

Taxe ambiante : un outil adapté à la lutte contre les
coulées de boue ? Une étude expérimentale¹
*Is the ambient tax adapted to the regulation of
muddy floods ? An experimental study*

François COCHARD², Anne ROZAN³ and Rémi BARBIER⁴

23 juillet 2008

¹Cette recherche a été menée dans le cadre du groupe GERIHCO (Gestion des Risques et Histoire des COulées 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, Anne-Véronique Auzet, Philippe Martin et Sandrine Spaeter-Loehrer. Remerciements aussi à Kene Boun My qui a élaboré le programme informatique de l'expérience.

²Auteur correspondant. CRESE, Université de Franche-Comté, UFR S.J.E.P.G., 45d Avenue de l'observatoire, 25030 Besançon Cedex. E-mail : fcochard@fcomte.fr

³GSP, UMR Engees-Cemagref, 1 Quai Koch - BP 61039, F-67070 STRASBOURG. E-mail : anne.rozan@engees.u-strasbg.fr

⁴GSP, UMR Engees-Cemagref, 1 Quai Koch - BP 61039, F-67070 Strasbourg. E-mail : rémi.barbier@engees.u-strasbg.fr

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 les meilleures pratiques, nous proposons la mise en place d'une « taxe 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.

Recent surveys report the increasing number of muddy flows in many areas, and point out the fact that agricultural practices (among others) influence significantly the risk and severity of muddy floods. We propose to use an “ambient tax” instrument to induce farmers to adopt better practices. An ambient tax is a tax that depends on the ambient quality of the environment. These schemes have been introduced to mitigate the nonpoint source pollution problems. The advantage of this type of instrument is that it allows the regulator to introduce the right incentives without needing the observation of the agents' individual efforts. Instead of trying to directly observe and control the agents' practices, the regulator introduces a tax scheme based on the results of their practices, i.e. environmental quality, and more precisely here the damages generated by a muddy flood. Our first objective is to test the efficiency of the ambient tax in the specific context of muddy floods. Our second objective is to investigate the acceptability of this type of instrument which is based on collective incentives. In order to get better insight on the acceptability of the instrument, we run our experiment with six real farmers and we carry out a

socio-economic debriefing with them after the experiment. On average we observe that the instrument is relatively efficient in the first part of the experiment. Efficiency nevertheless slightly decreases afterwards mostly because of a detrimental collusive behavior of subjects. The debriefing confirms the acceptability problems of such a scheme. Furthermore, subjects express scepticism about the usefulness of such a study for revealing their “real” behavior.

Key Words : *Taxe ambiante (Ambient tax), Gestion des coulées de boue (Muddy flood management), Pratiques agricoles (Agricultural practices), Economie expérimentale (Experimental economics).*

JEL : C93, H3, Q54.

1 Introduction

Les problèmes de ruissellement et de coulées de boue connaissent une aggravation récente et sont étroitement liés aux activités humaines. 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. L'adoption de meilleures pratiques agricoles par les exploitants (techniques sans labour, rotations, culture sous couvert, enherbement des fourrières, etc.), un aménagement du terroir 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.¹

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 la payent puisque le montant

¹Voir 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.

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. Le coût total des dommages peut alors servir de base au calcul d'une taxe. Les phénomènes de coulées de boue présentent cependant une différence importante avec la pollution diffuse dans la mesure où 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.

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.*, 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 on se réfère à leur typologie, notre expérience peut être classée dans la catégorie "framed 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 qui diffèrent de ce que feraient d’autres agents et de ce qu’ils feraient dans un environnement décontextualisé.

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 oeuvre. 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 conduit puis analysé en collaboration avec un sociologue. Les aspects sociologiques sont en effet importants pour comprendre les décisions des agriculteurs face aux régulations environnementales (voir par exemple Busca et Salles, 2003 et Mathieu et Joannon, 2005). 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. 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).

Deux traitements sont réalisés. Lors des dix premières périodes, les sujets observent uniquement la contribution, en terme d'effort, de l'ensemble du groupe s'il y a une coulée de boue. Au cours des vingt 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.

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.²

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 puisque les risques de collusion deviennent importants. Le débriefing confirme un rejet important de ce type

²Les 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 elle 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.

d'instrument.

La partie 2 présente les prédictions théoriques du modèle sous-jacent à cette étude. Le protocole expérimental est présenté dans la partie 3, et les résultats sont exposés dans la partie 4. La partie 5 analyse le débriefing qui a eu lieu avec les sujets après l'expérience, enfin la dernière partie (partie 6) conclut.

