

# Combinaison d'instruments pour réguler la pollution diffuse

François Destandau<sup>1</sup>, Mohamed Ali Bchir Anne Rozan

Economistes, GESTE, UMR MA 8101, Engees-Irstea, Chercheur associé BETA UMR 7522 CNRS, 1 quai Koch – BP 61039-F-67070 Strasbourg Cedex.

**Résumé** - Réguler une pollution diffuse par une combinaison d'instruments : taxe ambiante et zones tampons, apparaît séduisante en théorie mais risque de compliquer la coordination et donc la mise en œuvre de la politique. C'est ce que nous cherchons 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 financièrement à une zone tampon. L'expérience montre la capacité de cette combinaison d'instruments à converger vers l'objectif environnemental.

**Abstract – Mixing instruments to deal with diffuse pollution.** The regulation of non-point source pollution requires adapted tools. Ambient tax and buffer zones are ones of those. Several authors preconize a combination of various instruments in order to improve the efficiency of pollution mitigation. But the policy must also be legible to have a chance to be applied with efficiency. The possibility given to the polluters to choose among an 'ambient tax' equilibrium or a 'buffer zone' equilibrium according to the local context is interesting in theory. However, this possibility could complicate the legibility of the tool, and makes the coordination towards one of these two equilibria more difficult. That's what we try to observe in this paper in our laboratory experiment. In order to reach an environmental target, and therefore to avoid paying an ambient tax, the subjects of this experiment had the possibility of either giving up, partially, a lucrative but polluting activity, or contributing financially to a buffer zone. The results show that almost of all the groups succeed in coordinating towards one of the equilibria. More surprisingly, the possibility given to the subjects to have a money-back guarantee for an unreached threshold of public good (buffer zone), generates a contribution to this public good lower than without money-back guarantee. This result could be explained by the higher complexity of the policy with money-back guarantee.

**Mots-clés** : environnement ; risques ; taxe ambiante ; zone tampon, expérience en laboratoire

**Keywords** : environment; risks; ambient tax; buffer zone; laboratory experiment

---

<sup>1</sup> Auteur correspondant : F. Destandau, [francois.destandau@engees.unistra.fr](mailto:francois.destandau@engees.unistra.fr). (44 999 signes)

Malgré des efforts pour améliorer la qualité des milieux aquatiques, la pollution diffuse, notamment d'origine agricole, reste un problème très préoccupant. En effet, les instruments économiques visant à agir sur les émissions à la source ne sont pas applicables lorsque ces émissions ne sont pas observables. Face à ce problème, différentes solutions ont été proposées (Tomasi *et al.*, 1994), en agissant sur les inputs responsables de la pollution par une taxe par exemple, en préconisant, incitant ou exigeant des pratiques moins nocives, en agissant sur l'output par une taxe ou une restriction de l'offre (rachat de terres agricoles), ou par une approche de responsabilité légale *a posteriori*, comme la taxe ambiante (Segerson, 1988) qui rend responsable d'un dépassement de la norme ambiante l'ensemble des pollueurs potentiels. Une autre solution consiste à améliorer la capacité épuratrice des milieux naturels en construisant des zones tampons : bandes enherbées, zone humide,...(ONEMA, 2016).

Toutefois, face à la complexité informationnelle de la pollution diffuse, il apparaît qu'aucun de ces instruments, seul, n'est totalement satisfaisant, et qu'une combinaison de plusieurs instruments est préférable (Tomasi *et al.*, 1994 ; Goulder et Parry, 2008). Différents articles ont étudié, par exemple, 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 ; Ribaudou *et al.*, 2001 ; Destandau *et al.*, 2013).

Dans cet article nous proposons une approche originale consistant à mixer deux instruments adaptés au cas de la pollution diffuse : la taxe ambiante et la construction d'une zone tampon<sup>2</sup>.

