



AgEcon SEARCH

RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Recherche-action : qualité de l'eau et changements des pratiques agricoles

Eduardo Chia, M. Jacques Brossier, Marc Benoit

Citer ce document / Cite this document :

Chia Eduardo, Brossier Jacques, Benoit Marc. Recherche-action : qualité de l'eau et changements des pratiques agricoles. In: Économie rurale. N°208-209, 1992. L'agriculture et la gestion des ressources renouvelables. Session des 29 et 30 Mai 1991, organisée par Maryvonne Bodiguel (CNRS) avec la collaboration de Michel Griffon (CIRAD) et Pierre Muller (CRA-FNSP) pp. 30-36;

doi : <https://doi.org/10.3406/ecoru.1992.4445>

https://www.persee.fr/doc/ecoru_0013-0559_1992_num_208_1_4445

Fichier pdf généré le 08/05/2018

Abstract

On farm research : water quality and agricultural practices

The creation of a linear program, paying particular attention to nitrates assessment as well as to nitrates leaching, according to type of soil, pluviometry, cropping system and agricultural practices (first of all : organic manure management). The cost appears to be very high and rises sharply as the nitrates level reaches 10 mg/l. The model shows great sensitivity and allows for the calculation of cost per mg. It also shows the advantages of establishing cropping systems and farming practices which release few effluents. Bearing in mind current knowledge and potential developments (compost, better nutrition for cows, technical itineraries for clean or specified crops - rather than use the term organic - with a higher added value...), it seems possible to maintain and develop a highly efficient localised farming system able to control its effluents.

Résumé

La pollution est un phénomène complexe qui fait intervenir des mécanismes bio-technique, social et économique. Nous présentons ici une recherche-action (en cours) sur les pratiques agricoles et la qualité de l'eau. Les résultats, jusqu'ici obtenus, montrent que jusqu'à un certain seuil (qui dépend des systèmes de production), il est possible de limiter les effluents en changeant de pratiques. Les modèles de simulation sont utilisés comme des outils de communications entre les différents acteurs engagés dans cette recherche-action. En outre les modèles (à l'occasion de leur construction et de la présentation des résultats) permettent : un dialogue scientifique avec les collègues des autres disciplines, la précision et la hiérarchisation d'un certain nombre des questions.

RECHERCHE-ACTION : QUALITÉ DE L'EAU ET CHANGEMENTS DES PRATIQUES AGRICOLES

Eduardo CHIA *, Jacques BROSSIER*, Marc BENOIT*

Résumé :

La pollution est un phénomène complexe qui fait intervenir des mécanismes bio-technique, social et économique. Nous présentons ici une recherche-action (en cours) sur les pratiques agricoles et la qualité de l'eau. Les résultats, jusqu'ici obtenus, montrent que jusqu'à un certain seuil (qui dépend des systèmes de production), il est possible de limiter les effluents en changeant de pratiques. Les modèles de simulation sont utilisés comme des outils de communications entre les différents acteurs engagés dans cette **recherche-action**. En outre les modèles (à l'occasion de leur construction et de la présentation des résultats) permettent : un dialogue scientifique avec les collègues des autres disciplines, la précision et la hiérarchisation d'un certain nombre des questions.

ON FARM RESEARCH : WATER QUALITY AND AGRICULTURAL PRACTICES

Summary :

The creation of a linear program, paying particular attention to nitrates assessment as well as to nitrates leaching, according to type of soil, pluviometry, cropping system and agricultural practices (first of all : organic manure management). The cost appears to be very high and rises sharply as the nitrates level reaches 10 mg/l. The model shows great sensitivity and allows for the calculation of cost per mg. It also shows the advantages of establishing cropping systems and farming practices which release few effluents. Bearing in mind current knowledge and potential developments (compost, better nutrition for cows, technical itineraries for clean or specified crops - rather than use the term organic - with a higher added value...), it seems possible to maintain and develop a highly efficient localised farming system able to control its effluents.

INTRODUCTION

Depuis quelques années l'actualité révèle un intérêt croissant pour la protection et la conservation des milieux naturels et pour la quantité et qualité des eaux en particulier. Les préoccupations à l'égard des substances polluantes se sont accrues, notamment pour les nitrates. Les problèmes posés sont complexes non seulement parce que les acteurs concernés sont variés et ont souvent des objectifs contradictoires mais aussi parce que les nitrates possèdent des caractéristiques particulières que les autres polluants n'ont pas, à savoir qu'ils peuvent se trouver dans le sol et dans les eaux, soit à la suite d'un apport, soit comme conséquence de processus bio-chimiques naturels, plus ou moins longs.

La recherche que nous présentons ici est une **recherche-action**, sollicitée par une entreprise productrice d'eaux minérales, confrontée à une augmentation du taux de nitrates dans les eaux des sources qu'elle exploite. Notre problème est d'étudier : les modifications possibles des systèmes de production qui peuvent enrayer l'accroissement du

taux de nitrates dans les eaux de subsurface et à quelles conditions de rentabilité et de reproductibilité ces modifications peuvent-elles être mises en œuvre par les agriculteurs ?