2 Prédictions 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.³

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 $D : \prod_{i=1}^n [0, \bar{e}_i]^n \rightarrow \mathbb{R}_+$. Nous noterons $\mathbf{e} = (e_1, \dots, e_n)$ le vecteur d'efforts individuels des agents. Nous supposerons pour simplifier que la fonction de dommage est strictement décroissante et convexe en

³Plus généralement, les activités des exploitants peuvent avoir un impact sur la probabilité d'occurrence des coulées.

\mathbf{e} donc $\forall i \in \{1, \dots, n\}$, $D'_{e_i} < 0$, $D''_{e_i e_i} \geq 0$. Ainsi, le dommage est-il décroissant avec les efforts mais à un rythme décroissant.

Il sera utile de définir la variable aléatoire binaire ε , qui prend la valeur 1 si une coulée de boue a lieu, et 0 sinon. ε suit donc une loi de Bernoulli : $\varepsilon \rightsquigarrow B(1, p)$, avec $E(\varepsilon) = p$, $V(\varepsilon) = p(1 - p)$. Le dommage *ex ante* lié à un épisode de coulée de boue peut donc se formaliser sous la forme $\varepsilon D(\mathbf{e})$, 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 :⁴

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

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

$$C'_i(e_i^*) = -pD'_{e_i}(\mathbf{e}^*) \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}. \quad (1)$$

Ainsi, à l'optimum social, chaque exploitant choisit 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. L'obtention d'une solution intérieure ($e_i^* > 0$) nécessite que le coût marginal de l'effort ne soit pas trop élevé et le dommage marginal économisé pas trop faible. Le régulateur doit alors inciter les exploitants à fournir des efforts, mais il ne peut observer ces efforts. L'idée est alors de recourir à un instrument de type "taxe ambiante", ou plus précisément une taxe "fondée sur le niveau de dommage" ("damage-based tax", dans le domaine de la pollution diffuse, voir Hansen, 1998 and Horan *et al.*, 1998).

⁴De 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 $CS(\mathbf{e}, \varepsilon) = \sum_{i=1}^{i=n} C_i(e_i) + \varepsilon D(\mathbf{e})$, on peut donc exprimer la fonction de bien-être social sous la forme : $BS(\mathbf{e}, \varepsilon) = -\sum_{i=1}^{i=n} C_i(e_i) - \varepsilon D(\mathbf{e})$.

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 $\varepsilon T(D(\mathbf{e}))$.

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

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

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

$$C'_i(e_i^*) = -pD'_{e_i}(\mathbf{e}^*)T'(D(\mathbf{e}^*)). \quad (2)$$

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 (1) et (2) implique que la taxe doit vérifier :

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

donc l'expression de la taxe ambiante est :

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

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 écrirons à partir de maintenant l'instrument sous la forme :

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

avec $K > 0$, que l'on appellera à partir de maintenant "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 de la taxe est nul.

Ensuite, on peut montrer que si les agents sont averses au risque, alors les niveaux d'effort à l'optimum social (l'équilibre) ne sont en général plus les mêmes. Plus précisément, les niveaux d'effort sont affectés par le signe de $D(\mathbf{e}^*) - K$: si $D(\mathbf{e}^*) - K > 0$, alors les efforts en présence d'aversion au risque sont plus élevés que les efforts en présence de neutralité au risque, et le contraire est vrai dans le cas où $D(\mathbf{e}^*) - K < 0$. L'intuition de ce résultat est simple. Le montant $p(D(\mathbf{e}^*) - K)$ correspond en fait à l'espérance de la taxe à l'équilibre lorsque les agents sont neutres au risque. La variance de la taxe est alors $Var(\varepsilon(D(\mathbf{e}^*) - K)) = Var(\varepsilon)(D(\mathbf{e}^*) - K)^2$. Des agents averses au risques préféreront réduire la variance du montant payé : pour cela, il leur faut diminuer $(D(\mathbf{e}^*) - K)^2$, ce qui implique diminuer $D(\mathbf{e}^*) - K$ si $D(\mathbf{e}^*) > K$, et donc fournir des efforts plus élevés ; l'inverse est vrai dans le cas $D(\mathbf{e}^*) - K < 0$. Dans le cas limite où $K = D(\mathbf{e}^*)$, un phénomène intéressant se produit si tous les agents sont averses au risque. Soit e_i^{RA*} l'effort de l'agent i à l'équilibre. On montre que nécessairement à l'équilibre, le dommage est le même qu'à l'équilibre avec neutralité au risque, soit $D(\mathbf{e}^*) = D(\mathbf{e}^{RA*})$.⁵

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 :

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

⁵Dans le cas simplifié que nous envisageons dans l'expérience, la fonction de dommage est $D(\mathbf{e}) = 120\,000 - 1000 \sum e_i$. Il en résulte qu'à l'équilibre avec aversion au risque, la somme des efforts est égale à la somme des efforts dans l'équilibre avec neutralité au risque : $\sum e_i^{RA*} = \sum e_i^*$. La démonstration est disponible auprès des auteurs.

