus lors de ces deux périodes (ce qui correspond à un gain de 9 euros pour deux périodes où tout le monde jouerait la stratégie PC et un gain de 20 euros pour deux périodes où tout le monde jouerait le même équilibre TA ou ZT).

5. L'objectif de notre article n'est pas d'étudier l'effet de la communication sur la coordination. Nous intégrons de la communication car, dans un contexte de pollution diffuse sur un bassin versant, un minimum de communication existe entre les agriculteurs. Le rôle de la communication sur la coordination a été étudié notamment par Cooper *et al.* (1992). Ils montrent que la communication favorise l'équilibre pareto-optimal.

4. Vous trouverez les *Instructions des expériences* en Annexe 2.

Résultats

L'analyse des résultats de l'expérience a trois objectifs : observer si les groupes parviennent à se coordonner pour atteindre la norme ambiante, voir si un des équilibres « taxe ambiante » ou « zone tampon » est privilégié, et pour finir, étudier l'impact de la garantie de remboursement.

1. Convergence vers la norme ambiante

Dans une situation de « laissez-faire », chaque pollueur met 6 jetons dans A et aucun jeton dans B. La pollution du groupe est de 36. L'objectif de la régulation est de ne pas dépasser une pollution ambiante de 24. Nous ne raisonnons pas en termes de maximisation de bien-être social où une trop forte dépollution pourrait être contre-productive, mais uniquement dans la perspective d'un objectif environnemental à atteindre. Ainsi, la pollution ambiante sera fixée à 24 si les émissions (jetons mis dans le Compte A) sont inférieures ou égales à ce seuil de 24 ou si le seuil de 12 de la zone tampon est atteint.

Pour avoir une meilleure lecture de l'écart à l'atteinte de l'objectif, plutôt que d'observer le niveau de pollution en unité « fictive », nous préférons construire un indicateur d'écart relatif à l'objectif comme suit : $(36 - \text{pollution observée}) / (36 - 24)$, en s'inspirant du taux d'efficacité utilisé dans de nombreux articles (Spraggon, 2002 ; Spraggon, 2004 ; Cochard et Rozan, 2010 ; Camacho-Cuena et Requate, 2012 ; Spraggon, 2013) même si ici l'objectif est bien de mesurer l'écart au résultat collectif et non l'écart individuel à l'allocation optimale. Notre indicateur exprime le « chemin » parcouru en terme relatif vers l'objectif environnemental. Nous parlerons de taux d'atteinte de la norme.

Le *tableau 2* ci-après montre l'ensemble des taux d'atteinte de la norme

pour chacune des 20 périodes, et les 16 groupes de 6 joueurs (sans distinguer pour le moment les groupes jouant avec GR et les groupes jouant sans). Les barres verticales entre les périodes 4 et 5 ; 8 et 9 ; 12 et 13 ; et 16 et 17 illustrent les phases de discussions anonymes, gratuites de 2mn. Les cases « grisées » permettent de mieux observer les groupes et périodes où la norme ambiante a été atteinte.

En enlevant les 4 périodes avant la première discussion (périodes 1 à 4), et les 4 périodes après la dernière discussion (périodes 17 à 20) pour éviter les effets début et fin de jeu⁶, nous pouvons noter que l'objectif a été atteint 167 fois sur 192 périodes, soit un taux de succès de 87 %. Après deux discussions (périodes 9 à 16), ce taux de succès passe à 92 %.

Nous pouvons considérer que 15 groupes sur 16 (94 %) ont réussi à converger vers la norme ambiante. On note que les groupes 1 et 3 s'en écartent ponctuellement respectivement lors des périodes 17 et 19, mais ceci peut être considéré comme anecdotique vu que la norme est à nouveau atteinte lors de la période suivante. Sans tenir compte de ces « accidents de parcours », 5 groupes (groupes 7, 10, 11, 13, 15) ont réussi à se coordonner sur un instrument avant la première discussion, 7 groupes (groupes 3, 5, 6, 12, 13, 14, 16) après une seule phase de discussion, le groupe 9 après deux discussions, les groupes 1 et 8 après trois discussions.

Le *tableau 3* ci-après exprime le taux d'atteinte moyen de la norme entre deux phases de discussion. Pour 14 groupes sur 16, le taux d'atteinte moyen est le plus

6. De nombreux auteurs préfèrent enlever les premières et dernières périodes de l'analyse pour qu'elle ne soit pas tronquée par des effets début et fin de jeu. En effet, il a été remarqué que les premières périodes étaient marquées par un temps de « mise en route » et les dernières par un « relâchement ».