La possibilité de réduire la pollution par une zone tampon offre davantage de possibilités aux producteurs pour éviter la taxe ambiante et ainsi la rend plus acceptable. La construction de la zone tampon nécessite une coordination que la

---

<sup>2</sup> Ce travail a été financé par le Conseil Scientifique de l'Enges. Il fait suite à un travail pluridisciplinaire sur la réduction d'une pollution viticole grâce à l'utilisation d'une zone humide artificielle.

menace de la taxe ambiante peut faciliter. Ainsi, chaque instrument propose une réponse au défaut de l'autre.

Toutefois, cette double possibilité ne va-t-elle pas au contraire compliquer la coordination et faire échouer l'objectif initial ? Dans ce travail, nous proposons de tester cette situation à l'aide d'une expérience en laboratoire.

Après cette introduction, nous verrons tout à tour dans les sections suivantes : une revue de la littérature, le modèle théorique, le modèle empirique, l'expérience, puis nous analyserons les résultats de l'expérience.

## Revue de la littérature

En exploitant l'idée d'Holmström (1982) d'une régulation basée sur une résultante collective en situation d'aléa moral, Segerson (1988) propose, dans le cas d'une pollution diffuse, d'asseoir l'assiette d'une taxe/subvention sur la pollution ambiante observée à l'aval. Pour éviter les risques de collusion (efforts de dépollution excessifs pour percevoir plus de subventions rendant l'équilibre non optimal), Hansen (1998) privilégie la taxe pure. C'est le principe de la taxe ambiante. Pour une norme ambiante respectée, personne ne paye de taxe, par contre, si la pollution ambiante observée est excessive, tout le monde devra s'acquitter d'une même taxe, quelles que soit les contributions individuelles (celles-ci étant inobservables par le régulateur). Ce type d'instruments, sous certaines conditions, fonctionne en laboratoire (Spraggon, 2002 ; Cochard *et al.*, 2005 ; Suter *et al.*, 2008 ; Spraggon et Oxoby, 2010 ; Vossler *et al.*, 2013 ; Willinger *et al.*, 2014), mais sa mise en œuvre sur le terrain est confrontée à un problème d'acceptabilité (Shortle et Horan, 2001 ; Cochard et Rozan, 2010), l'idée d'une sanction collective touchant des agents ayant fait l'effort nécessaire restant impopulaire.

Dans cet article, nous donnons 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. Ainsi, selon le contexte local, les pollueurs pourront se coordonner vers une des deux solutions : restriction des intrants à la source ou création d'une zone tampon. 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 intrants, dans le cas contraire, ils devront se coordonner vers la solution « zone tampon ».

L'accroissement de la capacité épuratrice des milieux naturels pour réduire la pollution diffuse par une zone tampon (zones humides ou végétalisées,..) a été 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) et Destandau *et al.* (2013) pour un survey de la littérature). Dans d'autres contextes géographiques, sont étudiés l'efficacité de différents types de revêtements végétalisés (Aguiar, 2015), l'intérêt des populations pour ce type de dispositif (Ahmad, 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). Ribaudou *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 Mississipi. 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.

Dans notre article, à l'instar de Lankoski et Ollikainen (2003), le producteur/pollueur aura le choix entre la quantité d'intrant et les moyens consacrés à la création d'une zone tampon. Ces deux variables de contrôle doivent lui permettre de réduire la pollution ambiante en-dessous d'un seuil pour éviter d'avoir à payer la taxe ambiante. Toutefois, il sera tributaire du comportement des autres producteurs/pollueurs qu'il ne pourra pas prévoir. Comme le soulignait Paulsen (2007), un pollueur confronté à ce type de choix réagira différemment selon son aversion au risque. Pour Söderqvist (2003), chaque agriculteur se considère en moyenne plus sensible à l'environnement que les autres. Ce sentiment de défiance vis à vis de l'implication des autres, peut le mener à se comporter en passager clandestin.

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 dans un contexte local où les deux équilibres seraient équivalents ?