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

$$C'_i(e_i^c) = -npD'_{e_i}(e^c),$$

clairement distincte de l'équation (1). 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 est donc peu probable sauf si les agents ont des préférences particulières (par exemple, des préférences “inter-personnelles” ou “sociales”, du type aversion à l'inégalité, altruisme, etc.) ou si leur rationalité est limitée. 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 minime 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 le type des joueurs. C'est la raison pour laquelle nous considérons aussi la solution collusive comme une référence importante pour l'étude de nos résultats expérimentaux.

3 Protocole expérimental

3.1 Paramètres

Six exploitants ont été recrutés pour participer à cette expérience. Bien que l'expérience se déroule en laboratoire, elle a été entièrement contextualisée de manière à ce que les sujets retrouvent le plus possible leur environnement familier. 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 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 :

$$\bar{e}_i = 20,$$

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

Dans les instructions, la fonction de coût est fournie sous la forme d'un tableau (voir page 28).

Une coulée de boue peut survenir avec la probabilité

$$p = \frac{1}{2}$$

et génère alors le dommage (en euros expérimentaux)

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

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 ($6 * 20$), alors le coût social de la coulée est nul.

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

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

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 :

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

L'expérience est composée de 30 répétitions (ou périodes) et est scindée en deux parties respectivement de 10 et 20 périodes, correspondant à deux traitements (voir la section 3.2). A la fin de l'expérience, une période est tirée au sort et les participants sont rémunérés en espèce 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.

	Optimum social (equ. en strat. dominantes)	Collusion parfaite
Effort	13	20
Somme des efforts	78	120
Profit espéré (€ réels)	26750 (26,75 €)	43308 (43,31 €)

TAB. 1: Solutions théorique de référence

3.2 Variables de traitement

Deux traitements sont réalisés. Dans le premier traitement (appelé à partir de maintenant traitement 0), le niveau d'effort de chacun des exploitants ne peut jamais être observé par les autres exploitants; les agents ne peuvent observer, à la fin d'une période, que la somme des efforts effectués, et seulement dans le cas où il y a eu une coulée de boue. Dans le second traitement (traitement 1), le niveau d'effort de chacun des autres agents peut être observé à la fin de chaque période, même si la coulée de boue n'a pas eu lieu. En raison de la présence d'un unique groupe d'exploitants dans cette expérience, nous sommes forcés d'utiliser un protocole "intra-groupe" plutôt qu' "inter-groupe" ("within-subject design" plutôt que "between-subject design"). 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 (c'est-à-dire réaliser une autre session expérimentale en inversant l'ordre des traitements). 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 avons-nous estimé intéressant d'en évaluer l'impact en réalisant les deux traitements. Notre conjecture était que l'observation des efforts individuels de chacun serait 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). Le tableau 2 récapitule la structure de l'expérience.

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.

TAB. 2: Traitements

3.3 Procédures pratiques

L'expérience a été réalisée sur des ordinateurs en réseau en Décembre 2006 au Laboratoire d'Economie Expérimental de Strasbourg (Université Louis Pasteur, BETA). Six exploitants agricoles d'Alsace ont été conviés à participer à l'expérience. En arrivant dans le laboratoire, chaque participant est invité à prendre place devant un ordinateur dans un compartiment l'isolant des autres participants (aucune communication n'est autorisée). 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 page 25). Chaque participant est ensuite invité à répondre à une série de questions sur son ordinateur 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 et peuvent poser leurs ultimes questions. L'expérience a duré environ 1 heure 30, suivie d'un débriefing d'environ 1 heure.⁶ Les sujets ont perçu des gains compris entre 30 € and 50 € (en prenant en compte les gains de la rapide expérience de choix de lotteries initiale), auquel s'ajoutait un forfait de participation de 15 €.

⁶Avant le début de la véritable expérience, nous avons soumis les sujets à une série de choix de loteries apparaissant directement sur l'écran de leur ordinateur. Les sujets étaient invités à effectuer une série de quinze choix entre une loterie et un gain certain. La loterie consistait en un gain de 400 points et un gain de 0 point avec des probabilités de 0,5. Le gain certain s'étalait de 25 points à 375 points par incréments de 25 points. Le but de cette procédure était d'obtenir une évaluation sommaire de l'attitude envers le risque des sujets. Ainsi, un individu neutre au risque sera 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). Parmi les six agriculteurs, quatre ont choisi la loterie dans les sept premiers cas, ce qui correspond à la neutralité vis à vis du risque ou à une légère aversion pour le risque. L'un a choisi la loterie dans les onze premiers cas, ce qui correspond à un goût pour le risque assez prononcé. Le dernier a choisi la loterie seulement dans le premier cas, ce qui correspond à une aversion forte pour le risque.