Tableau 2. Taux d'atteinte de la norme ambiante

Groupe	Période																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	33%	50%	8%	67%	33%	100%	100%	50%	100%	100%	8%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%
2	33%	58%	42%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	8%	8%	33%	17%	33%	42%	42%
3	67%	100%	100%	33%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	83%	100%
4	83%	42%	25%	50%	100%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
5	58%	100%	67%	58%	100%	100%	100%	92%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
6	75%	75%	67%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
7	33%	100%	50%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
8	100%	67%	100%	92%	67%	100%	100%	83%	100%	67%	67%	83%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
9	25%	50%	50%	75%	42%	58%	67%	42%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
10	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
11	50%	50%	83%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
12	83%	92%	67%	83%	100%	83%	92%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
13	42%	100%	8%	100%	100%	100%	-8%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
14	100%	0%	100%	8%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
15	100%	100%	25%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
16	100%	42%	67%	33%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Source : les auteurs.

faible (en grisé) avant la première discussion. Cela montre à la fois le rôle essentiel de la communication dans la coordination, mais également l'effet « début de jeu ». Le nombre maximum de taux d'atteinte moyen à 100 % est obtenu avant la dernière discussion et non à la fin. On peut expliquer ceci par l'effet « fin de jeu ».

Comme nous le voyons dans le tableau 2, le Groupe 2 est donc le seul à n'avoir pas pu se coordonner pour obtenir la norme ambiante en fin de jeu. Le tableau 4 ci-dessous reprend le détail des choix de chaque joueur du Groupe 2 lors de chaque période pour mieux comprendre ce qui s'est passé. Dans les cases grisées en clair, on retrouve l'équilibre ZT, dans les cases grisées foncées l'équilibre TA, et en noir les stratégies de PC, la stratégie de PC consistant à mettre 6 dans le compte A et rien dans le compte B.

Nous notons qu'avant la première phase de discussion, les joueurs hésitent entre les deux équilibres, puis parviennent à se coordonner vers l'équilibre ZT entre les périodes 5 et 12. Après la troisième discussion, un joueur choisit (volontairement ou non) une stratégie de PC, qui génère une réaction des autres joueurs qui quittent

également l'équilibre ZT. Il est intéressant d'observer que la dernière discussion n'a pas permis de restaurer la confiance dans le groupe, pourtant obtenue initialement dès la première discussion. Ainsi, les dernières périodes du jeu ressemblent aux premières (avant la première discussion) avec des joueurs hésitant entre les deux équilibres ZT et TA, et la stratégie PC.

2. Convergence vers quel équilibre ?

Sur les 15 groupes qui se coordonnent vers un équilibre, 9 se coordonnent vers un équilibre ZT et 6 vers un équilibre TA. Avec un test des fréquences, nous obtenons une probabilité critique de 30,4 % indiquant qu'on ne peut pas rejeter l'hypothèse que les groupes se coordonnent indifféremment vers l'un ou l'autre équilibre⁷.

Sur la figure 1 ci-dessus, nous pouvons noter que la période avant la première discussion est une période de tâtonnement. Après, la première discussion, nous remarquons que le choix est fait,

7. Avec un échantillon de taille 15, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse que chaque groupe ait la même probabilité de se coordonner vers l'un ou l'autre équilibre.

Tableau 3. Taux d'atteinte moyen de la norme selon le nombre de discussions

Groupe	Moyenne					Moy.
	0 Discussion	1 Discussion	2 Discussions	3 Discussions	4 Discussions	
1	40%	71%	52%	100%	75%	68%
2	46%	100%	100%	13%	33%	58%
3	75%	100%	100%	100%	96%	94%
4	50%	88%	100%	100%	100%	88%
5	71%	98%	100%	100%	100%	94%
6	67%	100%	100%	100%	100%	93%
7	71%	75%	100%	100%	100%	89%
8	90%	88%	79%	100%	100%	91%
9	50%	52%	100%	100%	100%	80%
10	75%	100%	100%	100%	100%	95%
11	71%	100%	100%	100%	100%	94%
12	81%	94%	100%	100%	100%	95%
13	63%	73%	100%	100%	100%	87%
14	52%	100%	100%	100%	100%	90%
15	81%	100%	100%	100%	100%	96%
16	60%	100%	100%	100%	100%	92%

Source : les auteurs.