Dans cet article, nous allons tester cette coordination en laboratoire. En économie expérimentale décontextualisée cela revient à combiner un jeu de taxe ambiante à un jeu de bien public avec seuil. En effet, la zone tampon est assimilée à un bien public avec seuil, à savoir qu'il faut un effort collectif minimum pour que la remédiation puisse se faire (voir Davis et Holt (1993) et Ledyard (1995) pour une revue de la littérature). Lorsque le seuil de bien public n'est pas atteint, les contributions peuvent être restituées (Garantie de Remboursement 'GR') ou perdues (Pas de Garantie de Remboursement 'PGR'). Isaac *et al.* (1989) et Rapoport et Eshd-Levy (1989) montrent que la GR augmente significativement les contributions au bien public. D'autres auteurs étudient l'impact d'une restitution de l'excès de contribution lorsque le seuil est dépassé (Marks et Croson, 1998). Dans notre expérience, nous ferons jouer des groupes en GR et d'autre en PGR, par contre il n'y aura pas de restitution lorsque le seuil sera dépassé. Nous intégrerons également une possibilité de communication entre les joueurs, pour simuler le contexte d'un petit bassin-versant où les producteurs se connaissent. Celle-ci sera gratuite mais contrainte, le moment et la durée étant imposés, à l'instar de Poe *et al.* (2004), Vossler *et al.* (2006), Suter *et al.* (2008).

## **Modèle théorique**

### **Contexte**

Soit un bassin versant composé de  $n$  producteurs. Chaque producteur  $i$  utilise dans son processus de production un input polluant  $x_i$  (à la fois facteur de production et externalité négative). Dans la rivière à l'aval, il en résulte une pollution ambiante  $Q = \sum_{i=1}^n \phi_i x_i$ . La pollution est diffuse. Nous supposons cependant que les coefficients de transfert  $\phi_i$  sont connus mais les  $x_i$  inobservables par un régulateur. La pollution actuelle  $Q_0$  est 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 zone tampons.

### **Fonctionnement de la taxe ambiante**

Le régulateur observe la qualité ambiante  $Q$ .

-Personne ne paye de taxe si :  $Q \leq \bar{Q}$ .

-Tout le monde paye :  $t \cdot (Q - \bar{Q})$  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, si l'effet dissuasif de la taxe ambiante fonctionne, elle ne sera pas payée par les pollueurs.

### **Fonctionnement de la zone tampon**

La solution « zone tampon » nécessite des efforts individuels pour un résultat collectif qui permettrait un abattement de la pollution ambiante  $a \in ]0,1[$  permettant de respecter la norme. 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 supposons que la qualité ambiante sera la même que dans le cas d'une absence d'investissement dans la zone tampon.

$$\begin{array}{ll} \text{Ainsi:} & \text{Si } \sum_{i=1}^n y_i < \bar{Y} \quad \text{alors } Q = \sum_{i=1}^n \phi_i x_i \\ & \text{Si } \sum_{i=1}^n y_i \geq \bar{Y} \quad \text{alors } Q = (1 - a) \sum_{i=1}^n \phi_i x_i \end{array}$$

### **Combinaison des instruments**

Chaque producteur  $i$  a une dotation initiale  $w_i$  qu'il pourra affecter à son activité de production/pollution  $x_i$  ou à la réalisation d'une zone tampon  $y_i$ .

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

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

-Le producteur subit une perte de  $\rho_i$  pour chaque unité de  $y_i$ . Toutefois, cette contribution peut le prémunir du paiement de la taxe ambiante si l'effort collectif est suffisant.

$x_i$  et  $y_i$  sont des variables de contrôle pour le producteur afin de réduire la pollution ambiante, avec  $\partial Q / \partial x_i \geq 0$  et  $\partial Q / \partial y_i \leq 0$ .