4 Résultats

Nous commençons 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 (section 4.1). Dans une seconde partie, nous étudions les décisions individuelles (section 4.2).

4.1 Analyse au niveau du groupe

4.1.1 Effort total 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.

	Nb. Obs.	Niveau d’effort moyen	Ecart Type	Min.	Max.
Traitement 0	10	76.9	5.93	67.0	85.0
Traitement 1	20	81.7	8.43	69.0	95.6

TAB. 3: Effort de groupe par traitement

La figure (1) invite 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, l’effort total reste proche de l’optimum social jusqu’à la période 18 puis tend à augmenter pour atteindre environ 90 à la fin de l’expérience, ce qui pourrait correspondre à une collusion tacite partielle.⁷ Cependant, on peut noter une variabilité forte entre les périodes (par exemple, les efforts sont élevés en période 25, mais chutent au niveau

⁷On 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*).

de l'optimum social en période 26). 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. Ce type d'observation est assez courant dans les expériences de dilemme social (e.g. jeux de bien public). Ce qui est moins courant, c'est le fait que les efforts soient croissants. 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.

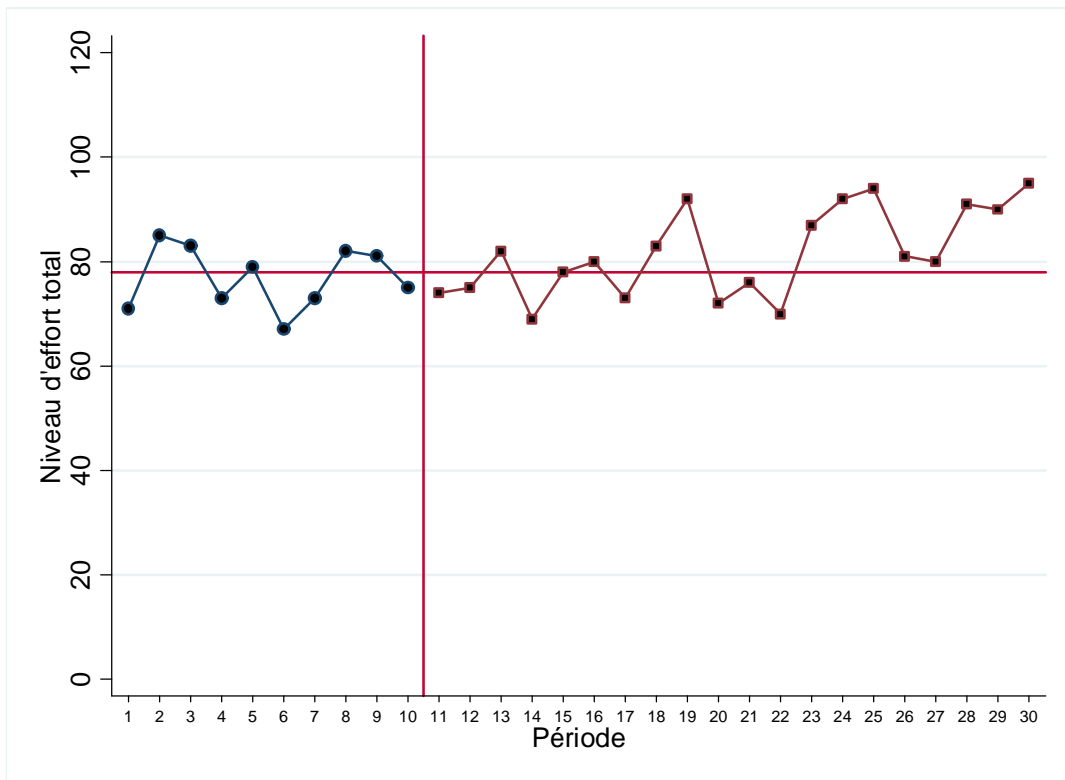


FIG. 1: Niveau d'effort total par période (droite verticale = changement de traitement)

4.1.2 Efficacité

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 ef-

ficace en terme de bien-être social (BS).⁸ 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’effort et d’autres relativement moins d’efforts, auquel cas la fonction de bien-être social n’est pas maximisée.

