
Un système agraire et ses conséquences environnementales : premiers résultats

Nadine Turpin, Michel Tranvoiz, Robert Billant, Paul Bordenave,
Joseph L'Hostis, Monique Launay, Jean Coppenet et Pascal Serrand

La Bretagne a vu se développer un modèle de production qui l'a fait passer en moins d'un demi-siècle d'une polyculture de subsistance à une production agricole intensive, largement tournée vers l'extérieur (Canevet, 1992). Les productions animales se sont développées, les cheptels ont augmenté de façon très importante, et les productions fourragères se sont intensifiées. Cette augmentation des flux au sein de l'agriculture a été parallèle avec l'augmentation des pollutions des eaux, sans qu'une relation précise soit établie entre les deux phénomènes. En effet, si l'ampleur des transferts de nutriments vers les eaux dépend des pratiques agricoles, notamment des quantités de nutriments utilisés (Healey, 1986), elle subit aussi un grand nombre de phénomènes physiques, impliqués dans les équilibres sol-planteau-atmosphère, et qui sont pour l'essentiel soumis aux aléas climatiques et d'une très grande variabilité spatiale (Sebillotte, 1990).

A la demande de la Communauté Urbaine de Brest (CUB), le Cemagref, associé à la Chambre d'Agriculture du Finistère, s'est intéressé à un bassin versant pilote de 600 hectares, le Kerouallon. L'objectif initial de cette recherche-action est de décrire les flux de nutriments, sur le bassin versant, en tenant compte de la variabilité spatiale des pratiques agricoles et des caractéristiques du milieu, pour approcher plus précisément les phénomènes mis en jeu, et proposer des améliorations de pratiques tenant compte des facteurs de régulation physiques et économiques. Les enseignements tirés de ce travail sont d'abord destinés aux agriculteurs et

à leurs conseillers. Les concepts mis en œuvre pourront être employés par les décideurs.

Après une description du site pilote étudié, cet article présente les premiers résultats obtenus : les flux au sein de l'activité agricole sur le bassin sont détaillés et une analyse de la variabilité spatiale des pratiques agricoles est proposée.

Site d'étude, matériel et méthodes

■ Le pilote

Un des principaux bassins versants alimentant la rade de Brest (Finistère) est celui de l'Elorn, d'une superficie de 36 000 hectares. Le bassin versant pilote de Kerouallon est un sous-bassin de l'Elorn, situé à une quarantaine de kilomètres de Brest sur les communes de Loc Eguiner et de Ploudiry. Sa surface est de 600 hectares environ (la taille de ce pilote a été volontairement restreinte, pour qu'un suivi assez précis des pratiques agricoles soit possible).

Le bassin étudié est situé sur schistes et granites de Plougastel, formation assez imperméable : les réserves d'eau du sous-sol sont assez limitées. La topographie est contrastée, avec des crêtes marquées et des versants accentués, au sud, au sud-est et au nord-est, mais aussi un relief assez doux à l'ouest. La dénivellée est assez élevée : l'altitude varie de 188 mètres au point culminant à 97 mètres à l'exutoire.

Le ruisseau a un écoulement rapide et une forte capacité de transport de matières en suspension (Cann, 1994). Son chevelu est accentué par un

**Nadine Turpin
Paul Bordenave
Monique Launay
et Pascal Serrand**
Cemagref
17, avenue de Cucillé
5044 Rennes Cedex

**Michel Tranvoiz
Robert Billant
Joseph L'Hostis
et Jean Coppenet**
EDE
Chambre d'Agriculture
5, allée Sully - BP 504
29322 Quimper Cedex

réseau important de fossés, dont la moitié présente des écoulements importants (Courteau 1994).

L'activité agricole est l'activité humaine dominante sur ce bassin : il n'y a ni industries, ni présence d'agglomérations importantes.

Le bassin a été choisi dans une petite région d'agriculture très intensive, avec de nombreux élevages. Le canton dans lequel est situé le bassin a été classé depuis le début de l'étude en Zone en Excédent Structurel (Z.E.S.) au sens de la Directive « Nitrates ».

■ *Recueil de données*

• Enquête auprès des agriculteurs

Pour caractériser l'activité agricole, nous avons tout d'abord réalisé une enquête auprès des agriculteurs du bassin versant. L'échelle de l'exploitation pour commencer l'étude a été choisie dans la mesure où l'exploitation agricole, comme lieu de décision, est un maillon indispensable pour une action sur les pollutions générées par l'agriculture (Coleou, 1992). Vingt-deux agriculteurs ont des parcelles sur le bassin versant ; dix-neuf d'entre eux ont signé une convention de travail avec la CUB. Les parcelles de ces exploitations représentent 82 % de la Surface Agricole Utile (SAU) du bassin. Les systèmes de production sont basés sur les productions animales (lait, viande bovine et porcine).