## Profit du producteur

La fonction de profit des producteurs peut s'écrire de deux façons selon que la taxe ambiante soit payée ou non :

$$\begin{aligned} \pi_i &= f_i(x_i) - \rho_i y_i && \text{si } \sum_{i=1}^n y_i \geq \bar{Y} \text{ ou } \sum_{i=1}^n \phi_i x_i \leq \bar{Q} \\ \pi_i &= f_i(x_i) - \rho_i y_i - t(\sum_{i=1}^n \phi_i x_i - \bar{Q}) && \text{si } \sum_{i=1}^n y_i < \bar{Y} \text{ et } \sum_{i=1}^n \phi_i x_i > \bar{Q} \end{aligned}$$

Dans le cas où il n'y a pas de zone tampon, pour que la norme soit respectée, en supposant que les producteurs soient identiques, il faut que le taux de taxe incite chaque producteur à ne pas émettre une quantité  $x_i$  au-delà de :  $\frac{\bar{Q}}{n\phi_i}$ . Ainsi, en  $x_i = \frac{\bar{Q}}{n\phi_i}$ , le bénéfice d'une unité supplémentaire de  $x_i$  équivaut à la perte due au paiement de la taxe. Au-delà, il est inférieur. On en déduit le montant de la taxe ambiante:

$$\begin{aligned} f_i' \left( \frac{\bar{Q}}{n\phi_i} \right) &= \phi_i t \\ \Leftrightarrow t &= \frac{f_i' \left( \frac{\bar{Q}}{n\phi_i} \right)}{\phi_i} \end{aligned} \quad (1)$$

Cependant, rien ne garantit que tous les pollueurs auront la même stratégie. Ainsi, le profit du producteur  $i$  dépend du comportement des autres producteurs. Par conséquent, la stratégie  $(x_i, y_i)$  de  $i$  dépendra de ses prédictions sur les comportements des autres producteurs, et plus précisément sur la réalisation des évènements :

$E_{\bar{Y}}$  : la zone tampon sera construite

$E_{non\bar{Y}}$  : la zone tampon ne sera pas construite

$E_{\bar{Q}}$  : la norme sera dépassée

$E_{non\bar{Q}}$  : la norme ne sera pas dépassée

A noter, du point de vue de  $i$ , les probabilités :

-que la zone tampon soit construite =  $P_{E_{\bar{Y}}} \in [0,1]$

-que la norme soit dépassée avec zone tampon =  $P_{E_{\bar{Q}}/E_{\bar{Y}}} = 0$

-que la norme soit dépassée sans zone tampon =  $P_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}} \in [0,1]$

Pour choisir les quantités  $x_i$  et  $y_i$ , le producteur  $i$  s'interrogera sur l'impact de son choix sur les deux seuils  $\bar{Y}$  et  $\bar{Q}$ , et plus particulièrement sur les probabilités que la zone tampon ne soit pas construite et que la taxe ambiante soit payée en fonction de son choix :  $P_{E_{non\bar{Y}}}(y_i)$  et  $P_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i)$ , avec :

$$P'_{E_{non\bar{Y}}}(y_i) = \frac{\partial P_{E_{non\bar{Y}}}(y_i)}{\partial y_i} \leq 0$$

$$P'_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i) = \frac{\partial P_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i)}{\partial x_i} \geq 0$$

Ainsi l'espérance de la fonction de profit du producteur peut s'écrire :

$$E(\pi_i) = f_i(x_i) - \rho_i y_i - P_{E_{non\bar{Y}}}(y_i) \cdot P_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i) \cdot t(\sum_{i=1}^n \phi_i x_i - \bar{Q}) \quad (2)$$

### **Stratégie du producteur**

Les dérivées de (2) sont :

$$\frac{\partial E(\pi_i)}{\partial y_i} = -\rho_i - P'_{E_{non\bar{Y}}}(y_i) \cdot P_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i) \cdot t(\sum_{i=1}^n \phi_i x_i - \bar{Q}) \quad (3)$$

$$\frac{\partial E(\pi_i)}{\partial x_i} = f'_i(x_i) - P_{E_{non\bar{Y}}}(y_i) \cdot t \cdot \left[ P'_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n \phi_i x_i - \bar{Q}) + P_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i) \cdot \phi_i \right] \quad (4)$$

