



**HAL**  
open science

# Taxe ambiante : un outil adapté à la lutte contre les coulées de boue ? Une étude expérimentale

F. Cochard, A. Rozan

► **To cite this version:**

F. Cochard, A. Rozan. Taxe ambiante : un outil adapté à la lutte contre les coulées de boue ? Une étude expérimentale. *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement - Review of agricultural and environmental studies*, 2010, 91 (3), p. 296 - p. 326. hal-00562312

**HAL Id: hal-00562312**

**<https://hal.science/hal-00562312>**

Submitted on 3 Feb 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Taxe ambiante : un outil adapté à la lutte contre les coulées de boue ? Une étude expérimentale

François COCHARD\*, Anne ROZAN\*\*

\* **Auteur correspondant** : Université de Franche-Comté (CRESE), 45d avenue de l'Observatoire, 25030 Besançon Cedex  
e-mail : fcochard@univ-fcomte.fr

\*\* GESTE UMR ENGEES-Cemagref

**Résumé** – Les problèmes de coulées de boue connaissent une aggravation récente due notamment à de mauvaises pratiques agricoles. Afin d'inciter les agriculteurs à adopter de meilleures pratiques, nous proposons la mise en place d'une « taxe/subvention ambiante », qui permet au régulateur d'introduire les bonnes incitations sans avoir besoin d'observer les efforts individuels de chacun, mais seulement le résultat collectif de ces efforts (les dommages en cas de coulée de boue). Notre premier objectif est de tester l'efficacité d'une taxe ambiante dans le contexte des coulées de boue. Notre second objectif est d'étudier l'acceptabilité de l'instrument. Pour cela, nous avons eu recours à un groupe de six agriculteurs et nous avons procédé à l'issue de l'expérience à un débriefing économique et sociologique. L'instrument s'avère relativement efficace au moins dans un premier temps. Néanmoins, le débriefing révèle que nos sujets refusent l'idée de faire un transfert entre l'expérience et la réalité et qu'ils sont défavorables à ce type de taxe.

**Mots-clés** : taxe ambiante, gestion des coulées de boue, pratiques agricoles, économie expérimentale

## *Is the ambient tax adapted to the regulation of muddy floods? An experimental study*

**Summary** – Recent surveys report the increasing number of muddy flows and point out the fact that agricultural practices (among others) play an important role in their occurrence. We propose to use an ambient tax/subsidy instrument to induce farmers to adopt better practices. The advantage of this type of instrument is that it allows the regulator to introduce the correct incentives without needing the observation of the agents' individual efforts, but only of the collective result of efforts. Our first objective is to test the efficiency of the instrument in the specific context of muddy floods. Our second objective is to investigate the acceptability of this scheme. We run our experiment with six real farmers and carry out a socio-economic debriefing after the experiment. We observe that the instrument is relatively efficient at least in the first part of the experiment. However, the debriefing reveals subjects' scepticism about the usefulness of the experimentation for investigating their real behaviour and that they are against this type of instrument.

**Keywords**: ambient tax, muddy flood management, agricultural practices, experimental economics

**Classification JEL** : C93, H3, Q54

Cette recherche a été menée dans le cadre du groupe GERIHCO (GEstion des RIques et Histoire des COuléés boueuses) en Alsace, lui-même intégré au programme national RDT sur l'érosion, du Ministère de l'écologie et du développement durable. L'agence de l'eau Rhin-Meuse, l'université Louis Pasteur de Strasbourg et le MEDD ont contribué au financement de cette étude. Nous remercions les collègues de ce réseau et, plus particulièrement, Romain Armand, Carine Heitz, Rémi Koller, Anne-Véronique Auzet, Philippe Martin et Sandrine Spaeter-Loehrer. Remerciements aussi à Kene Boun My qui a élaboré le programme informatique de l'expérience et à Remi Barbier d'avoir accepté d'animer la phase de débriefing et pour ses conseils en termes d'analyse sociologique. Enfin, nous remercions les rapporteurs anonymes de la revue, dont les conseils nous ont permis d'améliorer significativement cet article.

## 1. Introduction

Les problèmes de ruissellement et de coulées de boue sont des phénomènes qui touchent massivement l'ensemble des collines limoneuses du Nord de l'Europe (Boardman et Poesen, 2006). Par exemple, entre 1976 et 2001, 138 coulées boueuses se sont produites dans le sud de l'Angleterre (Boardman *et al.*, 2003). En France, l'Alsace, du fait de ses caractéristiques physiques et agricoles (sols limoneux, collines, grandes cultures céréalières), est l'une des régions les plus touchées (Le Bissonnais *et al.*, 2002). Les activités agricoles et la rurbanisation ont conduit à de nombreuses modifications du paysage agricole, en particulier la suppression de toutes sortes de zones tampon (haies, fossés, mares, forêts, prairies, zones humides), ce qui favorise le transfert du ruissellement vers les exutoires et les coulées de boue. Ainsi, entre 1982 et 2005, on dénombre 225 communes alsaciennes sinistrées (Auzet *et al.*, 2005). L'adoption de meilleures pratiques agricoles par les exploitants (techniques sans labour, rotations, culture sous couvert, culture d'hiver, enherbement des fourrières, etc.<sup>1</sup>), un aménagement du territoire agricole évitant une trop grande connexion des chemins empruntés par le ruissellement, un stockage de l'excès d'eau en amont des secteurs vulnérables (eaux de surface, puits de captage, infrastructures et habitations) et une politique de sensibilisation des agriculteurs sont autant de moyens qui permettraient de réduire significativement les risques et la gravité des coulées de boue<sup>2</sup>.

Afin d'inciter les agriculteurs à adopter les pratiques les plus favorables à l'environnement en particulier contre les risques de coulée de boue, nous proposons la mise en place d'une taxation de type taxe ambiante. Il s'agit d'une taxe dont le calcul dépend de la qualité ambiante de l'environnement. Ce type d'instrument a été initialement proposé pour résoudre les problèmes de pollution dite diffuse (Segerson, 1988). Ce sont des situations où un milieu (un lac, une nappe phréatique) est affecté par plusieurs pollueurs, mais où la contribution individuelle de chacun des pollueurs à la pollution ambiante totale est difficilement observable car les polluants subissent un transport diffus dans le sol. En présence de pollution diffuse, le régulateur ne peut donc pas recourir à une taxe pigouvienne traditionnelle, dépendant des émissions individuelles de chacun. Il peut en revanche introduire une taxe indexée sur le niveau de pollution ambiante, car celui-ci est plus facile et moins coûteux à observer que les émissions individuelles. La présence de la taxe ambiante introduit de l'interaction entre les agents qui

---

<sup>1</sup> Certaines pratiques agricoles contribuent en effet à limiter et réduire les risques de coulées de boue. Différentes stratégies peuvent être mises en place. Ainsi, les impacts des précipitations peuvent être limités par des bandes enherbées, des bassins de rétention, etc. Il est possible également de jouer sur la cause de la coulée, en réduisant la formation du ruissellement, en optant pour une culture d'hiver (du blé, par exemple) ou en optant pour les techniques sans labour (TSL). Les TSL jouent à différents niveaux. D'une part, la présence de résidus végétaux protège la surface, limitant ainsi la formation des croûtes et améliorant l'infiltration en surface. D'autre part, l'absence de retournement du sol augmente la teneur de la surface en matière organique et celle-ci ralentit également le processus de formation des croûtes. Enfin, les TSL permettent une activité biologique du sol plus importante qui là encore améliore l'infiltration du profil (voir, par exemple, sur l'effet bénéfique des TSL, Holland, 2004, ou Strudley *et al.*, 2008).

<sup>2</sup> Voir Auzet *et al.* (1990) et Helming *et al.* (2005) pour une description détaillée du phénomène et Auzet *et al.* (2006) pour des aspects spécifiques au cas français.

la payent puisque le montant dû dépend du niveau de pollution totale, résultant lui-même des efforts de chacun. Le régulateur doit alors chercher à calibrer la taxe de telle sorte qu'à l'équilibre de Nash du jeu, l'optimum social soit atteint.

La régulation des phénomènes de coulées de boue pose des problèmes informationnels analogues à celle de la pollution diffuse. En effet, les dommages dus aux coulées de boue sont liés aux efforts fournis par chacun des agriculteurs du bassin versant considéré (type de culture, techniques employées, intrants utilisés, etc.) mais comme dans le cas de la pollution diffuse, il est plus facile pour le régulateur d'évaluer le coût total des dégâts occasionnés par la coulée que les efforts individuels de chacun des agents. En effet, à l'échelle du bassin versant, les interactions entre précipitations, relief, type de sol, pratiques culturales, hauteur de la nappe sont tellement complexes qu'il est très difficile d'estimer si un changement de pratiques se traduit effectivement par une diminution de l'aléa coulée en aval. Pour le régulateur, il s'avèrerait donc très coûteux non seulement d'évaluer les changements de pratiques des agriculteurs, mais de plus d'évaluer la pertinence de ces changements de pratiques en fonction de leur positionnement dans le bassin versant. Ambroise (1999) (page 60) a ainsi développé le concept de zone active et contributive variable pour un processus donné, ces zones n'étant pas forcément les mêmes au cours du temps et selon le processus considéré. Le coût total des dommages peut alors servir de base au calcul d'une taxe.

Les phénomènes de coulées de boue présentent cependant deux différences importantes avec la pollution diffuse. D'une part, ils sont ponctuels et non pas continus comme les processus de pollution. Les épisodes de coulée de boue surviennent aléatoirement et ponctuellement en fonction des précipitations. Par exemple, en Alsace, les phénomènes de coulées de boue se produisent au printemps, avant que le maïs n'ait poussé, s'il y a des orages. De ce fait, l'application de la taxe ambiante devient elle aussi ponctuelle, dépendant de l'occurrence aléatoire d'un épisode de coulée. D'autre part, dans le cas de la pollution diffuse, on suppose en général que non seulement le régulateur n'observe pas les pratiques individuelles, mais aussi que les agriculteurs entre eux ne peuvent observer leurs pratiques mutuelles. Dans le cas des coulées boueuses, cette seconde hypothèse est sans doute moins valide dans la mesure où le type de pratiques impliquées semble plus facilement observable au sein d'un même bassin versant<sup>3</sup>.

A notre connaissance, de véritables taxes ambiantes n'ont encore jamais été appliquées sur le terrain. Cependant, différentes catégories de taxes ambiantes ont déjà été testées en laboratoire, de manière décontextualisée ou dans un contexte de pollution, avec des résultats assez prometteurs (voir entre autres Suter *et al.*, 2009, Suter *et al.*, 2008, Cochard *et al.*, 2007, Vossler *et al.*, 2006, Cochard *et al.*, 2005, Spraggon, 2004, Spraggon, 2002). Notre premier objectif est donc de tester l'efficacité d'une taxe ambiante dans le contexte des coulées de boue, et directement auprès de la population intéressée. Notre étude appartient donc à la catégorie des expériences de terrain (field experiment) comme les désignent Harrison et List (2004). Plus particulièrement, si l'on se réfère à leur typologie, notre expérience peut être classée dans la catégorie *framed*

---

<sup>3</sup> Par exemple, la quantité d'engrais ou de pesticide épanchée sur un champ par un agriculteur voisin est probablement plus difficile à évaluer que le type de labours utilisés.

*field experiment* (p. 1014), c'est-à-dire une expérience menée certes dans un laboratoire expérimental, mais avec un groupe de sujets non standards (pas des étudiants) et une information contextualisée. L'intérêt de recourir à la véritable population d'agents ciblée et de les placer dans leur contexte naturel par rapport à des sujets plus standards dans un environnement neutre est que les comportements peuvent être différents. Il est en effet possible que les véritables agents utilisent dans leur quotidien des heuristiques spécifiques (ici être familiers avec les phénomènes de coulées de boue et gérer une exploitation agricole) qui diffèrent de ce que feraient d'autres agents et de ce qu'ils feraient dans un environnement décontextualisé. Ainsi Harrison et List (2008) ont-ils montré que des sujets expérimentés agissaient différemment des sujets standards (étudiants), en évitant la malédiction du vainqueur. De plus, dans certains cas, il peut s'opérer un transfert de l'heuristique entre le terrain contextualisé et la situation de laboratoire (décontextualisée) alors que dans d'autres cas, ce transfert n'est pas observé.