Tableau 4. Choix des joueurs du groupe 2

Joueur	Compte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	A	6	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4
	B	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0
2	A	4	5	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	3	6	6	4	5	5
	B	2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	3	1	2	0	1	1
3	A	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4
	B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
4	A	6	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	8	6	6	6	6	6
	B	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
5	A	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	B	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	2	2
6	A	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	6	6	6	6
	B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2

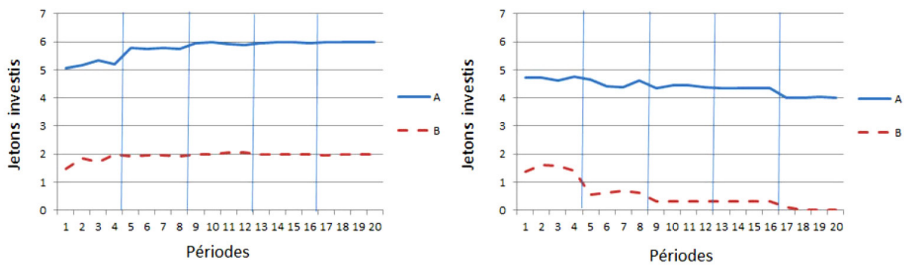
Source : les auteurs.

une convergence se distingue pour les deux ensembles de groupes vers l'un ou l'autre équilibre (augmentation des jetons mis dans A et B dans la partie gauche et réduction des jetons mis dans A et B dans la partie droite).

3. Impact de la garantie de remboursement

Nous allons désormais distinguer les huit groupes jouant avec GR et les huit groupes jouant sans (PGR). Théoriquement, et en vertu de la littérature (Isaac *et al.*, 1989 ;

Figure 1. Groupes qui se coordonnent vers ZT (gauche) et vers TA (à droite)



Source : les auteurs.

Tableau 5. Contribution moyenne au Compte B de chaque groupe

GR	Périodes 1-20	Périodes 5-16	PGR	Périodes 1-20	Périodes 5-16
1	1,783	1,875	1	0,450	0,333
2	1,492	1,819	2	1,950	2,000
3	0,375	0,000	3	1,917	2,000
4	1,925	1,944	4	0,175	0,042
5	0,392	0,069	5	2,000	1,986
6	1,892	2,000	6	2,067	2,111
7	1,942	1,972	7	2,008	2,000
8	0,375	0,125	8	1,608	2,000
moy	1,272	1,226	moy	1,522	1,559

Source : les auteurs.

Cadsby et Maynes, 1999), nous pouvons prévoir que les groupes contribuent plus à la zone tampon lorsqu'ils peuvent récupérer leur mise si le seuil n'est pas atteint.

Or nous notons qu'avec GR seuls quatre groupes parviennent à se coordonner vers un équilibre ZT, contre cinq pour les groupes n'ayant pas de garantie de remboursement. De plus, nous pouvons voir dans le *tableau 5* ci-dessus que les groupes en PGR contribuent en moyenne plus au Compte B que les groupes en GR.

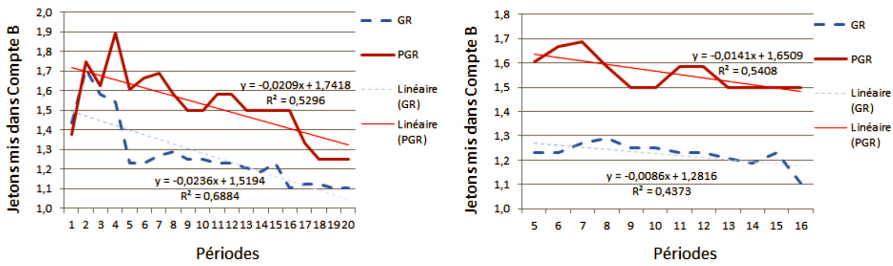
Un test de Wilcoxon-Mann-Whitney nous permet de vérifier de façon significative que les groupes sans garantie de remboursement contribuent plus au Compte B. En effet, en testant l'hypothèse H_0 que la contribution moyenne

est identique entre les groupes GR et les groupes PGR, nous trouvons une probabilité critique de 9,74 % (rejet de H_0 au seuil de 10 %) avec l'ensemble des périodes, et une probabilité critique de 2,49 % (rejet de H_0 au seuil de 5 %) en enlevant les périodes 1 à 4 (avant la première discussion) et 17 à 20 (après la dernière discussion) pour éviter les effets de début et de fin de jeu.

La *figure 2* montre la contribution moyenne dans le Compte B pour les groupes jouant en GR et PGR pour l'ensemble des périodes (partie gauche) et pour les périodes 5 à 16 (partie droite).