La dérivée (3) exprime l'arbitrage entre mettre une unité supplémentaire de  $y_i$  et ne pas la mettre. Le producteur  $i$  compare la perte  $\rho_i$  et l'espérance de l'économie qu'il peut faire sur la taxe s'il contribue suffisamment à  $y_i$ . En annulant cette dérivée, on trouve :

$$\rho_i = -P'_{E_{non\bar{Y}}}(y_i) \cdot P_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i) \cdot t(\sum_{i=1}^n \phi_i x_i - \bar{Q}) \quad (5)$$

Par contre s'il pense que la zone tampon sera construite ou non, quelle que soit sa contribution :  $P'_{E_{non\bar{Y}}}(y_i) = 0$ , il ne contribuera pas :  $y_i = 0$ .

La dérivée (4) exprime l'arbitrage entre les gains et les pertes issus du choix de  $x_i$ . Plus précisément entre le profit qu'il peut retirer avec  $x_i$  et l'espérance de coût liée à un éventuel paiement de la taxe ambiante. En annulant cette dérivée, on trouve :

$$f'_i(x_i) = P_{E_{non\bar{Y}}}(y_i) \cdot t \cdot \left[ P'_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n \phi_i x_i - \bar{Q}) + P_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i) \cdot \phi_i \right] \quad (6)$$

-Si  $i$  pense que la zone tampon sera construite quelle que soit sa contribution :  $P_{E_{non\bar{Y}}}(y_i) = 0$ , il augmentera  $x_i$  jusqu'à égalisation de  $f'_i(x_i) = 0$ . Ce qui correspond à la stratégie initiale sans régulation.

-Si  $i$  pense que la zone tampon ne sera pas construite et que la norme sera dépassée quoi qu'il fasse :  $P_{E_{non\bar{Y}}}(y_i) = 1$ ,  $P_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i) = 1$ , alors  $t\phi_i = f'_i(x_i)$ , il comparera le profit marginal de  $x_i$  et le taux unitaire de la taxe pondéré par le coefficient de transfert. On peut noter que si chacun adopte cette stratégie, la norme ne sera finalement pas



dépassée, puisque le taux de la taxe est calibré pour que ce type de calcul aboutisse au respect de la norme (voir (1)).

-Si  $i$  pense que la zone tampon ne sera pas construite mais que la norme ne sera pas dépassée quoi qu'il fasse :  $P_{E_{non\bar{Y}}}(y_i) = 1$ ,  $P_{E_{\bar{Q}}/E_{non\bar{Y}}}(x_i) = 0$ , il augmentera  $x_i$  jusqu'à  $f'_i(x_i) = 0$  (stratégie initiale).

## 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, on peut 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*.

Nous supposons des producteurs identiques, avec les caractéristiques suivantes :

-Producteurs :  $n=6$  ;  $\omega=8$  ;  $\emptyset = 1$       D'où :  $Q_{max} = 48$

-Seuil de la zone tampon :  $\bar{Y} = 12$

$-\rho_i = 20$  points

-Rendement :  $f(x) = -10x^2 + 120x + 480$

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

**Tab. 1.** Gain lié au rendement de l'activité productive

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

Nous supposons que le régulateur souhaite :  $\bar{Q}=24$ . 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  $2 \times 40$  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. En effet, ces paramètres influenceront sur les probabilités perçues par les producteurs décrites dans la section « Stratégies du producteur ». 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. 96 sujets ont été recrutés aléatoirement parmi 1000 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](http://www.econplay.fr)).

Les expériences étaient décontextualisées. 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 de 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. A 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 publique intra-groupe via les ordinateurs d'une durée de 2mn leur permettait de communiquer gratuitement et anonymement.

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).

A la fin de l'expérience, deux périodes ont été tirées au sort pour établir les gains monétaires au taux de conversion de 1,25euros pour 100points 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*).