Notre second objectif est d'étudier l'acceptabilité de l'instrument. En effet, si un tel dispositif présente des avantages pour le régulateur, puisqu'il économise l'observation des efforts individuels, il peut revêtir un caractère injuste aux yeux des agriculteurs dans la mesure où il s'apparente à une punition collective. Un trop fort rejet de l'instrument pourrait alors être un réel frein à sa mise en œuvre. Pour tester l'acceptabilité de l'instrument, nous avons procédé à l'issue de l'expérience à un débriefing minutieux avec les exploitants agricoles. Il n'est pas habituel en économie expérimentale d'effectuer un débriefing à la fin de l'expérience. Toutefois, celui-ci peut s'avérer intéressant lorsque les participants de l'expérience sont les véritables agents ciblés comme c'est le cas ici. Ce débriefing a été mené avec l'aide d'un sociologue formé à ce type d'entretien. L'acceptabilité de la taxe ambiante a déjà fait l'objet d'une étude expérimentale par Ziegelmeyer *et al.* (2007). Dans cette expérience, les sujets avaient le choix entre subir une taxe ambiante et une taxe pigouvienne traditionnelle, et ils ont choisi assez fréquemment la taxe ambiante. Cela suggère que l'instrument est peut-être moins inacceptable qu'il n'y paraît. Toutefois, cette expérience a été réalisée avec des étudiants et non pas des agriculteurs.

Dans notre expérience, six exploitants agricoles interagissent au sein du même groupe pendant 30 périodes. Ces agriculteurs sont originaires des deux zones alsaciennes où il y a des problèmes de coulées de boue : le Sundgau et le Kochersberg (zones de collines limoneuses, respectivement situées au sud et au nord de l'Alsace). Dans l'expérience, ils ont la possibilité de fournir un certain niveau d'effort coûteux pour réduire les dommages en cas de coulée de boue. En cas de coulée, le régulateur évalue les dommages, et exige de chaque agent le paiement de ces dommages diminué d'un certain montant forfaitaire. L'instrument est calibré de telle sorte que l'équilibre de Nash du jeu constitutif corresponde à l'optimum social (et donc à l'objectif du régulateur).

Nous nous intéressons dans cette étude à une version particulière de la taxe ambiante, appelée plutôt taxe/subvention ambiante, dans la mesure où les agents subissent une taxe si les dommages observés suite à une coulée s'avèrent supérieurs à ce qu'ils devraient être à l'optimum social, mais perçoivent une subvention dans le cas contraire. Cet instrument présente donc à la fois un aspect sanction et un aspect récompense, ce dernier aspect pouvant en partie limiter les problèmes d'acceptabilité.

En revanche, l'inconvénient de cet instrument est qu'il n'est pas robuste à la collusion. En effet, les agents peuvent augmenter la somme de leurs gains s'ils parviennent à se coordonner pour fournir des efforts supérieurs à ceux qui sont requis à l'optimum social<sup>4</sup>. L'éventualité de la collusion pourrait être renforcée par le fait que les agents peuvent observer mutuellement leurs décisions dans le contexte des coulées de boues, ainsi que nous l'avons vu ci-dessus.

Notre troisième objectif est ainsi de tester la robustesse de la taxe ambiante lorsque les décisions individuelles des agents sont mutuellement observables. Deux traitements ont été réalisés. Dans le premier traitement (les dix premières périodes), s'il n'y a pas de coulée de boue, les sujets ne reçoivent aucune information sur les comportements des autres joueurs. En revanche, s'il y a coulée de boue, les sujets sont informés de la contribution, en terme d'effort, de l'ensemble du groupe (mais pas des efforts individuels). Dans le second traitement (les vingt périodes suivantes), les efforts individuels de chacun sont observables à la fin de chaque période, qu'il y ait ou non coulée de boue. Ce second traitement se justifie par le fait que, sur un bassin versant, il est possible que les agriculteurs s'observent et sachent ce que chacun entreprend même si cette information reste difficile à obtenir pour le régulateur. Même si le second traitement semble le plus réaliste dans le cadre des coulées de boues, la situation correspondant au premier traitement peut aussi survenir dans la réalité : les agents n'observent pas nécessairement les décisions des autres avec précision. Par ailleurs, la réalisation du premier traitement nous permet de nous rattacher aux résultats de la littérature expérimentale assez abondante sur la taxe ambiante. A notre connaissance, la situation étudiée dans le second traitement n'a jamais été testée dans les expériences passées sur la taxe ambiante. Or l'observabilité des décisions individuelles constitue un intéressant test de robustesse de l'instrument à la collusion.

En moyenne, nous observons que l'instrument est relativement efficace, mais surtout pendant les dix premières périodes. L'optimum social y est approximativement atteint, au moins au niveau de l'effort du groupe, et l'efficacité augmente au cours du temps. L'efficacité de l'instrument se dégrade en revanche légèrement par la suite, dans la mesure où les agents tendent à fournir des niveaux d'efforts excessifs, comme s'ils parvenaient à se coordonner tacitement en direction de la solution collusive. Ce résultat suggère que l'instrument ne doit peut-être pas être appliqué pendant une durée trop prolongée ou lorsque les agents peuvent facilement observer les efforts de chacun.

La suite de l'article est organisée de la manière suivante. Nous commençons par présenter les prédictions théoriques du modèle sous-jacent à cette étude puis le protocole expérimental de l'expérience. Ensuite, nous décrivons les résultats, puis nous analysons le débriefing qui a eu lieu avec les sujets après l'expérience.

---

<sup>4</sup> Les caractéristiques stratégiques de ce jeu sont en fait proches de celles d'un oligopole. Dans un tel marché, les firmes obtiennent des profits plus élevés si elles parviennent à s'entendre sur des prix plus élevés ou des quantités plus faibles qu'à l'équilibre de Nash. Il existe donc une solution collusive distincte de l'équilibre de Nash et qui aboutit à un niveau de bien-être social inférieur à celui de l'équilibre.

## 2. Prédications théoriques

On considère un bassin versant pouvant être sujet à des épisodes de coulées de boue. Une coulée est supposée pouvoir survenir une fois avec une probabilité  $p \in (0,1)$  au cours de la période de temps de référence (une année par exemple). Elle engendre alors un dommage social  $D > 0$  (en unités monétaires). Le niveau du dommage dépend des activités de  $n$  agriculteurs dont les exploitations sont situées en amont sur le bassin versant. On suppose pour simplifier que les activités des agriculteurs n'affectent que le dommage  $D$  mais pas la probabilité  $p$  des coulées. La probabilité est supposée ne dépendre que des conditions météorologiques par exemple<sup>5</sup>.

Les exploitants connaissent l'impact de leurs activités sur les dommages. Ils savent qu'ils peuvent réduire ces dommages en adoptant de meilleures pratiques. Néanmoins, l'adoption de nouvelles pratiques nécessite un effort coûteux. Soit  $e_i \in [0, \bar{e}_i]$  le niveau d'effort fourni par l'exploitant  $i$  pour adopter de meilleures pratiques ( $\bar{e}_i$  étant le niveau d'effort maximal réalisable). Soit  $C_i(e_i)$  la fonction de coût de l'agent  $i$  s'il fournit l'effort  $e_i$ , avec  $C_i : [0, \bar{e}_i] \rightarrow \mathbb{R}_+$ ,  $C_i' > 0$ ,  $C_i'' \geq 0$ . Le coût de l'effort est donc supposé croissant à un rythme croissant. L'effort étant coûteux, les agents ne sont pas incités à adopter de meilleures pratiques en l'absence de régulation.

La fonction de dommage est  $D = D(e_1, \dots, e_n)$ , avec  $D : \prod_{i=1}^n [0, \bar{e}_i] \rightarrow \mathbb{R}_+$ . Nous noterons  $\mathbf{e} = (e_1, \dots, e_n)$  le vecteur d'efforts individuels des agents. Nous supposons pour simplifier que la fonction de dommage est strictement décroissante et convexe en  $\mathbf{e}$  donc  $\forall i \in \{1, \dots, n\}$ ,  $D_{e_i}' < 0$ ,  $D_{e_i}'' \geq 0$ . Ainsi, le dommage est-il décroissant avec les efforts mais à un rythme décroissant.

Il sera utile de définir la variable aléatoire binaire  $\mathcal{E}$ , qui prend la valeur 1 si une coulée de boue a lieu, et 0 sinon.  $\mathcal{E}$  suit donc une loi de Bernoulli :  $\mathcal{E} \rightarrow B(1, p)$ , avec  $E(\mathcal{E}) = p$ ,  $V(\mathcal{E}) = p(1 - p)$ . Le dommage *ex ante* lié à un épisode de coulée de boue peut donc se formaliser sous la forme  $\mathcal{E}D(\mathbf{e})$ , d'espérance  $pD(\mathbf{e})$ .

La fonction objectif du régulateur est la fonction de coût social *ex ante*, notée  $CS$ , définie par la somme des coûts des efforts des exploitants et du coût du dommage<sup>6</sup> :

$$CS = CS(\mathbf{e}, \mathcal{E}) = \sum_{i=1}^{i=n} C_i(e_i) + \mathcal{E}D(\mathbf{e}). \tag{1}$$

L'objectif du régulateur est de minimiser l'espérance du coût social  $E[CS(\mathbf{e}, \mathcal{E})] = \sum_{i=1}^{i=n} C_i(e_i) + pD(\mathbf{e})$ , ce qui implique la condition suivante (en supposant que la solution est intérieure) :

$$C_i'(e_i^*) = -pD_{e_i}'(\mathbf{e}^*) \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}. \tag{2}$$

<sup>5</sup> Plus généralement, les activités des exploitants peuvent avoir un impact sur la probabilité d'occurrence des coulées.

<sup>6</sup> De manière équivalente, on pourrait définir l'objectif du régulateur à l'aide d'une fonction de bien-être social, simplement définie comme l'opposé de la fonction de coût social. La fonction de coût social étant  $CS(\mathbf{e}, \mathcal{E}) = \sum_{i=1}^{i=n} C_i(e_i) + \mathcal{E}D(\mathbf{e})$ , on peut donc exprimer la fonction de bien-être social sous la forme :  $BS(\mathbf{e}, \mathcal{E}) = -\sum_{i=1}^{i=n} C_i(e_i) - \mathcal{E}D(\mathbf{e})$ .

Ainsi, à l'optimum social, chaque exploitant choisit-il le niveau d'effort dont le coût marginal est égal à l'espérance du dommage marginal qu'il permet d'économiser. Nos hypothèses de convexité nous assurent de l'existence d'une solution unique à cette équation. Si la solution est intérieure ( $e_i^* > 0$ ), le régulateur doit inciter les exploitants à fournir des efforts. La difficulté est cependant qu'il ne peut observer ces efforts. L'idée est alors de recourir à un instrument de type « taxe ambiante », ou plus précisément une « taxe assise sur le niveau de dommage » (« damage-based tax », dans le domaine de la pollution diffuse, voir Hansen, 1998 et Horan *et al.*, 1998).

Le principe de cette taxe est le suivant : en cas de coulée de boue, chaque exploitant doit payer une taxe dont le montant dépend des dommages engendrés  $D(\mathbf{e})$ . Chaque exploitant est donc redevable d'un montant  $T = T(D(\mathbf{e}))$  en cas de coulée, et d'un montant nul tant qu'aucune coulée n'a lieu. La taxe *ex ante* est donc  $eT(D(\mathbf{e}))$ .