La recherche entreprise par l'INRA (1) est fondée sur trois principes majeurs qui s'inspirent de la modélisation systémique et de la démarche constructiviste : a) prise en compte des systèmes complexes dans leur globalité ; b) identification des interrelations entre les partenaires ; c) démarche de recherche-action, les acteurs et chercheurs étant intégrés aux processus de recherche et de changement. Ce projet implique la mobilisation de deux ensembles de connaissances qui ne peuvent être dissociés. **Le premier** concerne les mécanismes bio-techniques et économiques mis en cause dans les fuites de nitrates par une agriculture en un lieu. Ils sont à la base des modèles de simulation construits. **Le second** ensemble de connaissances résulte de la démarche collective de recherche-action qui implique l'ensemble des acteurs, y compris les chercheurs. On pré-

* INRA-SAD Versailles-Dijon Mirecourt
Avec la collaboration de Ph. Pierre et J.C. Falloux

1. Voir Brossier, Chia, 1990 et Defontaine, 1990 pour une présentation plus complète de ce programme de recherches de l'INRA.

sentera brièvement quelques éléments du dispositif mis en place par l'INRA et l'intérêt des modèles technico-économiques dans cette démarche.

I - PRATIQUES AGRICOLES ET MODÈLE DE FONCTIONNEMENT : CONSTRUCTION ET RÉSULTATS

L'étude des mécanismes bio-techniques et économiques a pour but de comprendre les pratiques des agriculteurs et le niveau actuel de la pollution, elle permet aussi d'élaborer une gamme de propositions que les chercheurs jugent adaptées aux diverses situations.

1. Les analyses techniques

a. - *Analyse de la diversité des sols : élaboration d'une carte pédologique* : le facteur terre n'est pas homogène : nous savons que le risque de pollution n'est pas seulement lié à la quantité d'engrais et à la culture, mais aussi aux caractéristiques pédologiques des sols. Des études éco-pédologiques ont été réalisées sur le plateau, ce qui a permis l'élaboration d'une carte pédologique, levée au 1/10 000. Si on commence à connaître les modalités de la circulation de l'eau en surface et le degré de perméabilité des substrats, il y a encore des interrogations sur les rythmes de cette circulation et le degré de rémanence des solutés dans le système des nappes (pas de temps, phénomènes de stockage et d'irréversibilité mal connus). En collaboration avec divers spécialistes de l'INRA, du CNRS et de l'Université, nous cherchons à préciser progressivement les connaissances qui sont accessibles et utiles pour bien poser le problème, avec un certain coût et un certain délai. Nous avons pu établir « l'agressivité » en termes de nitrates des divers systèmes de culture et d'élevage.

b. - *Le bilan azoté : un indicateur de l'agressivité des systèmes* : pour établir un diagnostic des risques de pollution des eaux souterraines, nous avons construit un indicateur par parcelle de l'agressivité à moyen terme des systèmes de culture. Cet indicateur permet aussi, à partir de nouveaux systèmes de culture, de simuler des risques sur des situations nouvelles.

La qualité d'un indicateur de l'agressivité des systèmes de culture, dépend de sa facilité de calcul (un agriculteur peut-il mesurer lui-même cet indicateur sur ses parcelles ?) et de sa précision : qualité de liaison avec des mesures de flux de nitrates mesurées à l'aide de dispositifs expérimentaux (lysimètres, parcelles drainées, bougies poreuses).

Pour le calcul des bilans azotés, une addition des entrées d'azote (engrais chimiques et déjections animales) et une soustraction des sorties (récoltes) sont effectuées sur la durée du système de culture. Pour permettre une comparaison entre systèmes de cultures de durées différentes, un bilan annuel a été calculé.

Si une parcelle a un bilan azoté positif, à moyen terme deux possibilités se présentent, soit elle perd rapidement l'azote excédentaire par lixiviation (transfert), soit elle stocke sous forme humide cet azote excédentaire qui risque ensuite d'être perdu lors de phases ultérieures de minéralisation puis de lixiviation. En tout état de cause, le risque

de pertes par lixiviation augmente même si nous en ignorons le terme.

Le bilan azoté : l'ensemble des parcelles de l'exploitation est réparti en groupes suivant les systèmes de culture de l'exploitation (rotations et itinéraires techniques identiques). Plusieurs systèmes de culture avec des bilans azotés très différents sont identifiés. Les valeurs ont été obtenues par enquête chez l'exploitant.

Pour chaque exploitation, on peut calculer : a) Un bilan global qui est la somme (bilan azoté) pour tous les hectares du système de culture, somme calculée pour tous les systèmes de culture où le bilan est positif (2). b) Une évaluation des lixiviations des nitrates qui est égale à la somme de la quantité d'eau drainée multipliée par la concentration en nitrates. Cette évaluation correspond à la contrainte nitrates prise en compte dans le modèle.

2 - La structure générale du modèle et la contrainte nitrate (3)

a. - *La structure générale* : à partir des informations disponibles, des modèles de simulation d'exploitation (PL) sont construits pour toutes les exploitations. On présentera successivement les modèles, les hypothèses techniques, l'étalonnage, les solutions proposées et les résultats.

Il s'agit d'un modèle réducteur de la réalité d'une exploitation, qui permet de se projeter dans l'avenir. Cela aide à repérer les grandes tendances et à apprécier les effets et la sensibilité de diverses solutions pour la réduction des nitrates. **C'est essentiellement un outil de réflexion et de dialogue** (entre les différents acteurs). Il a été construit sur deux exploitations réelles (B et D) du plateau, choisies essentiellement pour mettre au point la méthodologie.