La régression linéaire de ces contributions confirme la plus grande contribution au Compte B lorsqu'il n'y a pas de

Figure 2. Contribution moyenne au Compte B pour les groupes jouant en GR et en PGR



Source : les auteurs.

garantie de remboursement, de l'ordre de 0,25 jetons en moyenne par joueur et par période en plus dans le cas de l'ensemble des périodes et de l'ordre de 0,35 jetons en plus lorsque nous ne regardons que les périodes 5 à 16. Un test de Chow confirme cette différence avec des probabilités critiques très proches de zéro (significativité à 1 %) lorsque l'on prend l'ensemble des périodes et les périodes de 5 à 16.

Ce résultat contre-intuitif pourrait être dû au fait que l'ajout de la condition de garantie de remboursement ajoute de la complexité dans un mécanisme à double instruments qui peut déjà apparaître comme complexe.

*
**

La plupart des instruments économiques pour réguler la pollution de l'eau se basent sur une bonne connaissance des sources de cette pollution. Ainsi, la pollution diffuse nécessite des outils adaptés. La taxe ambiante et la création de zones tampons font partie de ces outils. Toutefois, la taxe ambiante, efficace en laboratoire, est confrontée à un problème d'acceptabilité. Donner la possibilité aux régulés de se tourner vers un autre instrument, comme les zones tampons, pourrait la rendre plus acceptable. Parallèlement, la création de zones tampons ne peut être efficace que dans le cas d'une bonne

coordination collective que la menace de la taxe ambiante pourrait faciliter.

L'objectif de cet article n'est pas de montrer que la zone tampon améliore l'acceptabilité de la taxe ambiante, ni que la taxe ambiante améliore la coordination vers la création de zones tampons. Différents travaux préconisent la combinaison de différents instruments pour une meilleure efficacité. Mais la politique doit également être lisible, compréhensible, pour avoir des chances d'être mise en place de façon efficace. La possibilité donnée aux régulés de s'orienter vers un équilibre « taxe ambiante » ou un équilibre « zones tampons » selon le contexte local est théoriquement très intéressante. Cependant, ceci ne complique-t-il pas la lisibilité de l'outil en rendant ainsi la coordination vers un équilibre moins aisée ? C'est ce que nous cherchons à observer dans cet article à travers notre expérience.

Afin d'atteindre un objectif environnemental, et ainsi éviter de payer une taxe ambiante, les participants à l'expérience avaient la possibilité de renoncer, en partie, à une activité lucrative mais polluante, ou contribuer financièrement à un bien public. Les membres de chaque groupe devaient choisir la même stratégie pour que l'objectif soit atteint, d'où un besoin crucial de coordination. Dans l'expérience, la coordination est facilitée par la possibilité de communiquer à travers

des sessions de discussions anonymes gratuites mais contraintes dans le temps et la durée. Par contre, nous avons choisi de la rendre plus difficile en proposant deux équilibres parfaitement équivalents.

Un premier résultat est très encourageant. Globalement 15 groupes sur 16 parviennent à se mettre d'accord sur un équilibre sur la durée et ainsi atteindre l'objectif environnemental. Dans le dernier groupe, les membres sont parvenus rapidement à se coordonner vers un équilibre, mais ont ensuite perdu toute confiance dans le groupe après qu'un joueur ait choisi ponctuellement une stratégie de « passager clandestin ». Une dernière session de discussion n'a pas permis de renouer cette confiance, générant une multitude de stratégies et un objectif environnemental non atteint. Un second résultat montre qu'aucun des deux