Si les exploitants sont neutres au risque, l'expression de la taxe socialement optimale se détermine de manière évidente. Le coût espéré de l'exploitant  $i$  est

$$C_i(e_i) + pT(D(\mathbf{e})), \quad (3)$$

qui est minimal sous la condition du premier-ordre suivante (si la solution est intérieure) :

$$C'_i(e_i^*) = -pD'_{e_i}(\mathbf{e}^*)T'(D(\mathbf{e}^*)). \quad (4)$$

Les niveaux d'effort ( $e_1^*, \dots, e_n^*$ ) définissent un unique équilibre de Nash. Le régulateur doit alors calibrer la taxe ambiante de telle sorte que l'équilibre corresponde à l'optimum social. La confrontation des équations (2) et (4) implique que la taxe doit vérifier :

$$T'(D(\mathbf{e}^*)) = 1, \quad (5)$$

donc l'expression de la taxe ambiante est :

$$T(D(\mathbf{e})) = D(\mathbf{e}) + K, \quad (6)$$

où  $K$  est une constante quelconque. Le résultat est clair : chaque exploitant doit payer la *totalité* du dommage généré par la coulée, plus un transfert forfaitaire positif ou négatif. En pratique, le transfert sera probablement négatif afin d'éviter un montant à payer trop élevé, qui pourrait entraîner la faillite de l'exploitant. Nous écrivons à partir de maintenant l'instrument sous la forme :

$$T(D(\mathbf{e})) = D(\mathbf{e}) - K, \quad (7)$$

avec  $K > 0$ , que l'on appellera « subvention forfaitaire ».

Trois remarques méritent d'être formulées. D'abord, on peut remarquer que, contrairement à l'intuition, la taxe n'est pas du type  $T(D(\mathbf{e})) = \frac{1}{n}D(\mathbf{e}) - K$ , qui signifierait un *partage* de la charge du dommage entre les  $n$  exploitants. Une telle taxe ne fournirait pas d'incitations suffisantes puisqu'elle ne conduit chaque agent qu'à internaliser une part  $\frac{1}{n}$  des dommages. Cependant, la présence de la subvention forfaitaire permet au régulateur de diminuer le montant net payé. On peut d'ailleurs noter que si  $K = D(\mathbf{e}^*)$ , ce que nous supposons dans l'expérience, alors à l'optimum social le montant effectivement payé par les agents est nul.

Ensuite, on peut montrer que si les agents ne sont pas neutres au risque, alors leurs fonctions de meilleure réponse ne sont plus les mêmes. Plus précisément, si l'on désigne par  $\mathbf{e}^a$  le vecteur d'émissions anticipé par un agent  $i$  quelconque, ses meilleures réponses sont affectées par le signe de  $D(\mathbf{e}^a) - K$  : si  $D(\mathbf{e}^a) - K > 0$ , alors son effort est d'autant plus élevé qu'il est averse au risque ; si  $D(\mathbf{e}^a) - K < 0$ , son effort est d'autant plus faible qu'il est averse au risque<sup>7</sup>.

Enfin, l'instrument n'est pas robuste à la collusion. On peut montrer que les exploitants peuvent diminuer la somme de leurs coûts espérés en choisissant des niveaux d'effort plus élevés. En effet cette somme est :

$$\sum_{i=1}^{i=n} [C_i(e_i) + p(D(\mathbf{e}) - K)], \tag{8}$$

de telle sorte que la condition du premier-ordre de ce problème est :

$$C'_i(e_i^c) = -npD_{e_i}(\mathbf{e}^c), \tag{9}$$

clairement distincte de l'équation (2). On en déduit que pour tout  $i$ ,  $e_i^* < e_i^c$ .

Le modèle présenté ici est statique (les agents interagissent une seule fois). La collusion n'est donc pas un équilibre de Nash sauf si les agents ont des préférences particulières (par exemple, des préférences « inter-personnelles » ou sociales, du type aversion à l'inégalité, altruisme, etc.). La collusion peut néanmoins être soutenue à l'équilibre (parfait en sous-jeux) si le jeu est répété infiniment et si les joueurs sont suffisamment « patients ». Si le jeu est à horizon fini (comme c'est le cas dans notre expérience), alors l'équilibre parfait en sous-jeux du jeu répété correspond à l'équilibre du jeu constitutif (argument de *backward induction*). Cependant, ce résultat repose sur la connaissance commune des préférences et de la rationalité des joueurs, ce qui constitue une hypothèse assez hardie en pratique. Par exemple, un agent peut être parfaitement égoïste et rationnel, mais il n'est jamais certain que les autres joueurs le soient. Kreps et Wilson (1982) montrent que même s'il existe une probabilité minimale pour que les autres joueurs souhaitent coopérer, alors il peut être profitable pour un agent égoïste et rationnel de se faire passer pour un coopérateur au moins pendant un certain nombre de périodes. Ainsi la stratégie collusive peut-elle être choisie à l'équilibre même dans un jeu fini, du moment qu'il subsiste une petite incertitude sur les préférences ou la rationalité des autres joueurs.

### 3. Protocole expérimental

#### 3.1. Paramètres

Six exploitants agricoles sont recrutés pour participer à cette expérience ( $n = 6$ ). Bien que l'expérience se déroule en laboratoire, elle est entièrement contextualisée de

<sup>7</sup> L'intuition de ce résultat est simple. Le montant  $p(D(\mathbf{e}^a) - K)$  correspond en fait à l'espérance de la taxe. La variance de la taxe est  $Var(\mathcal{E}(D(\mathbf{e}^a) - K)) = Var(\mathcal{E})(D(\mathbf{e}^a) - K)^2$ . Des agents averses au risques préféreront réduire la variance du montant payé : pour cela, il leur faut diminuer  $(D(\mathbf{e}^a) - K)^2$ , ce qui implique diminuer  $D(\mathbf{e}^a) - K$  si  $D(\mathbf{e}^a) > K$ , et donc fournir des efforts plus élevés ; à l'inverse, il faut fournir des efforts plus faibles dans le cas  $D(\mathbf{e}^a) < K$ .

manière à ce que les sujets retrouvent le plus possible leur environnement familial. Tous les paramètres de l'expérience sont de connaissance commune. Les participants sont donc informés qu'ils jouent le rôle d'exploitants agricoles pouvant réaliser des efforts pour réduire les dégâts causés par d'éventuelles coulées de boue. Nous expliquons que les efforts correspondent à des changements de pratiques agricoles (TSL, bandes enherbées, rotation de cultures...) s'avérant coûteuses (rendements moindres, achat de matériels différents, temps passé).

Nous considérons un environnement complètement symétrique : tous les exploitants ont le même niveau maximum d'effort  $\bar{e}_i$  et la même fonction de coût  $C_i$ . Plus précisément  $\bar{e}_i = 20$ , et

$$C_i = C(e_i) = \frac{250}{13} e_i^2 \approx 19,23 e_i^2. \quad (10)$$

Dans les instructions, la fonction de coût est fournie sous la forme d'un tableau (voir dans les instructions reproduites en annexe). Une coulée de boue peut survenir avec la probabilité  $p = \frac{1}{2}$  et génère alors le dommage (en euros expérimentaux) :

$$D(\mathbf{e}) = 120\,000 - 1000 \sum_{i=1}^n e_i. \quad (11)$$

Ainsi, si aucun effort n'est fourni, le coût social de la coulée s'élève-t-il à 120 000 €. Si chaque exploitant fournit le niveau maximal d'effort (soit  $6 \times 20 = 120$ ), alors le coût social de la coulée est nul.

La taxe ambiante due par chacun des exploitants s'élève à

$$T(\mathbf{e}) = D(\mathbf{e}) - 42\,000, \quad (12)$$

ce qui signifie que la subvention forfaitaire est  $K = 42\,000$  €.

A chaque période, chaque exploitant perçoit une dotation initiale de 30 000 €. Son profit total *ex ante* est donc égal à cette dotation initiale, moins le coût de l'effort fourni, moins la taxe ambiante :

$$\pi_i(\mathbf{e}, \varepsilon) = 30\,000 - \frac{250}{13} e_i^2 - \varepsilon \left( 120\,000 - 1000 \sum_{j=1}^n e_j - 42\,000 \right). \quad (13)$$

L'expérience est composée de 30 périodes et est scindée en deux parties respectivement de 10 et 20 périodes, correspondant aux deux traitements (voir ci-dessous). A la fin de l'expérience, une période est tirée au sort et les participants sont rémunérés en espèces en fonction des gains réalisés dans cette période (le taux de conversion appliqué est de 1 pour 1000 euros expérimentaux).

Le tableau 1 présente les différentes solutions théoriques de référence étant donné nos paramètres. Comme nous considérons une fonction de dommage linéaire, le niveau d'effort socialement optimal correspond à une stratégie dominante. Cette paramétrisation est standard dans les expériences sur la taxe ambiante (voir par exemple Spraggon, 2002). Dans un cas plus général, l'optimum social serait implémenté par un équilibre de Nash en stratégies non dominantes.

Tableau 1. Solutions théoriques de référence

	Optimum social (equ. en strat. dominantes)	Collusion parfaite
Effort	13	20
Somme des efforts	78	120
Profit espéré (euros réels)	26 750 (26,75 €)	43 308 (43,31 €)

### 3.2. Variables de traitement

Deux traitements sont réalisés. Dans le premier traitement (appelé à partir de maintenant traitement 0), si aucune coulée de boue ne se produit, aucune information n'est communiquée. Si une coulée de boue intervient, les agents observent uniquement, en fin de période, la somme des efforts effectués par l'ensemble du groupe. Dans le second traitement (traitement 1), les sujets observent le niveau d'effort de chacun des autres sujets, qu'il y ait coulée de boue ou non. En raison de la présence d'un unique groupe d'exploitants dans cette expérience, nous sommes forcés de recourir à un protocole intra-groupe plutôt qu'inter-groupe. Ainsi chaque exploitant participe-t-il aux deux traitements : les dix premières périodes constituent le traitement 0, et les vingt autres périodes le traitement 1. Etant donné que nous ne disposons que d'un seul groupe de sujets, nous ne pouvons pas contrôler pour l'effet de séquence. Ainsi, un changement de comportement entre le traitement 1 et le traitement 0 pourrait être dû non seulement à la variable de traitement mais aussi au fait que les sujets apprennent au cours du temps.

Les conditions d'information qui prévalent dans le traitement 1 semblent être plus conformes à la réalité que celles du traitement 0. Il est en effet raisonnable de penser que les exploitants en présence sur un même bassin versant sont capables de s'observer mutuellement de manière régulière (mais à nouveau, cela ne veut pas forcément dire que cette observation soit réalisable par le régulateur à moindre coût). Ces conditions ne sont cependant pas celles qui ont été implémentées dans les expériences passées sur la taxe ambiante. Aussi estimons-nous intéressant d'en évaluer l'impact en réalisant les deux traitements. Notre conjecture est que l'observation des efforts individuels de chacun est susceptible de réduire le comportement de passager clandestin et donc d'accroître la probabilité de collusion (et donc de réduire l'efficacité de l'instrument). Cependant, il ne s'agit que d'une conjecture et il est difficile de prédire l'impact de l'observabilité des décisions sur le comportement des agents.