La fonction d'objectif s'apparente à une marge dans la mesure où la quasi-totalité des charges variables opérationnelles sont introduites dans le modèle (4). Le modèle permet de calculer la productivité en valeur ou le coût marginal de chacun des facteurs saturés (coût d'opportunité).

Les principales caractéristiques et contraintes de ces exploitations sont (tableau 1) :

Tableau 1. — Principales caractéristiques des deux exploitations (*)

	B	D
SAU (ha)	93	90,5
*. - Terres labourables (ha)	22	35,5
*. - STH		
— pâturage V.L. (ha)	28	12
— autres (ha)	43	43
Bilan azote des rotations et prairies (kg/ha)		
— Maïs-céréales	117-65	32-46
— Céréales-luzerne	90	22
— Pâturage V.L.	23	26
— Pâturage autres	0	0
— Nombre de places pour V.L.	40	60
— Rendement (l/VL/an)	6 200	6 200-7 500
Quotas (litres)	240 000	224 000

(*) Toutes ces données (1987) sauf celles concernant la nouvelle rotation sont issues des relevés chez les agriculteurs.

4. Certaines charges variables n'y sont pas (fuel...) car elles sont considérées comme fixes quelles que soient les décisions du modèle. Par contre d'autres, souvent considérées comme fixes, comme les charges fixes d'amortissement pour les investissements décidés dans le modèle par l'agriculteur simulé (agrandissement d'étable...) sont introduites. Pour obtenir le revenu agricole, il faut déduire toutes les charges non introduites, dont les charges fixes.

2. Les bilans négatifs (sorties supérieures aux entrées) ont été considérés égaux à zéro.

3. Sur l'intérêt de la Programmation Linéaire comme outil de recherche et de dialogue avec les agriculteurs, on pourra se reporter à Brossier et al, 1977 et Brossier, Chia, 1985. Voir aussi la recherche menée par une équipe italienne sur la lagune de Venise (Dosi, Stellin, 1989).

— Les types de sols en fonction de leur réserve utile en eau, de leur potentialité, de leur perméabilité et de leur utilisation.

— La contrainte nitrate, selon les différents systèmes de culture.

Ces deux premières séries de contraintes tiennent explicitement compte des particularités du problème à étudier. Les autres contraintes (contraintes zootechniques et d'alimentation des animaux, autres contraintes sur les facteurs de production/travail, bâtiments, quotas...) sont plus classiques. Le niveau des prix et les rendements sont ceux effectivement obtenus et payés par les agriculteurs.

b. - La contrainte nitrates introduite dans les modèles

* Calcul de la quantité d'eau drainée :

$$(1) Q = P - ETM - RU$$

$$(2) ETM = k * ETP$$

$$(3) Q = P - (k * ETP) - RU$$

P = pluie ; ETM = évapotranspiration maximale ; RU = réserve utile et k = coefficient cultural ; ETP = Evapotranspiration Potentielle.

Le coefficient k peut être trouvé dans la bibliographie (travaux de Turc, de Robelin).

La réserve utile (RU) a été déterminée grâce aux travaux de cartographie des sols réalisés sur le site par l'équipe du CNRS (Pédologie Biologique : Gras, Faivre, Gury). La cartographie de la totalité du périmètre permet d'affecter à chaque parcelle culturale une valeur de RU. La pluviométrie et les autres paramètres utiles pour le calcul de l'ETP (formule de PENMAN) ont été obtenus sur la station INRA-SAD de Mirecourt.

Le calcul de la quantité d'eau drainée est effectué par décades. L'année prise en compte dans les calculs a été l'année 1987, année plutôt pluvieuse, cela permet de maximiser les pertes et être ainsi dans les conditions les plus défavorables pour la société d'eaux minérales. Lors de l'évaluation des drainages en cours, nous avons négligé le ruissellement, en supposant que l'ensemble de l'eau excédentaire s'infiltrait. C'est une approximation dont on vérifie actuellement la validité.

* Calcul de la concentration : la liaison entre le bilan azoté et la lixiviation en nitrates nécessaires pour évaluer la concentration en nitrates a été obtenue en utilisant deux séries de données :

— les résultats des cases lysimétriques de la station d'agronomie de Clermont-Ferrand (P. Loiseau, 1991) ;

— les premiers résultats des treize sites à bougies poreuses implantés sur le périmètre hydrominéral dans des parcelles d'agriculteurs.

Cette relation nous permet de calculer les lixiviations moyennes en nitrates à partir des valeurs des bilans azotés des divers systèmes de cultures. Les données, concernant la liaison lixiviation-bilan azoté, font apparaître une relation, dans le cas présent nous l'avons surestimée, de **1 kg/ha/an = 1mg/l**. En multipliant ce chiffre par le nombre d'hectares des divers systèmes de culture (tableau 1), nous obtenons une concentration moyenne en nitrates produite par l'ensemble des systèmes de culture de l'exploitation.

5. Le problème est centré aujourd'hui sur les nitrates, mais ceux-ci sont aussi des indicateurs de présence des molécules chimiques liées aux divers traitements, beaucoup plus dangereuses à terme.

3 - Etalonnage du modèle : la situation de départ

L'étalonnage pose le problème de l'adéquation du modèle à la réalité. Il permet donc d'éliminer les erreurs notables de construction en s'assurant que les solutions ne sont pas aberrantes ou trop éloignées de la réalité. Pour étalonner le modèle, nous avons vérifié, lorsque l'on introduit les données correspondant à la situation actuelle, qu'il donnait les mêmes résultats que dans la réalité. Cette situation de départ apparaît sur le tableau 2. Les deux exploitations sont relativement peu agressives en nitrates malgré quelques hectares en maïs, puisque dans les nappes de subsurface le taux est en moyenne largement inférieur à la norme européenne de potabilité (50 mg/l) : il est en moyenne de 35 mg/l par exploitation.