équilibres n'a été privilégié significativement. Dans une autre expérience, présentée en Annexe, nous montrons que lorsqu'un équilibre permet de recueillir plus de gains, la coordination se fait naturellement vers celui-ci. Enfin notre troisième résultat est plus surprenant. Il apparaît que lorsque nous offrons la possibilité aux joueurs de bénéficier d'une garantie de remboursement pour un seuil de bien public non atteint, la contribution à ce bien public est plus faible que sans garantie de remboursement. Intuitivement, une explication pourrait être que la garantie de remboursement ajoute un niveau de complexité qui rend la politique moins lisible. De nouvelles expériences, plus adaptées à l'élucidation de cette question, nous paraissent nécessaires pour apporter des réponses plus robustes. Ce sera l'objet de prochains travaux. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aftab A., Hanley N., Baiocchi G. (2010). Integrated regulation of nonpoint pollution: Combining managerial controls and economic instruments under multiple environmental targets. *Ecological Economics*, vol. 70, pp. 24-33.
- Ahmad C. B., Abdullah J., Jaafar J. (2013). Community Perspectives on Buffer Zone for Protected Areas: A preliminary study, *Social and Behavioral Sciences*, vol. 85, pp. 198-205.
- Braden J., Segerson K. (1993). Information Problems in the Design of Nonpoint-Source Pollution Policy. In Russell C. Shogren J. (Eds.), *Theory, Modeling, and Experiences in The Management of Nonpoint-Source Pollution*, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 1-35.
- Buckley C., Hynes S., Mehan S. (2012). Supply of an ecosystem services-Farmer's willingness to adopt riparian buffer zones in agricultural catchments, *Environmental Science & Policy*, vol. 24, pp. 101-109.
- Cadsby C. B., Maynes E. (1999). Voluntary provision of threshold public goods with continuous contributions: Experimental evidence. *Journal of Public Economics*, vol. 71, pp. 53-73.
- Camacho-Cuena E., Requate T. (2012). The regulation of non-point source pollution and risk preferences: An experimental approach, *Ecological Economics*, vol. 73, pp. 179-187.
- Cochard F., Rozan A. (2010). Taxe ambiante : un outil adapté à la lutte contre les coulées de boue ? Une étude expérimentale, *Revue d'études en agriculture et en environnement*, vol. 91, n° 3, pp. 296-326.
- Cochard F., Willinger M., Xepapadeas A. (2005). Efficiency of nonpoint source pollution instruments: An experimental study. *Environmental and Resource Economics*, vol. 30, pp. 393-422.

- Cooper R., DeJong D. V., Forsythe R., Ross T. W. (1992). Communication in coordination games. *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 107, pp. 739-771.
- Crépin A. S. (2005). Incentives for wetland creation. *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 50, pp. 598-616.
- Destandau F., Imfeld G., Rozan A. (2013). Regulation of diffuse pesticide pollution: combining point source reduction and mitigation in stormwater wetland (Rouffach, France), *Ecological Engineering*, vol. 60, pp. 299-308.
- Elofsson K. (2010). The Costs of Meeting the Environmental Objectives for the Baltic Sea: A Review of the Literature. *AMBIO*, vol. 39, pp. 49-58.
- Goetz R.-U., Schmid H., Lehmann B. (2006). Determining the economic gains from regulation at the extensive and intensive margins. *European Review of Agricultural Economics*, vol. 33, n° 1, pp. 1-30.
- Goulder L. H., Parry W. H. (2008). *Instruments Choice in Environmental Policy*. Discussion paper, Resources For the Future DP 08-07.
- Heberling M. T., García J. H., Thurston H. W. (2010). Does encouraging the use of wetlands in water quality trading programs make economic sense? *Ecological Economics*, vol. 69, pp. 1988-1994.
- Holmström B. (1982). Moral hazard in teams. *Bell Journal of Economics*, n° 13, pp. 324-340.
- Horan R. D., Shortle J. S., Abler D. G. (1998). Ambient taxes when polluters have multiple choices. *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 36, pp. 186-199.
- Isaac M., Schmitz D., Walker J. (1989). The assurance problem in a laboratory market. *Public Choice*, vol. 62, pp. 217-236.
- Kolstad C. D., Ulen T. S., Johnson G. V. (1990). Ex post liability for harm vs. ex ante safety regulation: subsidies or complements? *American Economic Review*, vol. 80, n° 4, pp. 888-901.
- Laffont J. J., Tirole J. (1993). *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*. Cambridge, Mass., The MIT Press.
- Lankoski J., Ollikainen M. (2003). Agri-environmental externalities: a framework for designing targeted policies. *European Review of Agricultural Economics*, vol. 30, n° 1, pp. 51-75.
- Marks M., Croson R. (1998). Alternative rebate rules in the provision of a threshold public good: an experimental investigation. *Journal of Public Economics*, vol. 67, pp. 195-220.
- Onema (2016). *Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole*, Document élaboré dans le cadre du Groupe Technique *Intégration des zones tampons dans la gestion des bassins versants pour la prévention des pollutions diffuses agricoles*, février 2016.
- Poe G., Schulze W., Segerson K., Suter J., Vossler C. (2004). Exploring the performance of ambient-based policy instruments when nonpoint source polluters can cooperate, *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 86, pp. 1203-1210.
- Ribaudo M., Heimlich R., Claassen R., Peters M. (2001). Least-cost management of nonpoint source pollution: source reduction versus interception strategies for controlling nitrogen loss in the Mississippi Basin. *Ecological Economics*, vol. 37, pp. 183-197.
- Roberts M. J., Spence M. (1976). Effluent Charges and Licenses under Uncertainty. *Journal of Public Economics*, vol. 5, pp. 193-208.
- Schmutzler A. (1996). Pollution control with Imperfectly Observable Emissions. *Environmental and Resource Economics*, vol. 7, pp. 251-262.
- Segerson K. (1988). Uncertainty and incentives for nonpoint pollution control. *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 15, pp. 87-98.
- Spraggon J. (2002). Exogenous Targeting Instruments as a Solution to Group Moral Hazards. *Journal of Public Economics*, vol. 84, pp. 427-456.
- Spraggon J. (2004). Testing ambient pollution instruments with heterogeneous agents.

- Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 48, pp. 837-856.
- Spraggon J., Oxoby R. J. (2010). Ambient-Based Policy Instruments: the Role of Recommendations and Presentation. *Agricultural and Resource Economics Review*, vol. 39, n° 2, pp. 262-274.
- Spraggon J. M. (2013). The impact of information and cost heterogeneity on firm behavior under an ambient tax/subsidy instrument. *Journal of Environmental Management*, vol. 122, pp. 137-143.
- Suter J. F., Vossler C. A., Poe G. L., Segerson K. (2008). Experiments on Damage-Based Ambient Taxes for Nonpoint Source Polluters. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 90, pp. 86-102.
- Suter J. F., Vossler C. A., Poe G. L. (2009). Ambient-based pollution mechanisms: A comparison of homogeneous and heterogeneous groups of emitters. *Ecological Economics*, vol. 68, pp. 1883-1892.
- Suter J. F., Segerson K., Vossler C. A., Poe G. L. (2010). Voluntary-threat approaches to reduce ambient water pollution. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 92, pp. 1195-1213.
- Suter J. F., Vossler C. A. (2013). Towards an understanding of the performance of ambient tax mechanisms in the field: evidence from upstate New York dairy farmers. *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 96, pp. 92-107.
- Vossler C., Poe G., Schulze W., Segerson K. (2006). Communication and incentive mechanisms based on group performance: an experimental study of non point pollution control. *Economic Inquiry*, vol. 44, pp. 599-613.
- Vossler C., Suter J., Poe G. (2013). Experimental evidence on dynamic pollution tax policies. *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 93, pp. 101-115.
- Willinger M., Ammar N., Ennasri A. (2014). Performance of the Ambient Tax: does the Nature of the Damage Matter ? *Environmental and Resource Economics*, vol. 59, n° 3, pp. 479-502.
- Xepapadeas A. (1995). Observability and choice of instrument mix in the control of externalities. *Journal of Public Economics*, vol. 56, pp. 485-498.

ANNEXES

Annexe 1. Expériences avec un équilibre ZT plus avantageux

En avril 2016, 48 étudiants ont été regroupés en 8 groupes de 6. 4 groupes jouaient avec Garantie de remboursement (GR), et 4 groupes sans (PGR). Le déroulement était le même que celui décrit dans la section « Expérience ».

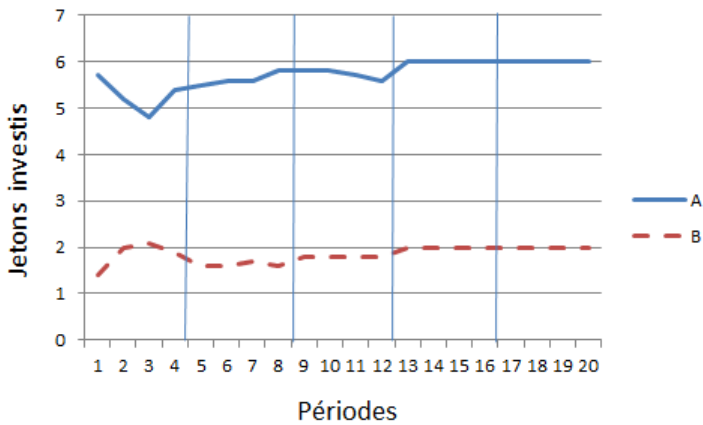
Pour chaque jeton mis dans le Compte X, le gain individuel est celui exprimé dans le tableau 6 ci-dessous.