Différentes études théoriques ou empiriques s'y sont intéressées, à la fois dans le domaine de l'organisation industrielle et dans le domaine de la contribution volontaire à un bien public. Les résultats théoriques comme empiriques sont mitigés. Au niveau théorique, il existe des arguments qui vont dans les deux sens. Ainsi, dans un jeu à information complète et où le nombre de périodes est fixé (ce qui est le cas ici), la prédiction théorique (l'équilibre de Nash statique dû à la *backward induction*) ne dépend pas de l'observabilité des décisions. Toutefois, même si nous considérons un horizon fini, Kreps et Wilson (1982) ont montré que des stratégies collusives étaient possibles à l'équilibre. Dans ce cas, l'affichage des décisions individuelles peut permettre une meilleure coordination des stratégies des joueurs grâce à un meilleur contrôle des uns

et des autres. Cela peut faciliter la mise en place de stratégies de représailles qui permettent de soutenir la collusion. Le relâchement des hypothèses standard d'égoïsme et de rationalité des agents conduit à d'autres modèles et d'autres prédictions. D'une part, l'observabilité des décisions pourrait avoir un impact positif sur les efforts si les joueurs ont des préférences sociales : la crainte de la désapprobation des autres agents pourrait favoriser la contribution (phénomène observé dans les jeux de bien public, voir par exemple Masclét *et al.*, 2003, et dans les études sur la charité, voir par exemple celles que cite Ryan, 2009). D'autre part, dans le domaine de l'organisation industrielle, les modèles d'apprentissage appliqués aux situations d'oligopole montrent que même en restant dans le cadre de comportements plus standards (pas de préférences sociales), l'observabilité des décisions individuelles peut entraîner tous les cas de figure : aucun effet, un effet positif sur les contributions ou un effet négatif (Huck *et al.*, 2000)<sup>8</sup>.

D'un point de vue empirique, les résultats sont aussi en demi-teinte. Dans le domaine des jeux de bien public, dont notre expérience se rapproche le plus, le résultat le plus courant est que l'observabilité des décisions ne favorise pas particulièrement la collusion (Weimann, 1994 ; Croson, 2001 ; Andreoni et Petrie, 2004 ; Denant-Boemont *et al.*, 2010). En revanche, il semble que l'observabilité des décisions associée à une autre institution comme la possibilité de punir les autres (Fehr et Gächter, 2000), d'annoncer sa décision sans engagement (Denant-Boemont *et al.*, 2010), de s'observer physiquement (Andreoni et Petrie, 2004) ait bien un effet positif sur les contributions. Ces résultats tendent à suggérer que, dans notre étude, les décisions ne doivent pas être significativement affectées par l'observabilité<sup>9</sup>. Toutefois, le fait que nos sujets appartiennent au même corps de métier et le sachent peut engendrer un résultat différent (plusieurs études ont montré que le fait même d'appartenir à un même groupe favorisait la coopération, voir par exemple Goette *et al.*, 2006).

Un autre facteur, non pris en compte dans ces littératures, pourrait entraîner plus de coopération lorsqu'il y a observabilité des décisions. En raison de l'incertitude stratégique, la coopération dans les dilemmes sociaux est un acte plus risqué que la non coopération, dans la mesure où elle implique de lourdes pertes si les autres agents ne

---

<sup>8</sup> Parmi ces modèles, ceux qui sont fondés sur l'hypothèse d'imitation du joueur dont le gain est le plus élevé tendent à prédire une convergence vers l'équilibre de Nash ou même l'équilibre concurrentiel (voir par exemple Vega-Redondo, 1997). Nous ne pouvons pas directement appliquer ce résultat à notre environnement stratégique qui comporte un équilibre de Nash en stratégies dominantes, contrairement à ce qui se passe dans un marché oligopolistique. De plus, dans notre expérience, seules les décisions sont affichées, et non pas les gains des autres joueurs. Si toutefois nous supposons que les joueurs prennent la peine de calculer les gains de leurs rivaux, il est clair que le meilleur sera celui qui choisit la stratégie dominante et non pas un joueur qui cherche à construire une collusion. Donc l'argument d'imitation devrait plutôt aller à l'encontre de la collusion dans notre étude aussi.

<sup>9</sup> Dans le domaine des expériences sur les oligopoles de Cournot, Huck *et al.* (2000) observent que plus d'information sur les décisions et les gains des rivaux favorise le comportement concurrentiel, conformément au modèle de Vega-Redondo. Cela suggère que les comportements collusifs dans notre étude auraient moins de chances de survenir dans le traitement avec observabilité. Cependant, Offerman *et al.* (2002) nuancent ce résultat en observant que la collusion est aussi possible.

coopèrent pas et des gains élevés dans le cas contraire. Un facteur explicatif de la défection serait donc le degré d'aversion au risque des individus. Il est possible que lorsque les décisions sont observables comme dans notre traitement 1, les comportements deviennent plus faciles à prédire, aboutissant à une situation perçue comme moins risquée. Si cette hypothèse est juste, on doit s'attendre, toutes choses égales par ailleurs, à voir apparaître des efforts plus élevés, pour les joueurs averses au risque, dans ce traitement. Il existe une littérature expérimentale sur le lien entre le degré d'aversion au risque et la coopération dans les jeux de bien public (de Oliveira *et al.*, 2008 ; Levati *et al.*, 2009) ou les jeux de confiance (Eckel et Wilson, 2004). Mais le nombre d'études est faible et les résultats assez mitigés.

Le tableau 2 récapitule la structure de l'expérience. Les traitements ont un nombre de périodes différent pour deux raisons<sup>10</sup>. D'une part, dans le second traitement, les sujets reçoivent beaucoup plus d'information à la fin de chaque période. Un nombre de répétitions plus important semble donc requis pour donner aux participants la possibilité de traiter et d'utiliser au mieux cette information. D'autre part, le premier traitement est le plus proche des expériences passées sur la taxe ambiante, et nécessite donc moins d'observations.

Tableau 2. Description des traitements

Traitement	Périodes	Description
0	1-10	Les efforts individuels ne sont pas observés ; seule la somme des efforts est observée à la fin de la période si la coulée de boue a lieu.
1	11-30	Les efforts individuels sont observés à la fin de chaque période.

### 3.3. Procédures pratiques

L'expérience est réalisée sur des ordinateurs en réseau en Décembre 2006 au Laboratoire d'Economie Expérimentale de Strasbourg (Université de Strasbourg, BETA), à l'aide d'un logiciel mis au point par Boun My (1998). Six exploitants agricoles d'Alsace sont conviés à participer à l'expérience. Il s'agit d'exploitants âgés entre 28 et 55 ans, dont les exploitations sont situées dans les zones à risque, soit le nord et le sud de l'Alsace. Ils sont recrutés via un listing fourni par la Chambre d'Agriculture. Celle-ci mène une politique d'animation afin d'aider les exploitants à lutter contre les coulées de boue. Les agriculteurs qui ont accepté de participer sont donc tous concernés et informés sur le problème de coulée de boue. Cependant, peu d'information leur est communiquée au moment du recrutement, notamment rien n'est dit à propos des coulées de boue. Enfin, ces agriculteurs ne se connaissent pas et ils sont installés dans des compartiments isolés dès leur arrivée.

Cette expérience porte sur des décisions en univers incertain, à la fois parce que la pollution ambiante est affectée par un aléa, mais aussi parce que comme dans tout dilemme social, les décisions des autres sujets constituent une incertitude stratégique.

<sup>10</sup> Le recours à des traitements dont le nombre de périodes est asymétrique est usuel dans ce type d'expérience : voir par exemple Suter *et al.* (2009).

Aussi, avant le début de la véritable expérience, soumettons-nous les sujets à une série de choix de loteries apparaissant directement sur l'écran de leur ordinateur. Les sujets sont invités à effectuer une série de quinze choix entre une loterie et un gain certain<sup>11</sup>.

Les sujets disposent d'instructions écrites qu'ils doivent d'abord lire individuellement, puis qui sont lues à voix haute par un moniteur (les instructions sont reproduites en annexe). Chaque participant est ensuite invité à répondre à une série de questions visant à vérifier sa bonne compréhension des instructions. En cas d'erreur, des explications sont fournies, et le participant doit à nouveau répondre à la question. Avant la véritable expérience, les sujets participent à trois périodes d'essai. L'expérience dure environ 1 heure 30, suivie d'un débriefing d'environ 1 heure. Les sujets perçoivent des gains compris entre 30 et 50 € (en prenant en compte les gains de la rapide expérience de choix de loteries initiale), auxquels s'ajoute un forfait de participation de 15 €.

## 4. Résultats

Nous commençons dans une première sous-partie par comparer le niveau d'effort total du groupe au niveau d'effort socialement optimal dans chaque traitement, et nous discutons de l'impact de la variable de traitement sur l'effort total. Nous évaluons aussi l'efficacité de la taxe ambiante, c'est-à-dire sa capacité à augmenter le niveau de bien-être social. Dans une seconde sous-partie, nous étudions les décisions individuelles.

### 4.1. Analyse au niveau du groupe

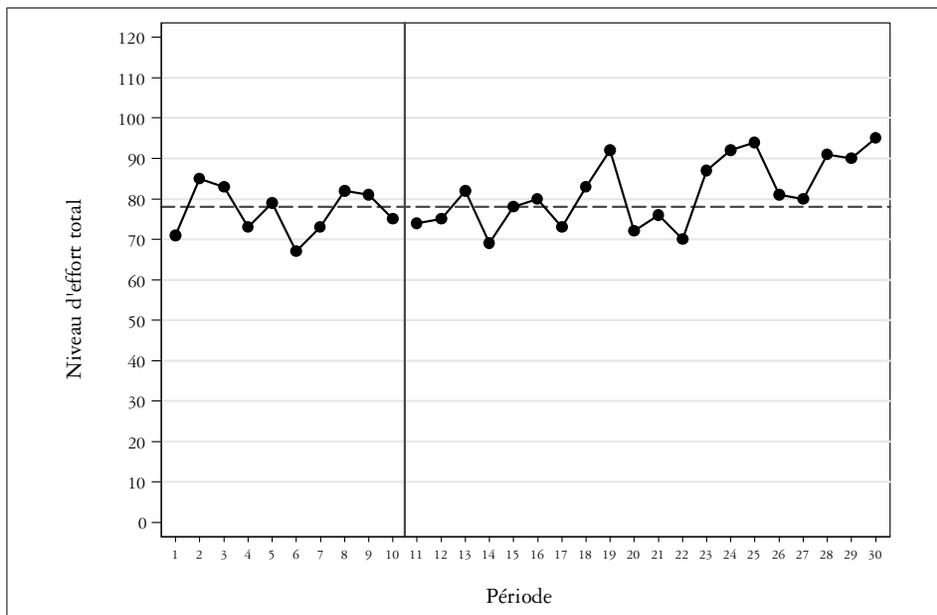
Le tableau 3 présente l'effort total du groupe dans chacun des traitements. Rappelons que le niveau d'effort socialement optimal s'élève à 78. Le niveau d'effort moyen est assez proche de cette valeur, ce qui est conforme aux résultats des expériences passées sur la taxe/subvention ambiante.

Tableau 3. Effort de groupe par traitement

	Périodes	Nb. Obs.	Niveau d'effort moyen	Ecart Type	Min.	Max.
Trait. 0	1-10	10	76.90	5.93	67	85
	11-18	8	76.75	4.83	69	83
Trait. 1	19-30	12	85.00	8.84	70	95
	11-30	20	81.70	8.43	69	95

<sup>11</sup> La loterie consiste en un gain de 400 points (8 euros) et un gain de 0 point avec des probabilités de 0,5 pour chaque gain. Le gain certain va de 25 points à 375 points par incréments de 25 points. Le but de cette procédure est d'obtenir une évaluation sommaire de l'attitude envers le risque des sujets. Ainsi, un individu neutre au risque sera-t-il indifférent entre la loterie et le gain certain de 200 points : un tel individu choisira la loterie dans les sept premiers cas, sera indifférent pour le huitième cas et enfin choisira le gain certain pour les sept derniers cas. Cette procédure est une variante simplifiée de celle de Holt et Laury (2002).

Figure 1. Niveau d'effort total par période



Notes : La droite verticale sépare les deux traitements.

La droite horizontale en pointillés correspond au niveau d'effort du groupe à l'optimum social (78).