## 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.

### ***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 terme de maximisation de bien-être social où une trop forte dépollution pourrait être contreproductive, 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-dessous 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.

**Tab. 2.** Taux d'atteinte de la norme ambiante

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 jeu<sup>3</sup>, 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 obtenir durablement la norme ambiante sans discussion, 7 groupes (groupes 3,

---

<sup>3</sup> De nombreux auteurs préfèrent enlever les premières et dernières périodes de l'analyse pour ne pas qu'elle soit 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 ».

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-dessous 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 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 ».

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

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.

**Tab. 4.** *Choix des joueurs du Groupe 2*

On note 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 3<sup>ème</sup> 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*.

***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 équilibre<sup>4</sup>.

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

Sur la Figure 1 ci-dessus, on peut noter que la période avant la première discussion est une période de tâtonnement. Après, la première discussion, on remarque que le choix est fait, 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).

### ***Impact de la garantie de remboursement***

Nous allons désormais distinguer les 8 groupes jouant avec GR et les 8 groupes jouant sans (PGR). Théoriquement, et en vertu de la littérature (Isaac et al. 1989, Rapoport et Eshd-Levy 1989), 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 4 groupes parviennent à se coordonner vers un équilibre ZT, contre 5 pour les groupes n'ayant pas de garantie de remboursement. De plus, nous pouvons voir dans le Tableau 5 ci-dessous que les groupes en PGR contribuent en moyenne plus au Compte B que les groupes en GR.

**Tab. 5.** *Contribution moyenne au Compte B de chaque groupe*

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.

---

<sup>4</sup> Avec un échantillon de taille 15, on ne peut pas rejeter l'hypothèse que chaque groupe ait la même probabilité de se coordonner vers l'un ou l'autre équilibre.

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

La Figure 2 ci-dessus 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 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 lorsqu'on ne regarde 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.

## **Conclusion**

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 l'on offre 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

Aftab, A., Hanley, N., Baiocchi, G. (2010), Integrated regulation of nonpoint pollution: Combining managerial controls and economic instruments under multiple environmental targets, *Ecological Economics*, 70, 24-33.



- Aguiar, T.R., Rasera, K., Parron, L.M., Brito, A.G., Ferreira, M.T. (2015), Nutrient removal effectiveness by riparian buffer zones in rural temperate watersheds: The impact of no-till crops practices, *Agricultural Water Management*, 149, 74-80.
- Ahmad, C.B., Abdullah, J., Jaafar, J. (2013), Community Perspectives on Buffer Zone for Protected Areas: A preliminary study, *Social and Behavioral Sciences*, 85, 198-205.
- Braden, J., Segerson, K. (1993), Information Problems in the Design of Nonpoint-Source Pollution Policy. In C.Russell and J. Shogren, Eds. *Theory, Modeling, and Experiences in The Management of Nonpoint-Source Pollution*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 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*, 24, 101-109.
- Camacho-Cuena, E., Requate, T. (2012), The regulation of non-point source pollution and risk preferences: An experimental approach, *Ecological Economics*, 73, 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*, 91, 3, 296-326.
- Cochard, F., Willinger, M., Xepapadeas A. (2005), Efficiency of nonpoint source pollution instruments: An experimental study, *Environmental and Resource Economics*, 30, 393-422.
- Crépin, A.S. (2005), Incentives for wetland creation, *Journal of Environmental Economics and Management* 50, 598-616.
- Davis, D., Holt, C. (1993), *Experimental Economics*, Princeton University, Princeton, NJ.
- 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*, 60, 299-308.
- Elofsson, K. (2010), The Costs of Meeting the Environmental Objectives for the Baltic Sea: A Review of the Literature, *AMBIO*, 39, 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*, 33, 1, 1-30.
- Goulder, L.H., Parry, W.H. (2008), Instruments Choice in Environmental Policy, Discussion paper, Resources For the Future DP 08-07.
- Hansen, L. (1998), A damage based tax mechanism for regulation of non-point emissions, *Environmental and Resource Economics*, 12, 99-112