II. - ANALYSE DES CONDITIONS DE CHANGEMENT : SIMULATION

1 - Simulations selon des niveaux différents de la contrainte nitrates

L'entreprise d'eaux minérales souhaite se mettre dans les conditions les plus drastiques pour réduire le risque au minimum. Elle fixe donc un seuil de 10 mg/l à atteindre assez rapidement.

Comme il apparaît sur le graphique 1 et le tableau 2, les agriculteurs simulés ne trouvent pas de solution satisfaisante : nous observons une chute de la marge brute, donc du revenu (puisque une différence de marge brute équivaut à une différence de revenu). A 10 mg/l par exemple, la baisse de la marge est de plus de 200 000 F pour l'un et de 100 000 F pour l'autre. Les surfaces (la culture du maïs disparaît et il y a 38 ha en jachère) et les quotas laitiers ne sont pas totalement utilisés d'une part parce qu'il y a peu de cultures non « polluantes », et que les pâturages de vaches laitières ont un bilan nitrates élevé, et d'autre part parce qu'il y a une forte contrainte de travail pendant la période des foins et des ensilages d'herbe, productions nécessaires pour remplacer le maïs et nourrir les vaches laitières. Il faut noter que l'exploitation B, qui a une plus forte proportion initiale des terres en prairies permanentes, « résiste mieux ». Cela dit, ces solutions sont évidemment choquantes et inacceptables pour les agriculteurs. Il faut donc trouver des solutions techniques et économiques permettant de dégager une marge brute satisfaisante.

2 - Des solutions techniques et économiques proposées

Il apparaît que la seule suppression du maïs étant insuffisante (le bilan nitrates reste supérieur à 20 mg/l) pour respecter une perte de 10 mg/l, il faut dans ce cas imaginer de nouvelles propositions techniques et économiques qui permettent aux agriculteurs de maintenir, voire d'augmenter leurs revenus.

* Techniques : installation d'une rotation sur six ans : trois années de luzerne suivies de trois années de céréales (blé, orge) conduites avec des itinéraires comportant du compost et peu d'intrants chimiques (5) et laissant un bilan nitrates annuel de 10 kg/ha, avec des rendements de l'ordre de 40 à 50 quintaux à l'hectare.

* Economiques : ces céréales « spécifiées » peuvent être vendues 50 % plus cher ce qui compense en partie le rendement plus faible. Quota supplémentaire de 30 000 l de lait en vente directe ou avec une petite transformation locale, valorisé 20 % plus cher, pour mieux utiliser les surfaces en herbe.

Le modèle montre l'existence de systèmes de production (essentiellement laitiers) qui répondent à la demande de l'entreprise, à savoir, **pas plus de 10 mg/l** tout en dégageant des niveaux de revenu comparables à ceux de la situation actuelle. Ceci dit, **obtenir un niveau de marge brute comparable** ne suffit pas pour que les agriculteurs adoptent ces nouveaux systèmes, d'une part parce qu'il y a de nouveaux investissements nécessaires donc des frais fixes complémentaires et un revenu plus faible et d'autre part on ne bouleverse pas un système de production et des pratiques pour un revenu juste comparable. Il est donc nécessaire d'obtenir une marge brute plus élevée grâce à des prix plus importants. Il faut par ailleurs rappeler que les modifications de systèmes et de marges liées à l'abandon des pesticides n'ont pas encore été prises en compte. Elles font l'objet de travaux en cours.

Tableau 2. — Modifications des systèmes de production de deux exploitations (D et B) en fonction de la contrainte nitrates

Contrainte Nitrate	Libre	20 mg	10 mg	5 mg	5 mg (1)
EXPLOITATION D					
1) Situation initiale	35 (mg/l)				
— Variation de la M.B. (2)	D(3)	- 60	- 200	- 290	
— Système de culture					
• Maïs (ha)	11,5	1,5	0	0	
• Transformation des labours en prairies	0	10	8	10	
• Friches	0	10	38	32	
— Coût marginal mg/l (2)	0	8	17,5	22	
2) Avec améliorations techniques et économiques	32 (mg/l)				
— Variation de la M.B. (2)	+ 85	+ 75	+ 9	- 140	- 50
— Rotation luzerne-céréales (ha)	15	36 (max)	20	0	0
• Transformation des labours en prairies	0	0	15	4,5	36
• Friches	0	1	13	52	0
— Coût marginal mg/l (2)	0	2,5	22	42	69
EXPLOITATION B					
1) Situation initiale	34 (mg/l)				
— Variation de la M.B. (2)	B(3)	- 13	- 100		
— Système de culture					
• Maïs	7	0	0		
• Transformation des labours en prairies (ha)	0	0	12		
• Friches	0	1,5	11		
— Coût marginal mg/l (2)	0				
2) Avec améliorations techniques et économiques	14 (mg/l)				
— Variation de la M.B. (2)	+ 36	+ 36	- 15	- 210	
— Rotation luzerne-céréales (ha)	22 (max)	22 (max)	8	4	
• transformation des labours en prairies (ha)	0	0	14	20	
• Friches (ha)	0	0	0	28	
— Coût marginal mg/l (2)	0	0	20	42	

(1) Contrainte travail libéré ; (2) en 1 000 F ; (3) D et B : niveaux de marge brute des situations initiales des exploitations D et B prises comme référence. Toutes les variations sont calculées par rapport à ces niveaux.