La figure 1 ainsi que la subdivision du traitement 1 en deux sous-parties présentée dans le tableau 3 invitent cependant à relativiser cette remarque. Dans le traitement 0, l'effort total est assez stable et varie autour de l'optimum social. Dans le traitement 1, deux étapes semblent pouvoir être distinguées. Au cours des périodes 11 à 18, l'effort total reste proche de l'optimum social ; au cours des périodes 19 à 30, l'effort total dépasse plusieurs fois 90, ce qui pourrait correspondre à une collusion tacite partielle<sup>12</sup>. Nous avons vu que, sous des hypothèses de préférences et de rationalité traditionnelles, la collusion pouvait éventuellement être soutenue à l'équilibre pendant un certain temps, mais pas à la dernière période du jeu. Il est donc assez surprenant d'observer un niveau d'effort de groupe supérieur à l'optimum social à la dernière période. Le phénomène de collusion (ou de coopération) est assez courant dans les expériences de dilemme social (*e.g.* jeux de bien public). Le fait que les efforts soient croissants est en revanche moins fréquent. L'observabilité des efforts individuels, qui s'applique à partir de la période 11 (traitement 1), est peut-être à l'origine de ce phénomène. Cependant, nous ne pouvons pas savoir si cette évolution est due à un effet d'apprentissage ou au changement de traitement.

Ce phénomène de collusion ne doit pas être ignoré, mais il convient toutefois de rester prudent sur sa portée réelle. D'abord, son ampleur reste assez faible. Ensuite, on

<sup>12</sup> On remarque que l'effort total au début du traitement 1 est proche de l'effort total à la dernière période du traitement 0. Il pourrait s'agir d'un effet typique de redémarrage (*restart effect*).

peut noter une variabilité forte entre les périodes (par exemple, les efforts sont élevés en période 25, mais chutent quasiment au niveau de l'optimum social en période 26). Par ailleurs, il est possible que cette hausse finale des efforts soit un simple effet de fin de jeu, qui ne serait aussi intervenu que dans les dix dernières périodes si le jeu avait été répété un plus grand nombre de fois. Enfin, la littérature théorique et expérimentale comporte des résultats assez mitigés sur cette question comme nous l'avons vu dans ci-dessus dans le paragraphe décrivant les traitements.

Bien que les efforts de groupe soient proches de l'optimum social, cela ne veut pas nécessairement dire que l'optimum social soit atteint, et donc que l'instrument soit efficace en terme de bien-être social (BS)<sup>13</sup>. En effet, la maximisation du bien-être social nécessite que chaque exploitant choisisse le niveau d'effort socialement optimal ( $e_i = 13$ ), et non pas seulement que le niveau d'effort moyen soit égal à cette valeur (ou de manière équivalente que l'effort de groupe soit égal à 78). Il est possible que certains exploitants fournissent relativement plus d'efforts et d'autres relativement moins d'efforts, auquel cas la fonction de bien-être social n'est pas maximisée.

Le niveau de bien-être social est plus aisé à interpréter lorsqu'il est exprimé sous la forme d'un taux appelé taux d'efficacité, introduit par Spraggon (2002). Le taux d'efficacité est ainsi défini comme l'accroissement de BS permis par l'instrument de régulation par rapport à la situation de *laissez-faire*, rapporté à l'accroissement maximal possible de BS (*i.e.* BS à l'optimum social moins BS en situation de *laissez-faire*). Ce taux est donc égal au rapport suivant :

$$\tau = \frac{E(\text{BS observé}) - E(\text{BS en situation de } \textit{laissez-faire})}{E(\text{BS à l'optimum social}) - E(\text{BS en situation de } \textit{laissez-faire})} \quad (14)$$

Ainsi le niveau maximal d'efficacité ( $\tau = 100\%$ ) est-il atteint lorsque chaque exploitant choisit le niveau d'effort socialement optimal (13), et le niveau minimal d'efficacité ( $\tau = 0\%$ ) est-il atteint lorsqu'aucun effort n'est fourni (situation de *laissez-faire*).

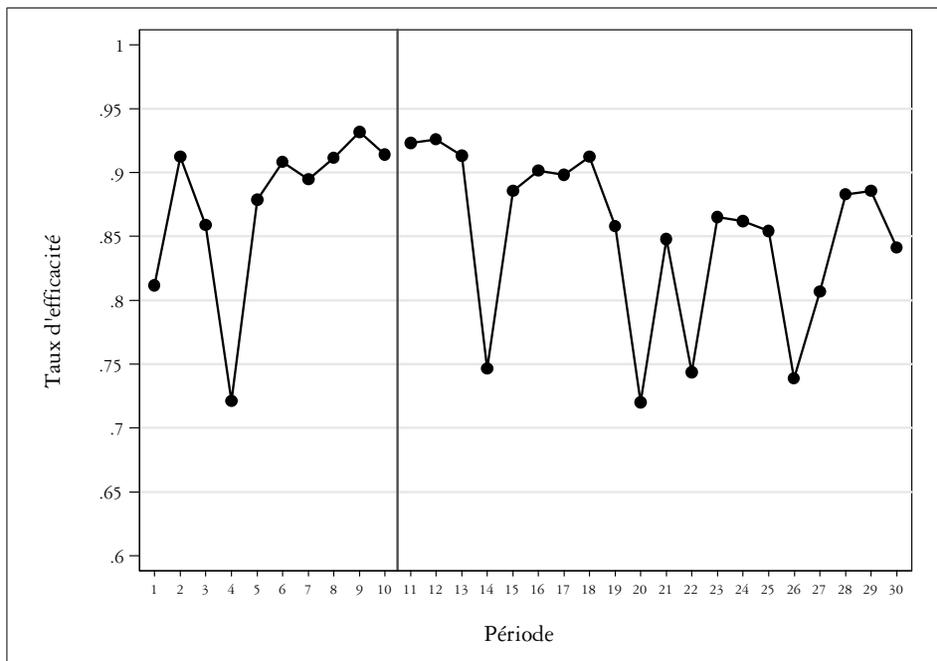
Le tableau 4 présente les taux d'efficacité moyens par traitement. Ceux-ci sont plutôt élevés, ce qui confirme que l'instrument aboutit à une forte réduction du coût social. Le taux d'efficacité moyen est plus élevé dans le traitement 0, mais la prise en considération des écart-types conduit à relativiser la différence entre les deux traitements.

Tableau 4. Taux d'efficacité moyen par traitement

	Périodes	Nb. Obs.	Taux d'efficacité moyen (%)	Ecart Type	Min.	Max.
Trait. 0	1-10	10	87.43	6.41	72.09	93.19
	11-18	8	88.83	5.88	74.66	92.61
Trait. 1	19-30	12	82.54	5.89	71.99	88.56
	11-30	20	85.06	6.54	71.99	92.61

<sup>13</sup> Rappelons que le bien-être social peut être défini comme étant l'opposé du coût social :  $BS(\mathbf{e}, \mathbf{e}) = -CS(\mathbf{e}, \mathbf{e}) = -\sum_{i=1}^{i=n} C_i(e_i) - \mathcal{E}D(\mathbf{e})$

Figure 2. Taux d'efficacité par période



Note : la droite verticale sépare les deux traitements.

Le découpage du traitement 1 en deux blocs de périodes (tableau 4) et la figure 2 conduisent à mettre en évidence une dégradation de l'efficacité dans la deuxième partie du traitement 1. Celle-ci est due, comme nous l'avons vu plus haut, à l'élévation socialement excessive des efforts.

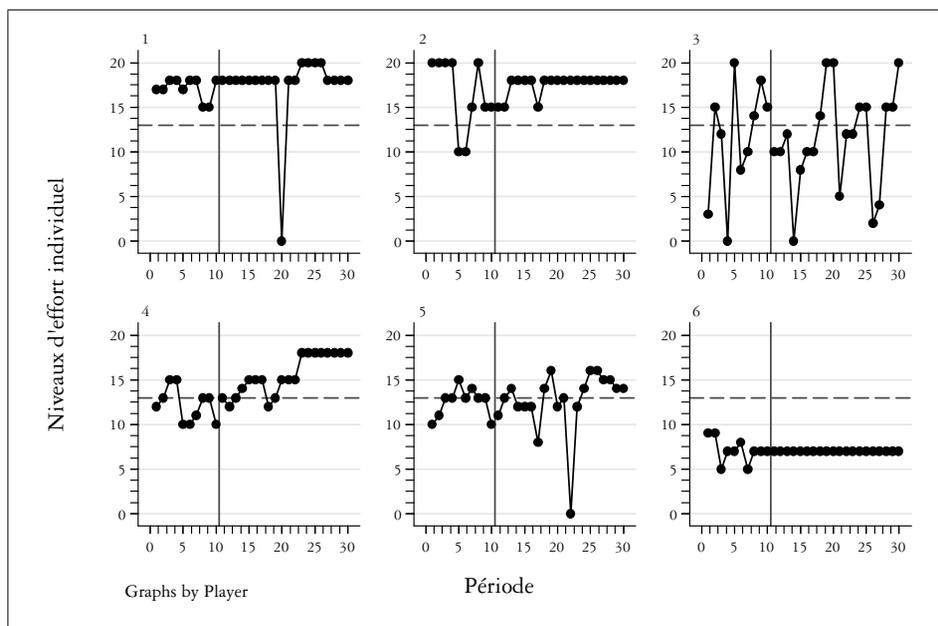
#### 4.2. Analyses au niveau individuel

Nos analyses précédentes ont montré que la taxe ambiante est capable d'inciter les exploitants à fournir des efforts, que l'effort total du groupe est proche du niveau correspondant à l'optimum social, et que les taux d'efficacité sont élevés. Nous affinons à présent cette analyse en étudiant les décisions individuelles des exploitants.

La figure 3 présente le niveau d'effort choisi par chaque exploitant à chaque période du temps. De manière surprenante, à l'exception du sujet n° 5 (et 4 au cours des premières périodes), les efforts individuels ne semblent pas vraiment proches de l'optimum social ( $e_i = 13$ ). Les décisions individuelles sont assez hétérogènes. Ce résultat est aussi conforme à ceux des expériences passées sur la taxe ambiante (voir les articles cités dans l'introduction) et à de nombreuses expériences de décisions stratégiques en général<sup>14</sup>. Une même tendance temporelle semble toutefois se dessiner en ce qui

<sup>14</sup> C'est le cas en particulier des expériences sur l'exploitation des ressources communes (« common pool resources »), voir notamment Oström *et al.* (1994), mais aussi des expériences sur les oligopoles, voir par exemple Davis et Holt (1993).

Figure 3. Niveaux d'effort individuels par période et par sujet



Notes : la droite verticale sépare les deux traitements.

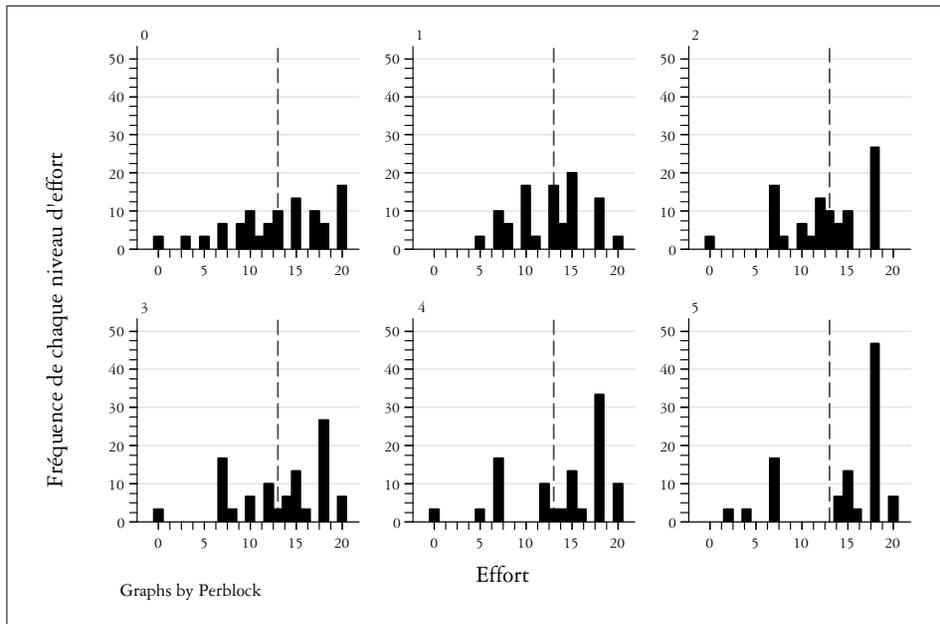
La droite horizontale en pointillés correspond au niveau d'effort du groupe à l'optimum social (78).

concerne les sujets n° 1, 2 et 4 : au cours des dix premières périodes (traitement 0), le niveau d'effort tend à se rapprocher de l'optimum social ; au cours des périodes suivantes (traitement 1), le niveau d'effort tend à se stabiliser bien au-dessus de l'optimum social. A nouveau, cette observation est compatible avec l'hypothèse selon laquelle certains exploitants tentent de se coordonner tacitement pour atteindre la solution collusive dans le traitement 1. Toutefois, cette observation ne vaut guère pour les sujets n° 3 et 5, et pas du tout pour le sujet n° 6. Tous ne recherchent donc pas la collusion.