- 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* 69, 1988-1994.
- Holmström, B. (1982), Moral hazard in teams, *Bell Journal of Economics*, 13, 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*, 36, 186-199.
- Isaac, M., Schmidtz, D., Walker, J. (1989), The assurance problem in a laboratory market, *Public choice*, 62, 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*, 80, 4, 888-901.
- Lankoski, J., Ollikainen, M. (2003), Agri-environmental externalities: a framework for designing targeted policies, *European Review of Agricultural Economics*, 30, 1, 51-75.
- Ledyard, J. (1995), "Public Goods: A survey of Experimental Research", in *the handbook of Experimental Economics*, Kagel, J., Roth, A. (Eds.), Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Marks, M., Croson, R. (1998), Alternative rebate rules in the provision of a threshold public good: an experimental investigation, *Journal of Public Economics*, 67, 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.
- Paulsen, S. (2007), *Investment in Wetlands for Pollution Abatement Under Uncertainty*, *Topics on the ecological economics of coastal zones*. Doctoral diss. Dept. of Economics, SLU. Acta Universitatis agriculturae Sueciae.
- 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*, 86, 1203-1210.
- Rapoport, A., Eshed-Levy, D. (1989), Provision of step-level public goods: Effects of greed and fear of being gypped, *Organization Behavior and Human Decision Processes*, 44, 325-344.
- 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*, 37, 183-197.

- Schmutzler, A. (1996), Pollution control with Imperfectly Observable Emissions, *Environmental and Resource Economics*, 7, 251-262.
- Segerson, K. (1988), Uncertainty and incentives for nonpoint pollution control, *Journal of environmental Economics and Management*, 15, 87-98.
- Shortle, J., Horan, R. (2001), The Economics of nonpoint pollution, *Journal of Economic Surveys*, 15, 255–290.
- Söderqvist, T. (2003), Are farmers prosocial? Determinants of the willingness to participate in a Swedish catchment-based wetland creation programme, *Ecological Economics*, 47, 105-120.
- Spraggon, J. (2002), Exogenous Targeting Instruments as a Solution to Group Moral Hazards, *Journal of Public Economics*, 84, 427-456.
- Spraggon, J. (2004), Testing ambient pollution instruments with heterogeneous agents, *Journal of Environmental Economics and Management*, 48, 837-856.
- Spraggon, J., Oxoby, R.J. (2010), Ambient-Based Policy Instruments: the Role of Recommendations and Presentation, *Agricultural and Resource Economics Review*, 39/2, 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*, 122, 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*, 90, 86–102.
- Tomasi, T., Segerson, K., Braden, J. (1994), Nonpoint Source Pollution Control, in *Nonpoint Source Pollution Regulation Issues and Analysis*, Edited by C.Dosi and T. Tomasi, Kluwer Academic Publishers, 1-37.
- 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*, 44, 599-613.
- Vossler, C, Suter, J, Poe, G. (2013), Experimental evidence on dynamic pollution tax policies, *Journal of Economic Behavior & Organization*, 93, 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*, 59, 3, 479-502.
- Xepapadeas, A. (1995), Observability and choice of instrument mix in the control of externalities, *Journal of Public Economics*, 56, 485-498.

## Annexe

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.

### **Tab. 5.** Gain lié au rendement de l'activité productive

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 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.

### **Fig.3.** Contribution moyenne des 8 groupes dans les Comptes A et B

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.