Il faut signaler que les résultats dépendent étroitement des hypothèses choisies et en particulier des niveaux de

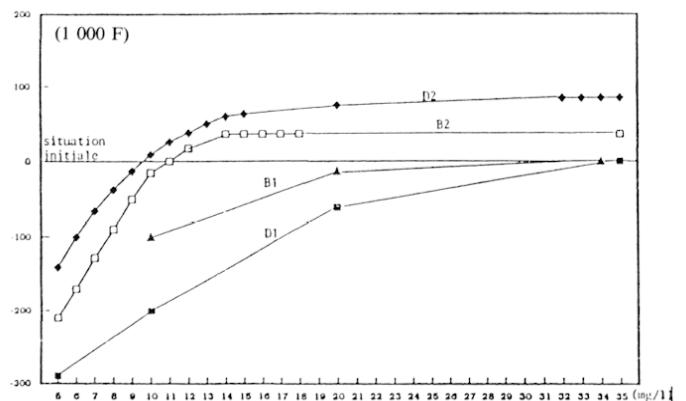
prix et de quotas laitiers et du bilan nitrates des rotations, que nous allons analyser plus en détail.

Influence du niveau de la contrainte nitrates sur les systèmes de production : en laissant libre le niveau de nitrates, les propositions d'amélioration entraînent une forte augmentation de la marge brute (+ 90 000 F par exploitation), le niveau nitrates se situant à 32 mg/l pour l'exploitation D et à 14 mg/l pour l'exploitation B.

Le renforcement de la contrainte nitrates (des chiffres ci-dessus à 5 mg/l) se traduit par les modifications suivantes des systèmes de culture (tableau 2, graphiques 1 et 2) :

1) Jusqu'à 14 mg, il n'y a évidemment aucun changement pour l'exploitation B. Pour l'exploitation D le système change peu globalement (on assiste à une diminution des céréales « classiques » et leur remplacement par des céréales « spécifiées »), la chute de revenu restant limitée.

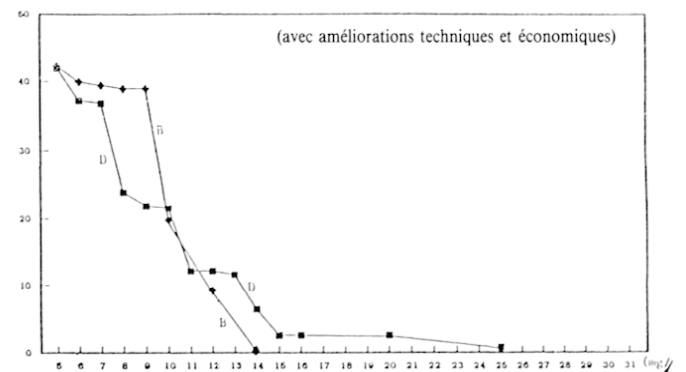
Graphique 1. — Evolution de la marge brute de deux exploitations en fonction de la contrainte nitrates



EXPLOITATION D —■— Situation de départ D1 —◆— Avec améliorations techniques et économiques

EXPLOITATION B —▲— Situation de départ B1 —□— Avec améliorations techniques et économiques

Graphique 2. — Coût marginal-productivité marginale (1 000 F) du mg/l en plus ou en moins



EXPLOITATION D —■— EXPLOITATION B —◆—

2) Pour les taux inférieurs à 14 mg/l, les changements sont plus drastiques : abandon des céréales « classiques » ; diminution (à 10 mg/l) puis abandon (à 5 mg/l) des céréales « spécifiées » ; enherbement des terres labourables (jusqu'à 36 hectares) ; mise en jachère (avec une hypothèse d'un bilan nitrates égal à 0) d'un nombre grandissant d'hectares, en raison de la contrainte travail (période foin/ensilage) (6).

Les graphiques 1 et 2 illustrent clairement que le seuil critique, pour les deux exploitations simulées, se situe entre 14-15 mg. Sur le graphique 2, nous avons représenté les courbes de la marge brute des exploitations D et B en fonction de la contrainte nitrates (situation de départ et situation où toutes les améliorations sont possibles). En deçà de 14 mg, les courbes s'infléchissent exponentiellement.

Sur le graphique 3, nous avons représenté le coût (ou la productivité marginale) lié à la modification d'un mg, en plus ou en moins, de la contrainte nitrates. Ce coût correspond à la diminution de marge brute, donc de revenu.

Pour l'exploitation D, si à partir d'un niveau de 25 mg/l, on baisse la contrainte d'un mg, le coût marginal est relativement faible : 800 F pour l'ensemble de l'exploitation. Il passe à 2 600 F à 20 mg. A partir de 14 mg, le coût marginal augmente fortement (6 500 F) pour atteindre 21 600 F (à 10 mg) et 40 000 F (à 5 mg), ce qui signifie d'importantes baisses de la marge brute. Pour l'exploitation B, à partir de 14 mg, l'évolution est sensiblement identique quoique plus brutale. Devant l'importance de ces chiffres, on doit s'interroger sur leur sensibilité à des variations des données de base.