Rappelons qu'avant le début de la véritable expérience, nous avons soumis les sujets à une série de choix de loteries (du type Holt et Laury, 2002) dans le but d'obtenir une évaluation sommaire de l'attitude envers le risque des sujets. Les résultats obtenus sont les suivants : le sujet n° 1 présente une forte aversion au risque ; le sujet n° 2 est très attiré par le risque ; les quatre autres individus peuvent être considérés comme neutres ou très légèrement averses au risque. Rappelons que toutes choses égales par ailleurs, un individu plus averse au risque aura tendance à fournir plus d'effort si la somme des efforts est inférieure à l'optimum social, et vice versa dans le cas contraire.

Il est frappant de constater que les profils de décisions des agents ne semblent pas particulièrement liés à leur degré d'aversion au risque. Il est toutefois délicat de se prononcer précisément sur ce point étant donné que nous ne connaissons pas les croyances des sujets sur les décisions des autres à chaque période. Notre conjecture était

Figure 4. Distribution des efforts individuels par groupe de cinq périodes



Note : la droite horizontale en pointillés correspond au niveau d'effort individuel à l'optimum social (13).

que les joueurs averses au risques pourraient percevoir la situation dans le traitement 1 comme moins risquée, et donc fournir plus d'efforts. Nos données ne nous permettent pas de confirmer cette conjecture de manière convaincante.

Les histogrammes suivants (figure 4) permettent d'observer l'évolution de la distribution des niveaux d'effort par groupes de cinq périodes. Ainsi les deux premiers histogrammes (groupes de périodes 1-5, 6-10) correspondent-ils au traitement 0, et les quatre derniers histogrammes au traitement 1 (périodes 11-15, 16-20, 21-25, 26-30). Les deux premiers histogrammes confirment que la distribution des efforts semble se rapprocher de l'optimum social dans le traitement 0 (la raison peut en être l'apprentissage). Cela est en accord avec l'augmentation du taux d'efficacité vu précédemment. Les quatre derniers histogrammes révèlent un lent déplacement de la distribution vers la droite, ce qui confirme que les efforts tendent à augmenter et dépasser l'optimum social au cours des périodes correspondantes (on remarque tout de même un résidu de la distribution au-dessous de 10, correspondant aux sujets n° 3 et 6). Cependant, à nouveau, nous ne pouvons pas savoir si cette évolution est due à un effet d'apprentissage ou au changement de traitement.

## 5. Débriefing

Le débriefing est réalisé directement à la suite de l'expérience, les sujets ayant quitté le laboratoire pour s'installer autour d'une même table. Ce débriefing dure environ une

heure. Nous le conduisons avec l'aide d'un sociologue formé aux techniques requises par ce type d'entretien collectif. Les débats sont menés en suivant un déroulement prédéfini. Ainsi, nous avons convenu d'évoquer d'abord le ressenti de l'expérience, puis plus précisément la prise de décision dans le jeu. Enfin, dans une dernière partie, il s'agit de les faire parler sur le lien entre l'expérience et le monde réel et l'éventualité de la mise en place d'un tel système.

### 5.1. La perception de l'expérimentation

Nous commençons par un tour de table en leur demandant leur perception de l'expérience. Il est assez difficile de cantonner les participants pour qu'ils restent sur cette première question. Ainsi, l'un des participants, qui est déjà impliqué dans un dispositif collectif, questionne d'emblée le but ultime de l'expérience et nous soupçonne d'éventuelles arrière-pensées : s'agit-il *in fine* d'alimenter la réflexion du Ministère de l'Environnement, et donc, comme le dénoncera un autre participant, de permettre au bout de compte à une instance supérieure, par définition peu au fait des réalités agricoles, d'imposer un système qui fera « grincer les dents » ?

Cela ne semble pas toutefois être à l'origine d'un biais. On aurait en effet pu redouter un biais de sélection, lié à la population des agriculteurs qui auraient pu craindre la mise en place d'un tel dispositif dans leur vie professionnelle. Dans le même temps, on peut, à l'instar de Carpenter *et al.* (2005), poser la question du biais de sélection à l'encontre des sujets dits « standards », les étudiants : « *Yes, interesting results, but who's to say behavior would not change with 'real' stakes?* » (page 7). On peut alors penser au biais stratégique mis en évidence dans certaines évaluations contingentes (Mitchell et Carson, 1989) selon lequel les répondants, en fonction de leurs anticipations, peuvent surévaluer leur consentement à payer (anticipation d'une mise à disposition gratuite du bien public) ou le sous-estimer (anticipation d'un accès payant). Dans le cadre de cette expérience, le biais stratégique consisterait à essayer de démontrer qu'un tel instrument ne peut fonctionner car le joueur anticipe sa mise en place future. Lors du débriefing, aucun participant n'a évoqué la possibilité d'avoir agi stratégiquement afin d'éviter la mise en place d'un tel instrument. Mais il n'est pas impossible qu'un biais stratégique soit présent dans notre expérience. Le début de collusion observé pourrait provenir de ce biais. Dans ce cas, le taux d'efficacité que nous observons serait sous-évalué par rapport à la réalité.

Une fois recentrés sur la question de leur « ressenti », les participants expriment un sentiment plutôt mitigé sur l'expérience. En particulier, l'un des participants (qui a cherché à s'imposer en tant que leader en contribuant largement afin de chercher à inciter à la collusion) arrive au débriefing un peu énervé par les décisions de jeu des autres participants qui ne l'ont pas suivi autant qu'il le souhaitait. Ensuite, il s'avère que certains éléments ont posé problème aux participants, sans toutefois remettre en cause leur capacité à « rentrer dans le jeu ». D'une part, la contextualisation semble pour certains insuffisante et, à certains égards, artificielle. Il leur manque des repères à travers lesquels ils appréhendent sans doute habituellement leur univers de travail (taille de l'exploitation, position dans le bassin versant). L'échelle des efforts (de 1 à 20) est également décrite comme abstraite, surtout au regard du nombre finalement assez

limité d'options réellement envisageables. Le caractère controversé de l'une des options évoquée dans les instructions (techniques sans labour) a également pu susciter un léger malaise. En effet, pour ceux qui cultivent en plaine, ce type de technique peut être risquée car favorisant le développement de mycotoxines. L'agriculteur qui est le plus concerné par les coulées de boue affirme cependant que pour lutter efficacement contre le phénomène de coulées de boue, la technique sans labour reste une bonne technique. D'autre part, et peut-être plus fondamentalement, l'expérimentation pêcherait aussi par son inadéquation au mode réel de décision dans les exploitations agricoles et dans le monde agricole : décision collective, discussion entre les agriculteurs et les acteurs locaux, importance de leaders qui entraînent le groupe. L'individualisme auquel contraint le dispositif expérimental est remis en question : « on ne discute pas dans les campagnes ? »<sup>15</sup>.

## 5.2. La prise de décision au cours de l'expérience

La configuration de l'expérience active chez les participants, une fois qu'ils sont « rentrés dans le jeu » pour reprendre l'expression de l'un d'entre eux, et plus ou moins rapidement selon les cas, des dispositions stratégiques probablement acquises à force d'être confrontés à de multiples dispositifs d'incitation ou de conditionnalité. Le cas le plus flagrant est celui de ce participant qui a établi sa règle de comportement (maximisation des gains) par un calcul formel d'espérance tout de suite après avoir lu les instructions, avant même que l'expérience ne démarre. On peut y voir une forme d'appropriation stratégique de la taxe, sur un mode qu'ont mis en évidence Busca et Salles (2003) à propos des mesures agri-environnementales<sup>16</sup>.

Cette appropriation stratégique connaît deux variantes : une variante « sans prise de risque » de type *free-rider* (choix d'un effort pas trop élevé, correspondant plus ou moins à la stratégie d'équilibre), et une variante avec prise de risque (tentative de collusion, *i.e.* choix d'un niveau d'effort plus élevé mais possibilité d'une perte certaines années même si en moyenne cette stratégie a été payante) ; la seconde étant justifiée par les agriculteurs qui l'ont adoptée par, d'un côté, le fait qu'« il y a des leaders et des suiveurs » et, de l'autre, par le fait d'être « sensibilisés à la problématique ».

## 5.3. La perception de l'instrument taxe ambiante

La perspective de la mise en place d'un tel instrument est vivement critiquée. Une première critique porte sur le fait que les efforts mis en œuvre pour réduire les risques de coulées de boue sont coûteux pour l'agriculteur. Ainsi, l'un des participants explique qu'il ne voit pas pourquoi il consentirait à faire des efforts coûteux alors qu'il est

---

<sup>15</sup> Certains auteurs font ainsi référence à la notion de « *farm decision-making unit* », définie comme le groupe composé de l'agriculteur, de sa famille immédiate et de quelques personnes de confiance. Ferreira (1997) montre notamment l'importance parmi ces dernières de deux figures spécifiques : les personnes auprès desquelles les nouvelles idées sont testées (« *sounding boards* ») ; et celles auprès desquelles on va s'informer (« *information digestors* »).

<sup>16</sup> Voir notamment l'ouvrage de Salles (2006), et en particulier le chapitre 8 « L'agriculteur face aux dispositifs agri-environnementaux ».

possible qu'ils ne rapportent rien (cas où aucune coulée de boue ne se produit). La seconde critique porte sur le caractère injuste de l'instrument (punition collective).

Deux alternatives émergent : une réglementation technique (l'Etat impose des mesures uniformes) ; un accord volontaire entre agriculteurs (c'est à eux, forts de leur savoir pratique, de s'organiser collectivement, l'engagement de tous pouvant le cas échéant être obtenu en brandissant la menace d'une action autoritaire du préfet en cas d'échec).

Enfin, le fait que l'instrument incorpore un aspect « récompense » en cas d'efforts élevés (des subventions ont d'ailleurs souvent été obtenues vers la fin de l'expérience en raison de la hausse des efforts) n'est pas jugé suffisant pour réhabiliter l'instrument. La recherche de subvention se révèle contraire à l'identité professionnelle : « ce n'est pas comme cela qu'on génère du revenu en agriculture ». Renforçant la part des revenus non directement issus de l'activité productive elle-même, la taxe serait ainsi susceptible de renforcer la crise identitaire dans laquelle se débattent les agriculteurs depuis de nombreuses années (Lemery, 2003). Mais il est difficile de dire quelle est ici la part du discours convenu, relayant les positions syndicales classiques, et du ressenti réel.

## 6. Conclusion

En moyenne, nous observons que l'instrument est relativement incitatif et efficace, mais c'est surtout vrai pendant les dix premières périodes. L'optimum social y est approximativement atteint au niveau agrégé et le bien-être social s'accroît au cours du temps. L'efficacité de l'instrument se dégrade en revanche légèrement par la suite, dans la mesure où certains agents semblent se coordonner tacitement en direction de la solution collusive. Il est difficile de savoir si ce phénomène est dû à l'expérience acquise par les sujets au cours du jeu, ou au fait qu'ils peuvent se « surveiller » mutuellement à partir de la période 11. En outre, la hausse des efforts reste d'ampleur limitée car elle n'est effectivement appliquée que par une partie des sujets. Néanmoins ce résultat suggère que l'instrument ne devrait peut-être pas être appliqué pendant une durée trop prolongée puisque les agents pourraient finir par l'exploiter stratégiquement de manière socialement sous optimale. La littérature expérimentale sur les biens publics montre que l'observabilité des décisions individuelles n'a souvent pas d'impact significatif sur les contributions. Notre résultat peut donc sembler différent. Une explication possible repose sur le fait que les participants savaient qu'ils étaient tous des agriculteurs, donc faisant partie du même groupe de référence.