Nous avons alors réalisé une enquête auprès de ces agriculteurs, avec les ingénieurs de la Chambre d'agriculture, au cours du printemps 1994. Les informations recueillies sont relatives aux productions réalisées sur les exploitations, et aux relations que ces exploitations ont avec les différents organismes de service, de fourniture d'intrants. Un plan et la description des bâtiments pour les exploitations ayant leur siège sur le bassin ont en outre été réalisés, sur la base d'un questionnaire établi par l'Institut de l'élevage (« DEXEL »).

• Suivi des pratiques agricoles

Suite à cette enquête, a été utilisée une grille de recueil des pratiques agricoles, élaborée par le Cemagref (Abrassart, 1993) : il a été demandé aux agriculteurs de noter, parcelle par parcelle, toutes les interventions de fertilisation, traitement, et récolte qu'ils ont effectuées. Cette grille a été mise en place avec du retard par rapport aux premières interventions du printemps. Il a donc été demandé aux agriculteurs de noter ces interventions de

mémoire. La précision de ces données est moindre que lorsque les agriculteurs ont noté au fur et à mesure leurs interventions. Le suivi des pâtures a été réalisé à l'aide de plannings de pâturage : ce document, établi initialement par les EDE bretons, permet aux agriculteurs de noter, quotidiennement, et sur chacune de leurs prairies, le nombre et le type d'animaux (vaches laitières, allaitantes, génisses, etc.) qui pâturent.

Pour quantifier de façon plus précise les flux réels mis en jeu, l'étalonnage des appareils utilisés pour l'épandage des engrais organiques a été réalisé. De même, les récoltes de blé, d'orge et de maïs (grain et ensilage) ont été pesées, chantier par chantier.

• Mesures et observations directes

Des observations directes ont aussi été effectuées. Elles concernent un recensement des cultures présentes sur le bassin, mais aussi des haies, fossés et talus, avec leurs caractéristiques physiques (taille des talus, profondeur et entretien des fossés, végétation des haies) (Courteau, 1994).

La carte des sols a été levée par le bureau d'étude Alcyon.

Les parcelles des agriculteurs ayant signé une convention de travail avec la CUB ont subi fin septembre un prélèvement de sol, qui a été analysé par le laboratoire de Coopagri. Ce prélèvement a été réalisé au moment où la majorité des parcelles était à la capacité au champ, dans la mesure où les résultats obtenus à Quimper sur cases lysimétrique indiquent que l'azote présent dans le profil à la reprise du drainage s'écoule par lixiviation au cours de l'hiver (Simon, 1988). Les prélèvements ont été effectués à raison de 12 échantillons par parcelle, avec des tarières à main, un préleveur automatique, et des appareils de prélèvement mis au point par M. Pluchet. Ont été recherchées les teneurs en azote minéral dans trois horizons (0-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm), les teneurs en phosphore et potassium (totaux et assimilables), ainsi que les paramètres d'analyse chimique des sols. La texture a aussi été déterminée.

■ *Traitement des données*

L'ensemble de ces données est intégré dans un Système d'Information Géographique (voir article de M. Launay).

Les enquêtes ont permis d'établir des bilans apparents (Simon, 1989) pour l'azote et le phosphore

au niveau de chaque exploitation. Ces bilans ont été comparés à des bilans de type Corpen. L'estimation de bilans à l'échelle de l'exploitation comme outil de diagnostic de pollution potentielle est connu depuis longtemps. La démarche de diagnostic consistant à agréger non pas les soldes de ces bilans, mais des flux de polluants potentiels au niveau du bassin versant est plus récente : le bassin est alors considéré comme un ensemble homogène, sur lequel porte le diagnostic (ce n'est plus un ensemble de diagnostics sur chaque exploitation). Cette démarche permet d'éviter l'interprétation délicate d'un bilan global issu de la somme de bilans positifs et négatifs (Deffontaines, 1993)

Un diagnostic a été porté sur les bâtiments d'élevage, et les risques de fuites de nutriments que l'on peut rencontrer dans ces bâtiments.