3 - Sensibilité des résultats à des variations des bilans annuels de nitrates des rotations et des prairies. Le cas de l'exploitation D (tableau 3)

Il va de soi que ces chiffres élevés n'ont qu'une valeur indicative : d'une part, il s'agit de simulations et d'autre part ils dépendent des conditions des exploitations, particulièrement des bilans nitrates des divers systèmes de culture. Il est certain qu'en dessous de 10 mg/l, il y a peu de rotations culturales qui permettent de satisfaire ce seuil. Cette sensibilité est doublement intéressante à étudier : d'une part, les chiffres n'étant pas toujours très précis, elle montre les marges de variation et des sortes « d'intervalles de confiance », d'autre part elle indique les directions de recherche pour améliorer les techniques.

Tableau 3. — Influence des variations de bilans nitrates de la rotation luzerne-céréales « spécifiées » et des parcs vaches laitières sur les systèmes de production de l'exploitation D quand la contrainte nitrates sur l'ensemble de l'exploitation est fixée à 10 mg/l

Bilan Nitrates (mg/l)	Parc VL	Variation de la marge Brute (1 000 F)	Rotation luzerne-céréales (ha)	De labours en prairies (ha)	Friches (ha)	Coût marginal du mg/l (1 000 F)
Situation de Référence	26	9	20	15	13	22
5	26	60	36 (max)	0	2,5	6
15	26	- 27	13	20	20	16
10	20	30	26	10	8	12
10	35	- 28	13	22	20	24

6. Avec la contrainte 5 mg/l si le facteur travail est libéré (tableau 2) soit par achat de matériel, soit par des travaux faits à l'entreprise, la jachère disparaît et le nombre d'hectares enherbés augmente pour nourrir davantage de taurillons, et pour réduire les frais d'alimentation des vaches laitières.

— Influence du bilan nitrates des prairies vaches laitières

D'après les relevés chez l'agriculteur, le bilan de ces parcs a été évalué à 26 kg/ha. Si l'objectif est fixé à moins de 10 mg/l sur l'ensemble de l'exploitation, le bilan sur les parcs se dégrade et passe à 35 kg/ha (soit + 9 kg). La marge brute (donc le revenu) diminue de 37 000 F. Inversement si, par une meilleure gestion du pâturage ou un meilleur aménagement des parcelles, on pouvait diminuer le bilan de pâturages vaches laitières de 6 kg (bilan de 20 au lieu de 26 kg/ha), la marge brute (donc le revenu) augmenterait de 21 000 F. On constate que le coût marginal du mg sur l'ensemble de l'exploitation diminue de moitié.

Lorsque le bilan nitrates des pâturages passe de 35 kg à 26 et 20 kg, l'agriculteur simulé tend à diminuer les productions ne produisant pas ou très peu de nitrates (friche et prairies de fauche) au profit des rotations plus rentables (luzerne-céréales « spécifiées »).

Il est intéressant de noter que le gain de marge sur l'ensemble de l'exploitation, est d'environ 4 000 F par kg en moins dans le bilan pâturages vaches laitières (de 35 à 20 kg/ha). Ceci est considérable et justifie une investigation agronomique particulière.

— Influence du bilan nitrates de la rotation luzerne-céréales « spécifiées » : pour bien montrer l'influence du bilan nitrates des rotations sur le résultat, nous avons procédé à une modification du bilan nitrates de la rotation (luzerne-céréales spécifiées). Cette rotation donne un bilan annuel fixé initialement à 10 kg/ha. Lorsque ce dernier passe à 15 kg/ha, la marge brute diminue de 36 000 F (plus de prairies temporaires et de terres en friches). Inversement si le bilan annuel de la rotation passe à 5 kg/ha, la marge brute augmente de 52 000 F. Dans ce cas, la rotation luzerne-céréales « spécifiées » augmente jusqu'à un maximum (36 ha) et le nombre d'hectares en friches diminue jusqu'à 2,50 ha.

On peut encore noter que le gain de revenu par kg en moins dans le bilan de la rotation luzerne-céréales « spécifiées » (de 15 à 5 kg/ha) est de plus de 9 000 F en moyenne (7).

Sur le graphique 2, le profil des deux courbes de productivité marginale de la contrainte nitrates apparaît semblable, celui de l'exploitation D évoluant par seuils du fait de plus grandes possibilités de réactions à la contrainte nitrates : l'enherbement commence à partir de 13 mg, atteint son maximum à 9-8 mg, les friches s'installent aussi à 13 mg, la rotation luzerne-céréales est à son maximum autour de 20-14 mg, elle diminue à partir de 11 mg. A partir de 10 mg, le coût des nitrates devient très élevé.

En résumé, dans l'état actuel des connaissances et des valorisations potentielles (compost, meilleure alimentation, itinéraires pour des céréales propres et spécifiées — pour ne pas dire biologiques — avec plus fortes valorisations...), il semble possible d'avoir une agriculture performante économiquement et écologiquement rentable et maîtrisant ses effluents. Cela permet aussi d'identifier les pistes d'approfondissement dans le domaine technique (nouveaux itinéraires) et économique (nouvelles commercialisations).

7. En d'autres termes, on peut dire de façon imagée que si on veut obtenir moins de 10 mg/l sur l'ensemble de l'exploitation, il serait intéressant de « payer un agronome » 10 000 F par exploitation pour chaque kg qu'il pourrait faire gagner par hectare en deçà de 10 kg dans les bilans nitrates annuels.