Pour évaluer précisément la performance de la taxe ambiante, nous calculons le taux d’efficacité qui est atteint à chaque période. Ce taux est égal au rapport suivant (voir Spraggon, 2002) :

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

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.

	Nb. Obs.	Taux d’efficacité moyen (%)	Ecart Type	Min.	Max.
Trait 0	10	87.43	6.41	72.09	93.19
Trait 1	20	85.06	6.54	71.99	92.61

TAB. 4: Taux d’efficacité moyen par traitement

Une différence plus intéressante entre les deux traitements apparaît lorsque l’on compare l’évolution du taux d’efficacité dans le temps (voir la figure 2). En effet, le taux

⁸Rappelons que le bien-être social peut être défini comme étant l’opposé du coût social. $BS(\mathbf{e}, \varepsilon) = -CS(\mathbf{e}, \varepsilon) = -\sum_{i=1}^{i=n} C_i(e_i) - \varepsilon D(\mathbf{e})$.

d'efficacité est légèrement croissant dans le traitement 0 et décroissant dans le traitement 1, au moins dans les périodes 11 à 20.

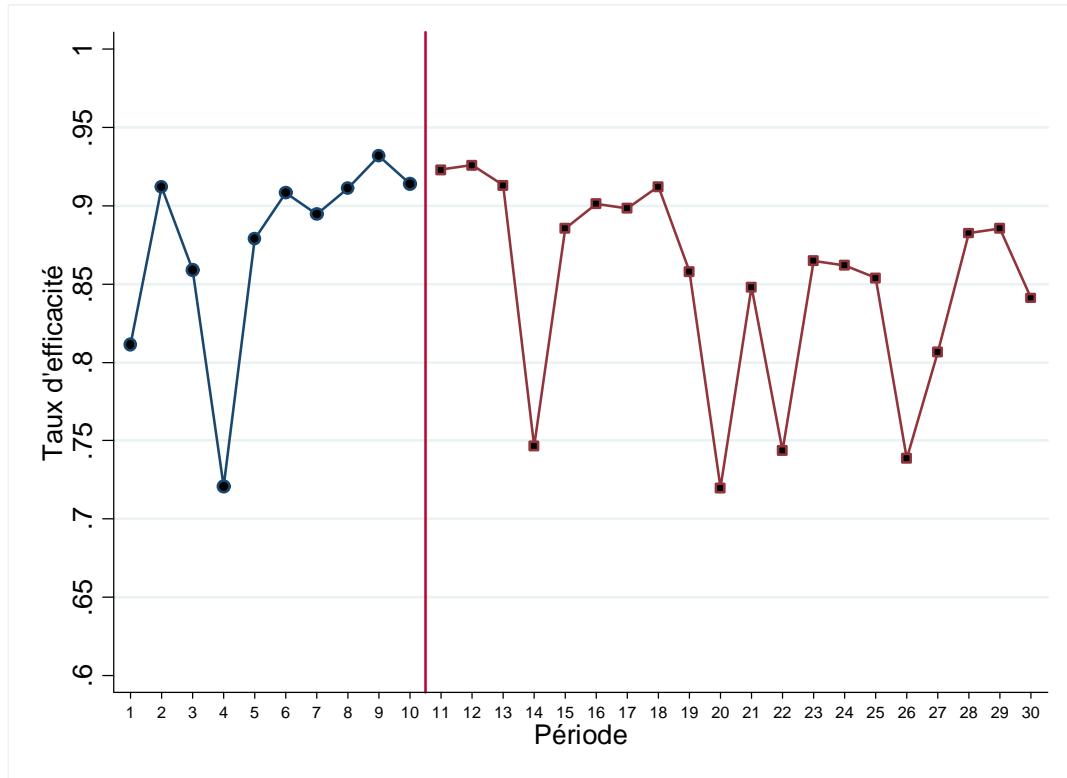


FIG. 2: Taux d'efficacité par période (droite verticale = changement de traitement)

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'opti-

mum 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) à de nombreuses expériences de décisions stratégiques en général.⁹ Une tendance temporelle assez générale semble toutefois se dessiner : 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 augmenter au-dessus de l'optimum social.¹⁰ A nouveau, cette observation est compatible avec l'hypothèse selon laquelle les exploitants tentent de se coordonner tacitement pour atteindre la solution collusive dans le traitement 1.

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 surtout au sujet n°6). Cependant, à nouveau, nous ne pouvons pas savoir si cette évolution est due à un effet d'apprentissage ou au changement de traitement.

⁹C'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).

¹⁰Ces remarques ne tiennent pas pour le sujet n°6.