Pour une stratégie TA, chaque joueur joue (4,0), le gain est de 720 points. Pour une stratégie ZT, chaque joueur joue (6,2), le gain est de $780-2 \times 20 = 740$ points. On peut

Tableau 6. Gain lié au rendement de l'activité productive

Nombre de jetons mis dans X	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gains de points sur le compte X	480	555	620	675	720	755	780	795	800

Figure 3. Contribution moyenne des 8 groupes dans les Comptes A et B



Source : les auteurs.

s'attendre ainsi que les joueurs se coordonnent vers la stratégie ZT, ce qui est confirmé dans la figure 3 ci-dessous. Dans l'expérience, les Comptes A et B correspondent respectivement aux Comptes X et Y théoriques.

La figure 3 ci-dessus représente la contribution moyenne des 8 groupes dans les Comptes A (ou X) et B (ou Y). Nous pouvons voir qu'après 3 phases de discussion (traits verticaux), tous les joueurs de tous les groupes versent 6 jetons dans le compte A et 2 jetons dans le Compte B.

Annexe 2. Instruction des expériences (sans garantie de remboursement)

Bienvenue

L'expérience à laquelle vous allez participer est destinée à l'étude des décisions. Les instructions sont simples. Toutes vos réponses seront traitées de façon anonyme. Les gains que vous réaliserez dépendront à la fois des décisions que vous prendrez et des décisions prises par les autres participants. Ces gains seront comptabilisés en points et convertis à la fin de l'expérience en euros.

La suite des instructions va vous permettre de comprendre comment votre gain à chaque période sera calculé, puis exposera le déroulement chronologique de l'expérience. À partir de maintenant, nous vous demandons de garder le silence et de ne plus communiquer entre vous.

1. Cadre général de l'expérience

24 personnes participent à cette expérience. Les 24 personnes sont réparties aléatoirement en quatre groupes de 6 personnes. Vous êtes donc membre de l'un de ces quatre groupes. Vous ne pourrez pas connaître l'identité des autres personnes de votre groupe, ni pendant l'expérience ni après. Tout au long de l'expérience, vous n'interagirez qu'avec

Tableau 1. Gains avec le compte A

Nombre de jetons mis dans le compte A	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Gains du compte A (points)	480	590	680	750	800	830	840	830	800

les 5 autres personnes de votre groupe et jamais avec les autres personnes présentes dans la salle.

Au début de chaque période, vous, ainsi que chaque membre de votre groupe, disposez de 8 jetons. Votre décision consiste à déterminer le nombre de jetons que vous souhaitez investir dans deux comptes : le compte A et le compte B. Vous êtes libre de saisir n'importe quelle valeur entière entre 0 et 8 sachant que la somme entre les deux comptes doit être inférieure ou égale à 8 jetons. Les règles d'investissement pour chaque compte sont expliquées ci-après :

2. Règles d'investissement dans le compte A et le compte B

L'investissement dans le compte A génère des gains. Chaque jeton placé vous rapporte les gains indiqués dans le *tableau 1*.

Le compte A peut également générer des pertes : si le nombre de jetons investis par le groupe dans le compte A est strictement supérieur à 24 jetons, chaque joueur du groupe subit une perte égale à 40 fois la différence entre le nombre de jetons investis par le groupe et 24 jetons. Tous les joueurs du groupe sont donc impactés par cette perte, et ce, quel que soit leur niveau d'investissement dans le compte A.

Cependant, le compte A ne génère plus de pertes si le groupe investit au moins 12 jetons dans le compte B. Cette possibilité a toutefois un coût : chaque jeton investi dans le compte B coûte 20 points. Notez bien que ce coût de 20 points s'applique même si le groupe n'a pas atteint 12 jetons⁸.

• Exemple 1 :

- Le montant investi dans le compte A est inférieur à 24 jetons
- Le montant investi dans le compte B est inférieur à 12 jetons

Supposons que vous décidez d'investir 5 jetons dans le compte A et 3 jetons dans le compte B. Supposons que les autres membres de votre groupe investissent 17 jetons dans le compte A et 7 jetons dans le compte B.

- Vous avez investi en tout : $5 + 3 = 8$ jetons
- Le nombre total de jetons investis dans le compte A : $17 + 5 = 22$ jetons
- Le nombre total de jetons investis dans le compte B : $7 + 3 = 10$ jetons

Le nombre de jetons investis dans le compte A est inférieur à 24 jetons ($22 < 24$). Le compte A ne crée donc pas de pertes.