III - LE MODÈLE COMME OUTIL DE DIALOGUE DANS LA DÉMARCHE COLLECTIVE DE RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT

Dans le cas étudié, il y a clairement la question des négociations entre acteurs privés à propos d'un bien en partie collectif. Quels sont les termes de la négociation ? Comment faut-il voir le problème de l'augmentation des nitrates dans l'eau provoquée par l'agriculture ? S'agit-il d'un effet externe de l'activité agricole ? La problématique des effets externes concerne les relations entre des agents qui ne passent pas par le biais de l'échange marchand. Théoriquement le Principe du Pollueur/Payeur (PPP) permet d'internaliser les coûts externes. Cette solution paraît peu applicable ici d'une part parce qu'il s'agit d'une pollution diffuse mal identifiable (Rainelli, 1990), d'autre part parce que l'on ne peut parler juridiquement ni de pollution ni de domaine public. En fait, dans ce cas, il faut supposer qu'il y a un bien d'usage incompatible créant ainsi des effets externes et donc des coûts d'opportunité, ce bien étant objet de la transaction entre plusieurs acteurs (Schmid, 1987). Ce bien peut être conceptualisé comme de l'espace dans l'aquifère souterrain qui est nécessaire mais de façon de plus en plus incompatible et pour les agriculteurs pour « stocker » leurs nitrates en trop et pour l'entreprise pour stocker de l'eau minérale.

La négociation fait ressortir la dimension collective et inter-active du problème qui apparaît sous différents aspects. Tout d'abord, les agriculteurs peuvent être perçus comme co-producteurs de la qualité de l'eau puisque au contraire certaines pratiques l'ont détériorée. Par ailleurs la « contrainte nitrates » nécessite le changement des pratiques agricoles qui, associées à d'autres pratiques, peuvent favoriser de nouveaux produits ayant des spécifications précises. L'obtention d'une meilleure valorisation de ces produits apparaît comme une condition sine qua non du succès et de la généralisation du projet. Cela suppose de réfléchir aux investissements individuels et surtout collectifs comme la mise en place de circuits courts de distribution ou la création d'usines pour transformer localement les produits. Enfin, les recherches sur la nature des sols et les modes d'écoulement des eaux dans les bassins versants montrent qu'il est indispensable d'avoir un point de vue territorial qui dépasse largement les limites des exploitations agricoles : l'aménagement spatial (permettant l'extensification des pâturages vaches laitières par exemple) semble un moyen efficace pour réduire la lixiviation des nitrates.

On pense donc assez naturellement à associer les différents partenaires. Quelle forme pourrait avoir cette association ? On a ainsi imaginé la création d'une structure, type GIE, pour une meilleure valorisation de produits ayant un label particulier.

Dans cette recherche, le rôle de l'INRA est d'élaborer les références techniques précises dans les divers domaines de la circulation de l'eau, de la conduite des cultures « moins polluantes », et de définir une méthodologie de contrôle et de suivi. Mais par ailleurs, l'étude des relations nécessite de mettre en place des outils et des démarches qui, sans être inhabituels pour la recherche, supposent l'articulation de plusieurs points de vue disciplinaires et plusieurs niveaux d'analyse : de la bougie poreuse au GIE, la recherche a de multiples facettes qu'il faut articuler. De plus, l'INRA s'est engagé dans une démarche constructiviste de

Recherche-Action puisque les acteurs et les chercheurs sont intégrés aux processus d'élaboration des connaissances et de changement. Dans ce cadre, l'INRA a recruté un agronome-animateur chargé de la coordination des relations entre les autres chercheurs, les agriculteurs du plateau et l'entreprise. La présence de l'animateur au sein du groupe de recherches INRA permet, en temps réel et continu, d'observer les effets et comportements nouveaux et de faire des propositions de nouvelles pratiques agricoles avec la participation active des différents partenaires, agriculteurs, la Chambre d'Agriculture, divers transformateurs, l'entreprise...

C'est dans cette perspective que le modèle de simulation a été utilisé pour favoriser les échanges. A partir d'images sur la situation actuelle et celles futures qui soient ouvertes et suffisamment crédibles, la discussion sur la **sensibilité des résultats** permet de situer les enjeux et les questions à préciser, en leur donnant une hiérarchie qui puisse être discutée. Il importe pour cela de bien clarifier les hypothèses et de les situer au niveau de certitude où elles sont. La recherche en cours permet d'illustrer cette façon de faire. Très concrètement, le débat qui a eu lieu récemment à partir des courbes de coût marginal de la contrainte nitrates, sur le seuil de cette contrainte (10 mg/l ou plus) montre bien les enjeux de la négociation entre les agriculteurs et l'entreprise : quels soutiens peut apporter l'entreprise, comment l'exprime-t-elle ?

Il s'agit donc d'une **recherche directement finalisée** avec une démarche de recherche-développement. Les exigences de la demande nous paraissent non seulement légitimes mais surtout stimulantes pour avancer dans la recherche. Néanmoins, une recherche ayant de grandes exigences de la part de l'entreprise productrice d'eaux minérales, de réelles réserves de la part des Organisations Professionnelles Agricoles et de fortes attentes de la part des agriculteurs comporte des risques. Et ce d'autant plus que le problème est encore mal circonscrit et incomplètement identifié. La recherche entreprise cherche à mieux l'identifier, en réduisant peu à peu les incertitudes et les discordances liées aux pas de temps, aux informations disponibles et à l'évolution des projets des acteurs. Cela suppose dans le cadre scientifique que nous nous sommes donnés, d'accepter d'ajuster et même de piloter la recherche en partie à vue. Dans un premier temps, notre rôle est plus, suivant la distinction d'H. Simon (Newell et Simon, 1972), de bien poser le problème (problem finding) que de résoudre un problème incomplètement identifié (problem solving). La démarche clinique mise en place paraît essentielle pour avancer dans cette voie.