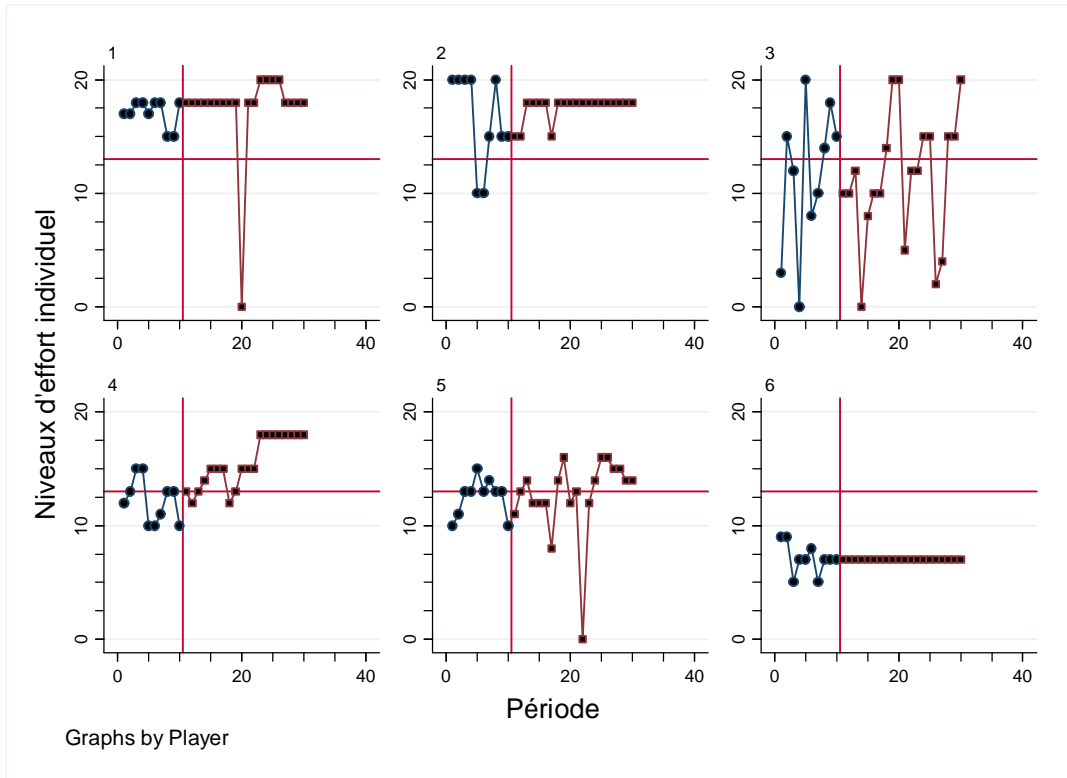


FIG. 3: Niveaux d'effort individuels par période et par sujet (droite verticale = changement de traitement)

5 Débriefing

Le débriefing a été réalisé directement à la suite de l'expérience, les sujets ayant quitté le laboratoire pour s'installer autour d'une même table. Ce débriefing a duré environ une heure, il a été entièrement conduit par l'un des chercheurs, Rémi Barbier, aidé pour la prise de notes par les deux autres chercheurs. Les débats ont été 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'agissait 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.