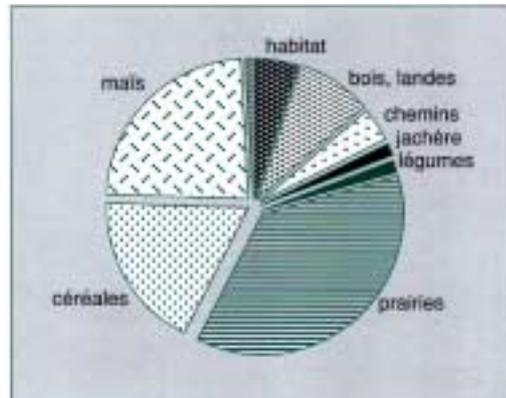
Trois années d'enregistrements permettent d'obtenir un bon diagnostic des risques de pollution dus aux pratiques agricoles, de façon à tenir compte de la variabilité climatique, mais aussi de bien prendre en compte la gestion des rotations sur l'exploitation. Le dépouillement de ces enregistrements, réalisé avec la méthode GESUFER (Abrassart, 1993), permettra de réaliser des bilans à la parcelle, en tenant compte des fournitures de nutriments par le sol, des effets des rotations. Mais d'ores et déjà, il est possible de tirer des enseignements des premiers enregistrements de pratiques agricoles.

Résultats et discussion

■ Flux mis en jeu

Une partie non négligeable de la surface du bassin versant est occupée par des bois, des landes ou des habitations (y compris cours de fermes et jardins) : la surface agricole utile représente 82,4 % de la superficie totale (figure 1). Les surfaces agricoles sont essentiellement consacrées aux productions fourragères : prairies, maïs grain et ensilage, céréales (blé, orge) sont destinés à l'alimentation du bétail (bovins et porcs). Les cultures de vente (quelques céréales, légumes) sont très peu représentées.

Les sièges des exploitations sont localisés sur le bassin pour douze d'entre eux, et en dehors pour huit autres (une exploitation possède des bâtiments sur plusieurs sites). L'enquête bâtiments effectuée par la Chambre d'Agriculture montre que si les bâti-

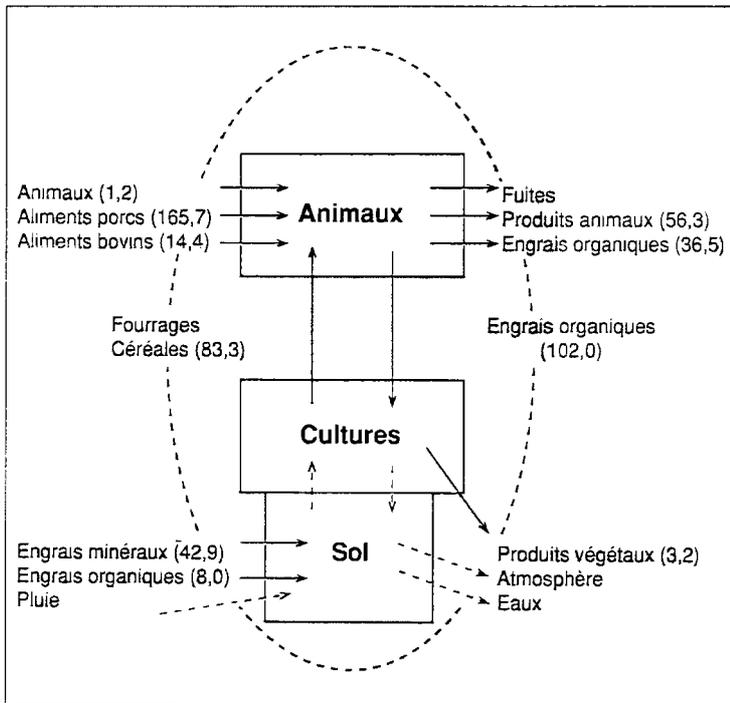


▲ Figure 1. - Occupation du sol sur le bassin

ments pour les porcins ne présentent en général pas ou peu de risques d'entraînement direct d'effluents dans les eaux, ce n'est pas le cas pour les bâtiments abritant des bovins : les aires d'exercice découvertes sans protection vis-à-vis du ruissellement, les silos sans stockage de jus, le manque de stockage pour les effluents sont fréquents. Les écoulements directs qui en résultent représentent des flux peu importants en valeur, mais ils sont susceptibles de se retrouver plus rapidement dans les aquifères que les nutriments épandus sur les parcelles.

Les parcelles des dix-neuf exploitations suivies représentent 82 % de la surface agricole utile du bassin. Il faut noter que ces exploitations couvrent une surface totale de plus de mille hectares, dont seulement 41 % se trouvent sur le bassin. La motivation des éleveurs pour le pilote peut d'ailleurs être reliée au nombre de parcelles qu'ils exploitent sur le bassin par rapport à leur surface totale.