Le débriefing révèle la réprobation des exploitants envers un tel instrument de régulation : c'est une fois de plus aux agriculteurs de fournir des efforts et cette taxe leur paraît injuste car elle constitue une punition collective. A ce propos, il faut rappeler et souligner le fait que si les agriculteurs sont montrés du doigt lors des épisodes de coulées de boue, il serait injuste de les présenter comme les seuls responsables des dommages. En effet, s'il y a dommage, c'est aussi à cause de l'extension des communes rurales, de la construction de nouveaux lotissements. Si l'instrument pose un problème d'acceptabilité, des approches plus « volontaires » peuvent être souhaitables. De telles approches ont été élaborées au niveau théorique

(Segerson et Wu, 2006) mais n'ont pas encore été testées en laboratoire. Le rejet de la taxe ambiante doit cependant être relativisé au vu des résultats de Ziegelmeyer *et al.* (2007). Cette expérience montre en effet que si les agents doivent choisir entre une taxe ambiante et une taxe pigouvienne traditionnelle, ils choisissent la taxe ambiante dans plus de la moitié des cas<sup>17</sup>.

Les participants ont en outre un sentiment plutôt mitigé sur l'expérience elle-même. D'une part, l'expérimentation ne donne pas la possibilité aux exploitants de se concerter pour prendre leurs décisions, ce qui n'est pas conforme à la réalité. Cet aspect pourrait néanmoins être introduit facilement en laboratoire en donnant la possibilité aux participants de communiquer entre eux (ce qui est fait par exemple dans l'étude de Vossler *et al.*, 2006). D'autre part, la contextualisation semble pour certains insuffisante et artificielle. Il leur manque des repères à travers lesquels ils appréhendent habituellement leur univers de travail (taille de l'exploitation, position dans le bassin versant). Des efforts devraient être entrepris dans cette voie pour améliorer le réalisme de l'expérience. Cela permettrait aux agents de retrouver un contexte plus familier et donc de mettre en œuvre leurs heuristiques habituelles. L'introduction d'un plus grand réalisme ne doit cependant pas se faire au détriment du contrôle des paramètres de l'expérience (voir par exemple Ortmann, 2005).

Les résultats de cette expérience doivent évidemment être considérés avec précaution puisque nous ne disposons que d'un faible nombre d'observations. Cette expérience constitue toutefois une première dans la mesure où la taxe ambiante a été testée auprès d'une population concernée, et donc expérimentée, les agriculteurs. Ce type d'étude permet de recueillir de précieuses informations à la fois sur l'efficacité et sur le degré d'acceptabilité d'un tel instrument.

## Bibliographie

- Ambroise B. (1999) La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant. *Processus, facteurs, modèles*, Bucarest, \*H\*G\*A\*.
- Andreoni J., Petrie R. (2004) Public good experiments without confidentiality: A glimpse into fund-raising, *Journal of Public Economics* 88, 1605-1623.
- Auzet A.-V., Bissonais Y.L. and Souchère V. (2006) Soil erosion in France, *in: Soil Erosion in Europe*, Boardman J., Poesen J. (eds), Hoboken (NJ), Wiley, 369-383.
- Auzet A.-V., Boiffin J., Papy F., Maucorps J. and Ouvry J.-F. (1990) An approach to the assessment of erosion forms, erosion risks on agricultural land in the Northern Paris Basin, France, *in: Soil Erosion on Agricultural Land*, Boardman J., Dearing J. and Foster I. (eds), Chichester, Wiley, 384-400.

---

<sup>17</sup> Il faut noter aussi que cette expérience a été réalisée auprès d'étudiants et non d'agriculteurs.

- Auzet A.-V., Heitz C., Armand R., Guyonnet J. et Moquet J.-S. (2005) Les « coulées de boue » dans le Bas-Rhin : analyse à partir des dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, Rapport, IMFS, ULP-CNRS Strasbourg.
- Boardman J., Evans R. and Ford J. (2003) Muddy floods on the South Downs, Southern England: problem and responses, *Environmental Science and Policy* 6, 69-83.
- Boardman J., Poesen J. (eds) (2006) *Soil Erosion in Europe*, Hoboken (NJ), Wiley.
- Bounmy K. (1998) A VB software for experiments on public goods, Working paper, Université de Strasbourg (BETA, CNRS).
- Busca D., Salles D. (2003) Quelle performance des dispositifs agri-environnementaux ?, *in: Concertation, décision et environnement. Regards croisés*, Berlan Darqué M., Mermet L. et Bille R. (sous la direction de), volume III, Paris, La documentation française.
- Carpenter J., Harrison G. and List J. (2005) Field experiments in economics: An introduction, *in: Field Experiments in Economics*, Carpenter J., Harrison G. and List J. (eds), volume 10, Research in Experimental Economics, Greenwich and London, JAI Press, 1-15.
- Cochard F., Willinger M. and Xepapadeas A. (2005) Efficiency of nonpoint source pollution instruments: An experimental study, *Environmental and Resource Economics* 30, 393-422.
- Cochard F., Ziegelmeyer A. and Bounmy K. (2007) Regulation of nonpoint emissions under limited information: A stress experimental test of the ambient tax mechanism, Working Paper, Toulouse School of Economics, Toulouse, Max Planck Institute of Economics, Jena.
- Croson R. (2001) Feedback in voluntary contribution mechanisms: An experiment in team production, *in: Research in Experimental Economics*, Isaac R. (ed.), volume 8, Amsterdam, Elsevier Science B.V., 85-97.
- Davis D.D., Holt C.A. (1993) *Experimental Economics*, Princeton (NJ), Princeton University Press.
- Denant-Boemont L., Masclet D. and Noussair C. (2010) Announcement, observation, and honesty in the voluntary contributions game, *Pacific Economic Review*, forthcoming.
- Eckel C.C., Wilson R.K. (2004) Is trust a risky decision? *Journal of Economic Behavior and Organization* 55, 447-465.
- Fehr E., Gächter S. (2000) Cooperation and punishment in public goods experiments, *American Economic Review* 90, 980-994.
- Ferreira G. (1997) An evolutionary approach to farming decision making on extensive rangelands, Thèse de doctorat, University of Edinburgh.
- Goette L., Huffman D. and Meier S. (2006) The impact of group membership on cooperation and norm enforcement: Evidence from random assignment to real social groups, *American Economic Review* 96, 212-216.

- Hansen L.G. (1998) A damage based tax mechanism for regulation of non-point emissions, *Environmental and Resource Economics* 12, 99-112.
- Harrison G.W., List J.A. (2008) Naturally occurring markets and exogenous laboratory experiments: A case study of the winner curse, *The Economic Journal* 118, 822-843.
- Harrison G.W., List J.A. (2004) Field experiments, *Journal of Economic Literature* XLII, 1009-1055.
- Helming K., Auzet A.-V. and Favis-Morlock D. (2005) Soil erosion patterns: Evolution, spatio-temporal dynamics and connectivity, *Earth Surface Processes, Land forms* 30, 131-132.
- Holland J. (2004) The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence, *Agriculture Ecosystems and Environment* 103, 1-25.
- Holt C.A., Laury S. (2002) Risk aversion and incentive effects, *American Economic Review* 92, 1644-1655.
- Horan R.D., Shortle J.S. and Abler D.G. (1998) Ambient taxes when polluters have multiple choices, *Journal of Environmental Economics and Management* 36, 186-199.
- Huck S., Normann H.T. and Oechssler J. (2000) Does information about competitors' actions increase or decrease competition in experimental oligopoly markets? *International Journal of Industrial Organization* 18, 39-57.
- Kreps D., Wilson R. (1982) Reputation and imperfect information, *Journal of Economic Theory* 27, 253-279.
- Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C. et Daroussin J. (2002) L'érosion hydrique des sols en France, Rapport, IFEN, Orléans.
- Levati M.V., Morone A. and Fiore A. (2009) Voluntary contributions with imperfect information: An experimental study, *Public Choice* 138, 199-216.
- Lémery B. (2003) Les agriculteurs dans la fabrique d'une nouvelle agriculture, *Sociologie du travail* 45, 9-25.
- Masclot D., Noussair C., Tucker S. and Villeval M.-C. (2003) Monetary and non-monetary punishment in the voluntary contribution mechanism, *American Economic Review* 93, 366-380.
- Mitchell R., Carson R. (1989) *Using Surveys to Value Public Good: The Contingent Valuation Method*, Baltimore (MD), The John Hopkins University Press.
- Offerman T., Potters J. and Sonnemans J. (2002) Imitation and belief learning in an oligopoly experiment, *The Review of Economic Studies* 69, 973-997.
- Oliveira A. de, Croson R. and Eckel C. (2008) Are preferences stable across domains? An experimental investigation of social preferences in the field, Working Paper, Nr. 2008-3, CBEES, Dallas, University of Texas.
- Ortmann A. (2005) Field experiments: Some methodological caveats, in: *Field Experiments in Economics*, Carpenter J., Harrison G. and List J. (éds), Research in Experimental Economics volume 10, Greenwich, CT: JAI Press.

- Oström E., Gardner R. and Walker J.K. (1994) *Rules, Games, and Common-Pool Resources*, Ann Arbor (MI), University of Michigan Press.
- Ryan D. (2009) Anonymity and cooperation: Experimental evidence from a public good game, Working Paper, Macalester College, Economics Department.
- Salles D. (2006) *Les défis de l'environnement. Démocratie et efficacité*, Paris, Syllepse.
- Segerson K. (1988) Uncertainty and incentives for non-point source pollution, *Journal of Environmental Economics and Management* 15, 87-98.
- Segerson K., Wu J. (2006) Nonpoint pollution control: Inducing first-best outcomes through the use of threats, *Journal of Environmental Economics and Management* 51, 165-184.
- Spraggon J. (2004) Exogenous targeting instruments with heterogeneous agents, *Journal of Environmental Economics and Management* 48, 837-856.
- Spraggon J. (2002) Exogenous targeting instruments as a solution to group moral hazards, *Journal of Public Economics* 84, 427-456.
- Strudley M., Green T. and Ascough J. (2008) Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science, *Soil and Tillage Research* 99(1), 4-48.
- Suter J.F., Vossler C.A. and Poe G.L. (2009) Ambient-based pollution mechanisms: A comparison of homogeneous and heterogeneous groups of emitters, *Ecological Economics* 68, 1883-1892.
- Suter J.F., Vossler C.A., Poe G.L. and Segerson K. (2008) Experiments on damage-based ambient taxes for non-point source polluters, *American Journal of Agricultural Economics* 90, 86-102.
- Vega-Redondo F. (1997) The evolution of walrasian behaviour, *Econometrica* 65, 375-384.
- Vossler C.A., Poe G.L., Schulze W.D. and Segerson K. (2006) Communication and incentive mechanisms based on group performance: An experimental study of non-point pollution control, *Economic Inquiry* 44, 599-613.
- Weimann J. (1994) Individual behaviour in a free riding experiment, *Journal of Public Economics* 54, 185-200.
- Ziegelmeyer A., Cochard F. and Bounmy K. (2007) On the acceptability of the ambient tax mechanism: An experimental investigation, Working Paper, Max Planck Institute of Economics, Jena, Toulouse School of Economics, Toulouse.