CONCLUSION

Le problème de la pollution, renvoie autant à la recherche des solutions techniques (systèmes des cultures différents, maîtrise des engrais, etc.) qu'à la recherche des solutions économiques (prix plus élevés, nouveaux investissements, etc.). Mais il y a un aspect du problème (peut-être le plus important) qu'il ne faut négliger, celui de la gestion collective. En effet, les agriculteurs ne sont pas les seuls à utiliser l'eau et l'espace, d'autres agents économiques font aussi usage de ces facteurs de productions. Or les objectifs n'étant pas les mêmes, il existe nécessairement une contradiction dans l'usage et les propriétés que les uns et les autres accordent au même bien.

En ce qui concerne la question de la taxation des engrais (Bonnieux et al., 1989), les résultats que nous avons présentés montrent qu'il est possible de réduire une partie des effets des engrais en modifiant seulement certaines pratiques (dose d'engrais, date d'épandage, amélioration de la qualité des déjections animales — compostage —, etc.), que les sols ne se comportent pas d'une façon homogène et que les cultures ont des besoins différents.

Il est donc souhaitable que des négociations s'établissent entre les différents acteurs pour fixer les règles d'utilisation. Les méthodes d'analyse et de simulation présentées ici peuvent jouer un rôle important dans ce sens. Les taxes, les redevances et les quotas semblent difficiles voire dangereux à utiliser, car elles risquent de créer des distorsions voire des inégalités entre les agriculteurs, et de faire apparaître de nouvelles pratiques agricoles pas toutes favorables à l'amélioration de la qualité de l'eau.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BODIGUEL M. et al. (1988). — Les conditions socio-politiques et les instruments d'une gestion intégrée de l'environnement. Action de Recherche Concernée, ARC-PIREN, ministère de la Recherche, mars 1988.
- BONNIEUX F., RAINELLI P. (1989). — Politique agricole et Environnement dans les pays riches. *Economie Rurale* n° 189 février-mars 1989.
- BROSSIER J., CHIA E. (1985). — Fonctionnement de l'exploitation agricole et simulation de son évolution. INRA-SAD, *Série Etudes et Recherches*, n° 1, 52 p., Versailles.
- BROSSIER J., CHIA E. (1990). — Pratiques agricoles et qualités de l'eau. Construction d'une recherche-développement dans le cas d'un périmètre hydrominéral. *Economie Rurale*, n° 199, sept.-oct. 1990, pp. 6-13.
- BROSSIER J., DEFFONTAINES J.P. (1990). — Agriculture et Environnement. Construction d'une recherche-développement sur un système agraires soumis à des impératifs nouveaux liés à l'environnement. In BROSSIER et al., Ed. Scient., 1990 - **Modélisation Systémique et Système agraire**.
- COASE R.H. (1960). — The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*, vol. 3, pp. 1-44.
- DEFFONTAINES J.P. et Groupe VITTEL (1990). — Programme agriculture-environnement Vittel (AGREV) in Calvet R., 1990 - Colloque Nitrates-Agriculture-Eau.
- DOSI C.M., STELLIN G. (1989). — Influencing Land Use Patterns to reduce Nitrate Pollution from Fertilizers and animal pollution In Dubgaard A., Hjortshoj, Nielsen A., 1989 - **Economic aspects of Environmental Regulation in Agriculture** (Wissenschaftsverlag Wavk Kiel K9).
- LOISEAU P. (1991). — Poster présenté à l'AFPF (mars 1991).
- MONGOLFIER (DE) J., NATALI J.M. (1987). — **Le patrimoine du futur. Approches pour une gestion patrimoniale des ressources naturelles**. *Economica*, 248 p.
- NEWELL A., SIMON H.A. (1972). — *Human Problem Solving*. Prentice Hall Englewood, New-Jersey.
- OLLAGNON H. (1984). — Acteurs et patrimoine dans la gestion de la qualité des milieux naturels. *Aménagement et Nature*, n° 74, 1984, pp. 1 à 4.
- OLSON M. (1965). — *The logic of Collective Action*. Cambridge : Harvard University Press. Traduction française : **La logique de l'action collective**, PUF, Coll. Sociologie.
- RAINELLI P. (1990). — Economie et environnement. In **Bilan d'Activités du GIS Environnement Rennes**, 4 p.
- SCHMID A. (1981). — Innovations institutionnelles et Ressources naturelles. *Economie Rurale*, n° 145, 1981 (3), pp. 33-40. (trad. A. Brun et J.M. Boussard).
- SCHMID A. (1987). — *Property, Power and Public Choice*, 2nd ed New-York, Praeger.
- THIEBAUT L. (1986). — La demande sociale des biens de la nature : le cas d'une région de grande culture. Colloque ARF. **La nature et le Rural**, Strasbourg 4-5 décembre 1986.
- THIEBAUT L. (1988). — Pouvoir politique et protection de la Nature. *Etudes Rurales*, Cahier n° 5 Chasser le Naturel.