- Votre gain du compte A pour 5 jetons : 830 points

8. Dans le cas du jeu avec Garantie de remboursement, cette dernière phrase était remplacée par « Notez que ces jetons ne sont payés que lorsque le groupe a investi au moins 12 jetons dans le compte B. Dans le cas où le groupe investit un montant strictement inférieur à 12 jetons, les jetons investis dans le compte B ne coûtent rien. » Les 3 exemples cités ci-après étaient évidemment différents avec Garantie de remboursement.

- Votre investissement dans le compte B vous coûte : -60 points
- Votre gain total de la période (Compte A + Compte B) est alors égal à : $830 - 60 = 770$ points.

• *Exemple 2 :*

- *Le montant investi dans le compte A est supérieur à 24 jetons*
- *Le montant investi dans le compte B est supérieur à 12 jetons*

Supposons que vous décidez d'investir 3 jetons dans le compte A et 2 jetons dans le compte B. Supposons que les autres membres de votre groupe investissent 25 jetons dans le compte A et 14 jetons dans le compte B.

- Vous avez investi en tout : $3 + 2 = 5$ jetons
- Le nombre total de jetons investis dans le compte A : $25 + 3 = 28$ jetons
- Le nombre total de jetons investis dans le compte B : $14 + 2 = 16$ jetons

Le nombre de jetons investis dans le compte A est strictement supérieur à 24 jetons ($28 > 24$). Le compte A devrait donc générer une perte. Cependant, le groupe a également investi un nombre de jetons dans le compte B supérieur à 12 jetons ($16 > 12$). Le compte A ne génère donc plus de pertes. Ceci est valable pour l'ensemble du groupe, y compris pour les joueurs qui auraient investi 0 jeton dans le compte B.

- Votre gain du compte A : 750 points
- Votre investissement dans le compte B vous coûte : -40 points
- Votre gain total de la période (Compte A + Compte B) est alors égal à : $750 - 40 = 710$ points.

• *Exemple 3 :*

- *Le montant investi dans le compte A est supérieur à 24 jetons*
- *Le montant investi dans le compte B est inférieur à 12 jetons*

Supposons que vous décidez d'investir 4 jetons dans le compte A et 4 jetons dans le compte B. Supposons que le reste de votre groupe a investi 26 jetons dans le compte A et 7 jetons dans le compte B.

- Vous avez investi en tout : $4 + 4 = 8$ jetons
- Le nombre total de jetons investis dans le compte A : $26 + 4 = 30$ jetons
- Le nombre total de jetons investis dans le compte B : $7 + 4 = 11$ jetons

Le nombre de jetons investis dans le compte A est strictement supérieur à 24 jetons ($30 > 24$). Or, comme le nombre de jetons dans le compte B n'a pas atteint le seuil de 12 jetons ($11 < 12$), le compte A génère donc des pertes pour l'ensemble du groupe.

- Votre gain du compte A : $800 - 40 \times (30 - 24) = 800 - 240 = 560$ points
- Votre investissement dans le compte B vous coûte : -80 points
- Votre gain total de la période (Compte A + Compte B) est alors égal à : $560 - 80 = 480$ points

3. Déroulement chronologique de l'expérience

À chaque période, l'ordinateur vous demande de saisir le nombre de jetons que vous souhaitez investir dans chaque compte. La période suivante ne peut commencer que

lorsque tous les membres de votre groupe sont prêts. Il est donc possible qu'il y ait des temps d'attente.

L'expérience dure 20 périodes. À la fin des périodes 4, 8, 12 et 16 vous aurez la possibilité de communiquer avec les 5 autres membres de votre groupe. Cette discussion s'effectuera par écrit dans le cadre d'un forum de discussion. Chaque temps de discussion est limité à 2 minutes. Notez que vous n'avez pas le droit de révéler votre identité durant ces phases de discussion. De même, les menaces physiques et verbales sont interdites ainsi que les accords de partages de gain à l'issue de l'expérience.

À tout moment, vous pouvez afficher l'historique de l'expérience. Celui-ci vous rappelle, pour chaque période passée, votre décision, le nombre total de jetons mis par les 5 autres membres du groupe et votre gain.

Avant de commencer l'expérience, vous procéderez à une période d'essai. L'objectif est de vous permettre de vous familiariser avec l'interface graphique de l'ordinateur. Lors de cette période d'essai, l'ordinateur simulera le rôle des 5 autres personnes de votre groupe. Il jouera la répartition suivante : 10 jetons dans le compte A et 12 jetons dans le compte B.

À la fin de l'expérience, votre gain sera converti en euros. Le taux de conversion qui sera appliqué est de 100 points contre 1,50 €. Deux périodes parmi les 20 périodes jouées seront tirées au sort pour calculer la rémunération.