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

**Tab. 1.** Gain lié au rendement de l'activité productive

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%

**Tab. 2.** Taux d'atteinte de la norme ambiante

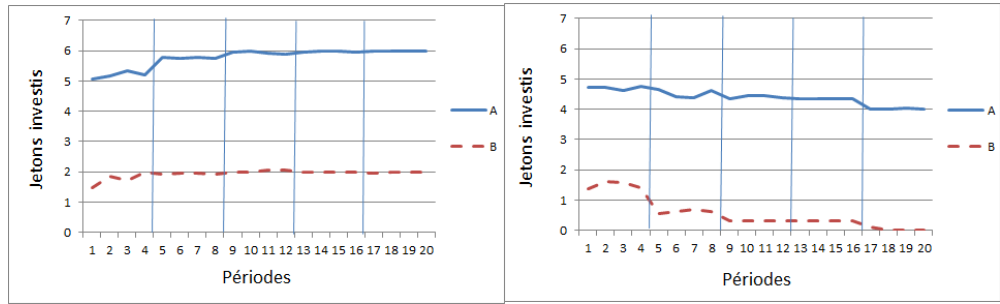
Groupe	Moyenne					Moy.
	0 Discussion	1 Discussion	2 Discussions	3 Discussions	4 Discussions	
1	40%	71%	52%	100%	75%	68%
2	46%	100%	100%	13%	33%	58%
3	75%	100%	100%	100%	96%	94%
4	50%	88%	100%	100%	100%	88%
5	71%	98%	100%	100%	100%	94%
6	67%	100%	100%	100%	100%	93%
7	71%	75%	100%	100%	100%	89%
8	90%	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%

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

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	2	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

**Tab. 4.** Choix des joueurs du Groupe 2

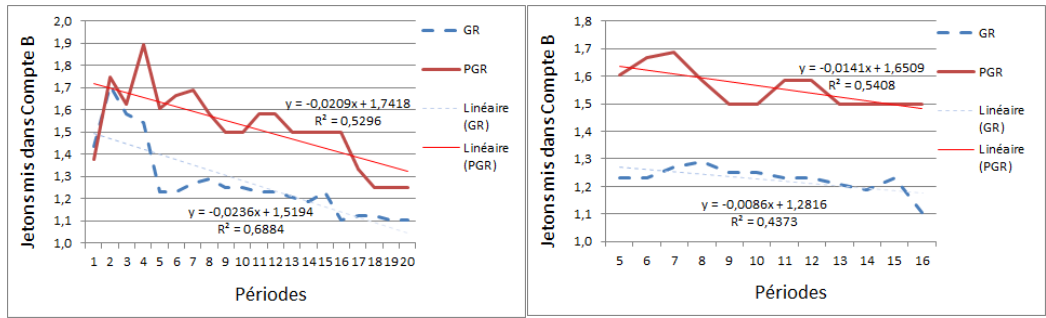




**Fig. 1.** Groupes qui se coordonnent vers ZT (gauche) et vers TA (à droite)

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	<b>1,272</b>	<b>1,226</b>	moy	<b>1,522</b>	<b>1,559</b>

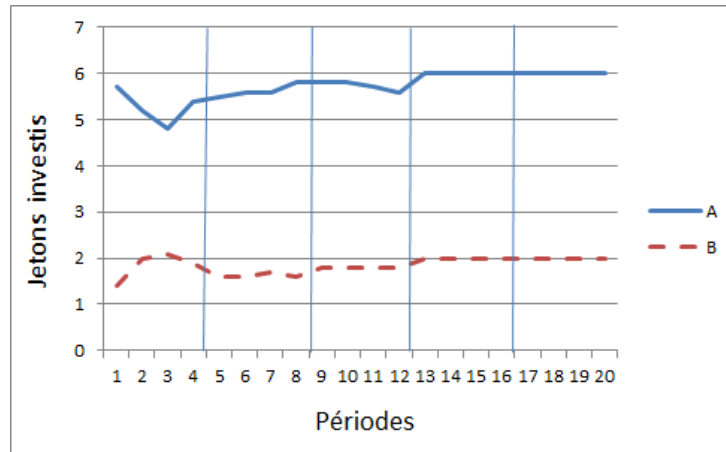
**Tab. 5.** Contribution moyenne au Compte B de chaque groupe



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

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

**Tab. 5.** Gain lié au rendement de l'activité productive



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