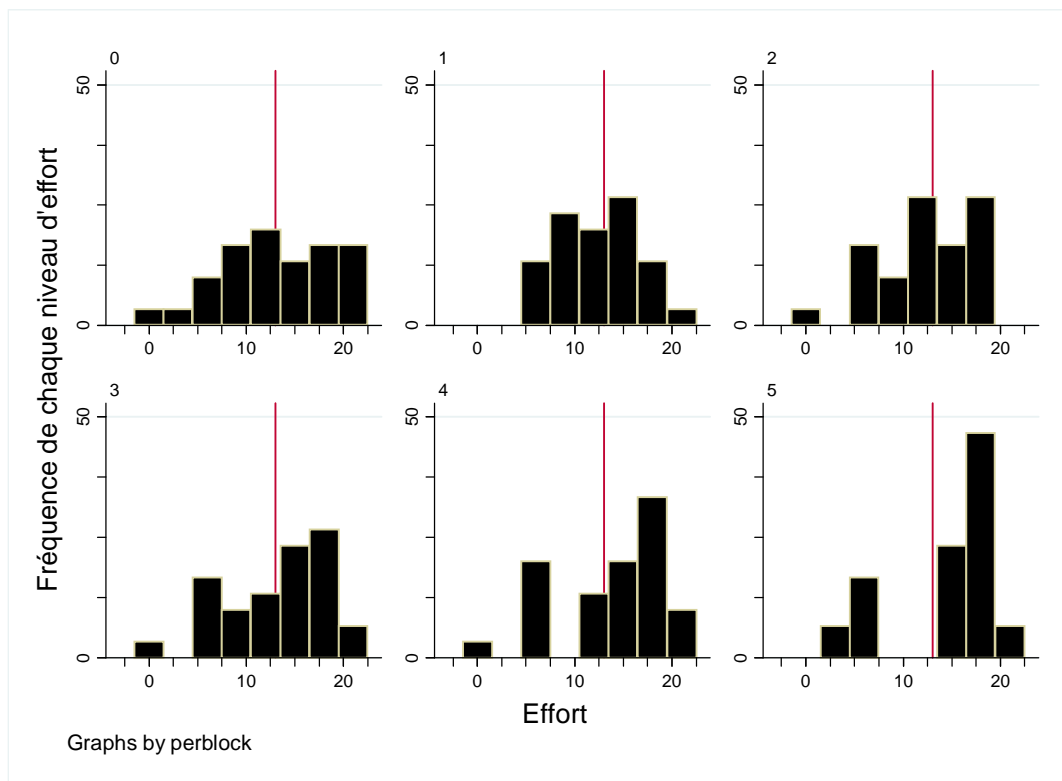


FIG. 4: Distribution des efforts individuels par groupe de cinq périodes (droite verticale = optimum social)

5.1 La perception de l'expérimentation

Nous avons commencé 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 soupçonne d'éventuelles « arrières-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 avoir été à l'origine d'un biais. 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, certains éléments ont posé problème, sans toutefois remettre en cause la capacité des participants à « rentrer dans le jeu ». D'un côté, 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'un autre côté, 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? ».¹¹

¹¹Certains 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 »).

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.¹²

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 oeuvre 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 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 me-

¹²Voir notamment l'ouvrage de Salles (2006), et en particulier le chapitre 8 « L'agriculteur face aux dispositifs agri-environnementaux »

sures 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 les 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. Néanmoins ce résultat suggère que l'instrument ne doit peut-être pas être appliqué pendant une durée trop prolongée puisque les agents pourraient finir par l'exploiter stratégiquement de manière socialement sous optimale. A cela s'ajoute le fait que les efforts et changements consentis finissent par être pleinement intégrés dans un nouvel itinéraire technique, dont l'équilibre financier peut être atteint sans ces subventions. Par ailleurs, nous observons que les comportements individuels sont assez hétérogènes.

Le débriefing révèle la réprobation des exploitants envers un tel instrument de régula-

tion : c'est une fois de plus aux agriculteurs de fournir des efforts et cette taxe leur paraît injuste car elle constitue une punition collective. Ce rejet de la taxe ambiante contredit le résultat de l'expérience de 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. Toutefois l'étude de l'acceptabilité est très différente dans cette expérience et a été réalisée auprès étudiants et non d'agriculteurs. Si l'instrument pose un vraiment un problème d'acceptabilité, des approches plus "volontaires" pourraient être souhaitables. De telles approches ont été élaborées au niveau théorique (Segerson et Wu, 2006) mais n'ont pas encore été testées en laboratoire.

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 oeuvre 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, 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.

7 Annexe : Instructions de l'expérience

7.1 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 lu, 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.

7.1.1 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.

7.1.2 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 oeuvre 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 oeuvre 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 in-

dice, 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.*

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 € = $120\,000\text{ €} - 1\,000\text{ €}$ 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 € ($= 120\,000\text{ €} - 1\,000\text{ €} \times 6 \times 20$). A l'opposé, si aucun

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	1231 €
9	1558 €
10	1923 €
11	2327 €
12	2769 €
13	3250 €
14	3769 €
15	4327 €
16	4923 €
17	5558 €
18	6231 €
19	6942 €
20	7692 €

TAB. 5: Coût de l'effort en fonction de son niveau

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 $50\,000\text{ €} - 42\,000\text{ €} = 8\,000\text{ €}$.*
- *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 $42\,000\text{ €} - 30\,000\text{ €} = 12\,000\text{ €}$.*

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	$30\,000\text{ €} - \text{Coût de l'effort (tableau)}$
Il y a eu une coulée boueuse	$30\,000\text{ €} - \text{Coût de l'effort (tableau)} - [\text{Coût des dommages} - 42\,000\text{ €}]$ où $\text{Coût des dommages} = 120\,000\text{ €} - 1\,000\text{ € fois la somme des efforts}$

7.1.3 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 1000 « 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

7.2 Partie 2 de l'expérience

On ne distribue pas de nouvelles instructions écrites. On dit 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).”