## ANNEXE A : INSTRUCTIONS DE L'EXPÉRIENCE

### *Partie 1 de l'expérience*

L'expérience à laquelle vous allez participer est destinée à l'étude des comportements économiques individuels et collectifs. Nous vous encourageons à lire ces instructions très soigneusement. En effet, après les avoir lues, vous devrez répondre à un questionnaire vérifiant votre bonne compréhension. Toutes vos réponses seront traitées de façon anonyme et recueillies au travers d'un réseau informatique. Vous indiquerez vos choix à l'ordinateur devant lequel vous êtes assis et celui-ci vous communiquera vos gains réalisés au fur et à mesure du déroulement de l'expérience.

### **I. Cadre général de l'expérience**

Dans cette expérience, vous jouez le rôle d'un exploitant agricole cultivant du maïs. Votre exploitation se situe sur un bassin versant qui comporte par ailleurs cinq autres exploitations agricoles de maïs. Les rôles des autres exploitants sont joués par les cinq autres personnes participant à cette expérience.

Le bassin versant dans lequel se trouvent les six exploitations est sujet à des problèmes d'érosion des sols. Ceux-ci peuvent engendrer des dommages importants dans la vallée (destruction de routes, d'habitations). On supposera que lors de chaque période (une année), une coulée boueuse a une chance sur deux de se produire (pour simplifier, on suppose qu'une coulée boueuse ne peut se produire qu'une seule fois lors de chaque période). Des recherches scientifiques ont montré que les dommages dus aux coulées boueuses pouvaient être réduits notamment par l'adoption de certaines pratiques par les exploitants agricoles (par exemple : techniques sans labour, mise en place de bandes enherbées, enherbement des fourrières, cultures sous couvert, rotations, etc.). Cependant, le changement des méthodes de production demande un travail supplémentaire (formation aux nouvelles techniques, apprentissage de leur mise en œuvre, modification des anciennes habitudes). Cette conversion exige donc un investissement en temps et constitue un manque à gagner, au moins pendant une certaine période d'adaptation. Cela signifie que l'effort d'adoption de nouvelles pratiques entraîne un certain coût qui réduit votre profit de la période.

Les profits que vous réaliserez au cours de l'expérience dépendent à la fois des décisions que vous prendrez et des décisions prises par les cinq autres exploitants. Ces profits seront comptabilisés en euros « expérimentaux », et seront convertis, à la fin de l'expérience, en euros « réels » que vous percevrez immédiatement (le taux de conversion est indiqué à la fin de ces instructions).

Cette expérience comprend 2 parties, la première comportant 10 périodes, et la seconde 20 périodes. Chaque période correspond à une année. Les présentes instructions vous expliquent le déroulement de la première partie de l'expérience. Les instructions de la seconde partie vous seront fournies ultérieurement.

La suite des instructions va vous permettre de comprendre de quelle manière vos profits sont calculés.

### **II. Votre décision et vos profits**

Lors de chaque période, vous allez recevoir un certain profit qui dépendra de votre décision de la période et de celles des autres exploitants. Ce profit se calcule à partir de trois éléments :

- un revenu fixe de 30 000 € dû à la vente de la production de maïs et à des activités annexes,
- moins le coût de l'effort que vous mettez en œuvre pour adopter de nouvelles pratiques afin de réduire les risques de coulées boueuses,
- moins une taxe ou plus une subvention instaurée par les autorités pour vous inciter à mettre en œuvre ces nouvelles pratiques.

Les deux derniers éléments (coût des efforts et taxe ou subvention) sont expliqués en détail dans les parties A et B suivantes, et la partie C récapitule le tout.

#### A. Le coût des efforts d'adoption de nouvelles pratiques

Pour simplifier, nous supposons que l'effort d'adoption de nouvelles pratiques peut être résumé par un indice, variant de 0 à 20, un indice plus élevé correspondant à un niveau d'effort plus élevé. Ainsi, un exploitant décidant de ne changer aucune de ses pratiques sera considéré comme fournissant un effort égal à zéro ; alors qu'un exploitant décidant de mettre en œuvre la totalité des nouvelles pratiques connues des scientifiques sera considéré comme fournissant un effort maximal, donc égal à 20 ; entre ces deux situations, un exploitant engageant certaines nouvelles pratiques mais pas toutes, sera supposé entreprendre un effort de niveau intermédiaire (par exemple, mise en place d'une bande enherbée pour retenir les eaux de ruissellement, mais pas de changement du mode de labour).

Bien entendu, un niveau d'effort plus élevé engendre un coût plus élevé. Ce coût (pour la période en cours) est présenté dans le tableau ci-dessous. *La lecture de ce tableau est simple : par exemple, entreprendre un effort de niveau 2 vous coûte 77 € sur la période considérée.*

Niveau de l'effort de la période	Coût total de l'effort pour la période
0	0 €
1	19 €
2	77 €
3	173 €
4	308 €
5	481 €
6	692 €
7	942 €
8	1 231 €
9	1 558 €
10	1 923 €
11	2 327 €
12	2 769 €
13	3 250 €
14	3 769 €
15	4 327 €
16	4 923 €
17	5 558 €
18	6 231 €
19	6 942 €
20	7 692 €

### B. Le dispositif fiscal instauré par les autorités

Les autorités publiques souhaitent réduire les coûts des dommages dus aux coulées boueuses en incitant les exploitants à fournir des efforts pour adopter les nouvelles pratiques. Pour produire une telle incitation, les autorités ont recours à un dispositif fiscal. Elles subissent cependant une contrainte technique importante, dans la mesure où il leur est très coûteux d'observer les efforts individuels de chacun des exploitants. Afin d'éviter d'avoir à observer les efforts individuels de chaque exploitant, les autorités préfèrent donc recourir à un dispositif fiscal basé non pas sur ces efforts individuels mais sur le coût global des dommages observés en cas de coulée boueuse, ce coût dépendant des efforts de l'ensemble des exploitants du bassin versant. Plus précisément, on suppose pour simplifier que le coût en euros des dommages pouvant être imputés aux activités agricoles est relié de manière simple aux efforts des exploitants par la formule suivante :

Coût des dommages en euros = 120 000 € – 1 000 € fois la somme des efforts des exploitants

Par exemple, si chacun des exploitants fournit l'effort maximal (égal à 20), le coût des dommages est de 0 € (= 120 000 € – 1 000 € × 6 × 20). A l'opposé, si aucun effort n'est fourni, le coût des dommages s'élève à 120 000 €. Entre ces deux extrêmes, le coût des dommages est intermédiaire : si la somme des efforts s'élève par exemple à 60, alors le coût des dommages est de 60 000 €.

Le dispositif fiscal choisi par les autorités est donc le suivant : en cas de coulée boueuse (qui a une chance sur deux de se produire au cours de la période considérée), les autorités évaluent le coût des dommages. Chacun des exploitants doit alors payer une somme égale au coût global des dommages auquel on retranche 42 000 €. Cela entraîne que chaque exploitant doit verser une taxe si le coût des dommages est supérieur à 42 000 €, et reçoit une subvention dans le cas contraire. La somme de référence de 42 000 € a été déterminée à partir d'une étude économique précise du problème.

*En résumé, le dispositif fiscal est le suivant :*

- Si le montant des dommages est supérieur à 42 000 €, alors chaque exploitant doit payer une taxe égale à la différence entre le montant des dommages et 42 000 €.
- Si le montant des dommages est inférieur à 42 000 €, alors chaque exploitant reçoit une subvention égale à la différence entre 42 000 € et le montant des dommages.
- Si le montant des dommages est exactement égal à 42 000 €, alors aucune taxe n'est due et aucune subvention n'est versée.

*Exemples : Supposons que lors d'une période donnée, une coulée boueuse ait lieu.*

- Supposons que le coût des dommages s'élève à 50 000 €. Ce montant est supérieur à 42 000 €, donc chaque exploitant doit payer une taxe égale à 50 000 € - 42 000 € = 8 000 €.
- Supposons que le coût des dommages s'élève à 30 000 €. Ce montant est inférieur à 42 000 €, donc chaque exploitant reçoit une subvention égale à 42 000 € - 30 000 € = 12 000 €.

### C. Récapitulatif du profit de la période

Le profit total de la période selon les circonstances qui se sont produites est donc égal à :

Circonstances de la période	Profit
Il n'y a pas eu de coulée boueuse	30 000 € – Coût de l'effort (tableau)
Il y a eu une coulée boueuse	30 000 € – Coût de l'effort (tableau) – [Coût des dommages – 42 000 €] où Coût des dommages = 120 000 € – 1 000 € fois la somme des efforts

### III. Déroulement chronologique de l'expérience

A chaque période, l'ordinateur vous demande de saisir votre niveau d'effort. Vous pouvez saisir n'importe quel nombre entier entre 0 et 20. Les cinq autres participants font de même de leur côté, mais vous n'observerez pas leurs décisions individuelles.

Dès que tous les participants ont pris leur décision, l'un d'entre eux lance un dé afin de déterminer si une coulée boueuse a lieu ou non au cours de la période considérée (on supposera qu'une coulée a lieu si le chiffre tiré est pair), puis l'ordinateur calcule le profit de chacun des participants pour la période en cours. Si une coulée boueuse a lieu, il vous communique le coût des dommages qui en découlent et la somme des niveaux d'efforts fournis par l'ensemble du groupe, ainsi que votre profit net total de la période. Si aucune coulée n'a lieu, en revanche, vous n'êtes pas informé de la somme des efforts de l'ensemble du groupe. La période suivante commence dès que tous les membres du groupe ont cliqué sur « OK ».

A tout moment, un bouton « Historique » vous permet d'accéder au récapitulatif des périodes précédentes.

Lorsque que cette partie de l'expérience sera terminée, nous vous fournirons les instructions correspondant à la deuxième partie de l'expérience, qui comprendra 20 périodes. Une fois que les deux parties de l'expérience seront terminées, l'un des participants sera invité à tirer au sort l'une des 30 périodes (10 périodes pour la première partie + 20 périodes pour la deuxième partie). Les gains monétaires obtenus dans la période tirée au sort vous seront versés immédiatement, en appliquant le facteur de conversion de 1 € pour 1 000 « euros expérimentaux ».

Avant de commencer l'expérience, vous procéderez à trois périodes d'essai. Lors de ces périodes d'essai, la somme des efforts des cinq autres participants sera prédéterminée : elle sera de 50 à chaque période. Durant les périodes d'essai, l'historique de l'expérience n'est pas accessible. Les gains perçus lors de ces périodes ne seront pas convertis en euros et vos gains seront remis à zéro à la fin des périodes d'essai.

A tout moment, si vous souhaitez poser une question, n'hésitez pas à nous le faire savoir en levant la main.

A présent, vous allez devoir répondre à un questionnaire visant à vérifier votre bonne compréhension des instructions. Prenez votre temps pour répondre aux questions. Utilisez la calculatrice pour les calculs.

MERCI DE VOTRE PARTICIPATION

\*\*\*

#### *Partie 2 de l'expérience*

*Nous ne distribuons pas de nouvelles instructions écrites mais disons simplement* : « Nous allons à présent débiter la partie 2 de cette expérience, qui comporte 20 périodes. Les règles du jeu sont strictement identiques à celles de la partie 1 à une seule exception près : désormais, à la fin de chaque période, qu'il y ait ou non une coulée boueuse, vous serez informés du niveau d'effort choisi par chacun des autres exploitants (les autres exploitants seront numérotés de 1 à 5 et garderont le même numéro à chaque période) ».

ANNEXE B : NOTATIONS

---

$p$	Probabilité d'occurrence d'une coulée de boue au cours d'une période
$\varepsilon$	Variable aléatoire = 1 en cas de coulée, = 0 sinon
$e_i$	Niveau d'effort de l'agent $i$
$n$	Nombre d'exploitants en présence
$e$	Vecteur d'efforts
$D(e)$	Domage en cas de coulée de boue
$C_i(e_i)$	Coût de l'effort $e_i$
$CS(e, \varepsilon)$	Coût social
$BS(e, \varepsilon)$	Bien-être social
$T(D(e))$	Taxe ambiante
$K$	Subvention forfaitaire

---