Références

AUZET, A.-V., BISSONNAIS, Y. L. et SOUCHÈRE, V. (2006). Soil erosion in France. *In* J.BOARDMAN et J.POESSEN, éditeurs : *Soil erosion in Europe*, pages 369–383. Wiley.

AUZET, A.-V., BOIFFIN, J., PAPY, F., MAUCORPS, J. et OUVRY, J.-F. (1990). An approach to the assessment of erosion forms, erosion risks on agricultural land in the

- northern paris basin, france. In BOARDMAN, J., DEARING, J. et FOSTER, I., éditeurs : *Soil erosion on agricultural land*, pages 384–400. Wiley, Chichester.
- BUSCA, D. et SALLES, D. (2003). *Quelle performance des dispositifs agri-environnementaux ?*, volume III. Martine Berlan Darqué, Laurent Mermet et Raphaël Bille (sous la direction de), la documentation française, paris édition.
- COCHARD, F., WILLINGER, M. et XEPAPADEAS, A. (2005). Efficiency of nonpoint source pollution instruments : An experimental study. *Environmental and Resource Economics*, 30:393–422.
- COCHARD, F., ZIEGELMEYER, A. et 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 and Max Planck Institute of Economics, Jena.
- DAVIS, D. D. et HOLT, C. A. (1993). *Experimental Economics*. Princeton University Press.
- FERREIRA, G. (1997). *An Evolutionary Approach to Farming Decision Making on Extensive Rangelands*. PhD thesis. Thèse de doctorat, University of Edinburgh.
- 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. et LIST, J. A. (2004). Field experiments. *Journal of Economic Literature*, XLII:1009–55.
- HELMING, K., AUZET, A.-V. et FAVIS-MORLOCK, D. (2005). Soil erosion patterns : Evolution, spatio-temporal dynamics and connectivity. *Earth Surface Processes, Landforms*, 30:131–132.
- HOLT, C. A. et LAURY, S. (2002). Risk aversion and incentive effects. *American Economic Review*, 92:1644–55.

- HORAN, R. D., SHORTLE, J. S. et ABLER, D. G. (1998). Ambient taxes when polluters have multiple choices. *Journal of Environmental Economics and Management*, 36:186–99.
- KREPS, D. et WILSON, R. (1982). Reputation and imperfect information. *Journal of Economic Theory*, 27:253–79.
- LÉMERY, B. (2003). Les agriculteurs dans la fabrique d’une nouvelle agriculture. *Sociologie du travail*, 45:9–25.
- MATHIEU, A. et JOANNON, A. (2005). Combining social network and technical leeway in farms analysis to reduce runoff at catchment’s scale by managing crop localisation. COST 634 Meeting, Mont-Saint-Aignan, June 5-7, 2005, France.
- ORTMANN, A. (2005). Field experiments : Some methodological caveats. In CARPENTER, J., HARRISON, G. et LIST, J., éditeurs : *Field Experiments in Economics*. Greenwich, CT : JAI Press, Research in Experimental Economics, Volume 10.
- OSTRÖM, E., GARDNER, R. et WALKER, J. K. (1994). *Rules, Games, and Common-Pool Resources*. University of Michigan Press.
- SALLES, D. (2006). *Les défis de l’environnement. Démocratie et efficacité*. Syllepse, Paris.
- SEGERSON, K. (1988). Uncertainty and incentives for non-point source pollution. *Journal of Environmental Economics and Management*, 15:87–98.
- SEGERSON, K. et WU, J. (2006). Nonpoint pollution control : Inducing first-best outcomes through the use of threats. *Journal of Environmental Economics and Management*, 51:165–84.
- SPRAGGON, J. (2002). Exogenous targeting instruments as a solution to group moral hazards. *Journal of Public Economics*, 84:427–56.

- SPRAGGON, J. (2004). Exogenous targeting instruments with heterogeneous agents. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48:837–56.
- SUTER, J. F., VOSSLER, C. A., POE, G. L. et SEGERSON, K. (2008). Experiments on damage-based ambient taxes for nonpoint source polluters. *American Journal of Agricultural Economics*, 90:86–102.
- VOSSLER, C. A., POE, G. L., SCHULZE, W. D. et SEGERSON, K. (2006). Communication and incentive mechanisms based on group performance : An experimental study of nonpoint pollution control. *Economic Inquiry*, Forthcoming.
- ZIEGELMEYER, A., COCHARD, F. et BOUNMY, K. (2007). On the acceptability of the ambient tax mechanism : An experimental investigation. Working Paper, Max Planck Institute of Economics, Jena and Toulouse School of Economics.

NOTATIONS

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