Il n'y a pas de différence entre l'occupation du sol sur les parcelles des exploitations enquêtées, et celle de l'ensemble du bassin. De même, lors du premier entretien, les éleveurs n'ont pas mentionné de différence de pratiques entre les parcelles situées sur et en dehors du bassin. Compte tenu de cette homogénéité, une première approche des flux sur le bassin par extrapolation des flux sur chaque exploitation a été tentée (Cann et Turpin, 1994). Cette approche complète la réalisation de bilans, car nous avons noté une différence très importante entre des bilans de type Corpen ou ceux réalisés par l'INRA surtout pour l'azote.



▲ Figure 2. – Flux d'azote sur le bassin versant en 1993 (en tonnes)

Les flux ainsi obtenus (figure 2) mettent en évidence l'importance des apports d'azote sous forme d'aliments (aliments porcs essentiellement) et la faible valorisation de cet azote sous forme de produits animaux exportés. Les cultures sont fertilisées essentiellement par des engrais organiques provenant du bassin (102 tonnes d'azote, contre 43 provenant des engrais minéraux). Les produits végétaux sont essentiellement destinés à l'alimentation des animaux. Enfin, les apports d'engrais organiques sont nettement supérieurs aux exportations des cultures : nous sommes en présence d'un excédent « structurel », dû aux systèmes de production.

Le solde de 136 tonnes d'azote, pour l'année, sur l'ensemble du bassin versant se répartit de façon égale entre le solde pour les ateliers animaux (solde : + 69 tonnes) et le solde pour le sol (+ 67 tonnes).

Pour les ateliers animaux, l'excédent d'azote traduit une augmentation des cheptels (hypothèse qui n'est pas confirmée par les bilans sur le phosphore) ou plus vraisemblablement des émissions dans l'atmosphère et des fuites au niveau des bâtiments.

L'excédent au niveau du sol recouvre les phénomènes de stockage-déstockage dans les sols, fixa-

tion d'azote atmosphérique, volatilisation au moment des épandages ou des émissions de déjections au pâturage, dont l'importance est confirmée par Svensson (1994), dénitrification et phénomènes associés, lixiviation et ruissellement vers les eaux. C'est ce dernier flux que l'on cherche à quantifier. Les autres flux peuvent être estimés d'après des données de la littérature, mais les enquêtes réalisées dans la première partie de l'étude ne permettent pas d'approcher leur valeur. Le solde au niveau du sol doit être mis en relation avec le flux d'azote à l'exutoire du bassin versant de 46 tonnes en 1993 (voir article de C. Cann décrivant l'impact de ce flux sur la qualité de l'eau). La différence entre les deux valeurs peut s'expliquer par le temps de réponse du bassin entre le moment où l'azote se trouve en excédent dans le sol, et celui où de l'azote peut être mesuré à l'exutoire, ainsi que par divers phénomènes d'épuration naturelle (dénitrification) ou de stockage dans les sols, phénomènes difficiles à quantifier (Elliott, 1993).

La même démarche, appliquée au phosphore, a mis en évidence un excès de bilan de 21 tonnes de phosphore en 1993, les entrées étant essentiellement des aliments pour les porcs (37 tonnes) et les sorties des produits animaux (14,5 tonnes) et des déjections (12,5 tonnes). Contrairement à l'azote, les flux à l'exutoire ne sont pas du tout du même ordre de grandeur que l'excédent (Cann, 1994). Le phosphore qui quitte le bassin à l'exutoire représente une très faible part des excédents au niveau des sols.

La démarche de détermination des flux à l'échelle du bassin est démonstrative : elle permet de visualiser de façon assez rapide les principaux flux pour déterminer les points de diagnostic de risque de pollution diffuse. Cependant, elle est imprécise :

- les estimations de flux reposent sur les dires des agriculteurs (un oubli est toujours possible) ;
- des flux de nature diverse sont mis sur le même plan, par exemple, on agrège des flux de nutriments épandus sur les sols avec des flux de nutriments qui s'écoulent directement dans les aquifères ;
- le solde au niveau du sol recouvre un flux polluant que l'on cherche à déterminer et des phénomènes difficilement quantifiables. A ce stade de dépouillement des données, la démarche ne per-

met pas d'estimer si la différence entre le solde calculé au niveau du sol et le flux estimé à l'exutoire est une mesure de la capacité d'épuration du bassin ou si elle résulte d'une incertitude dans l'estimation d'un terme du bilan ;

– l'hypothèse d'homogénéité des pratiques, qui permet l'agrégation, est une hypothèse forte.

Le suivi des parcelles nous a permis d'étudier la validité de cette hypothèse d'homogénéité.

■ **Peut-on dire que le bassin est homogène ?**

• **Caractéristiques des parcelles suivies**

La carte pédologique et les prélèvements de sols réalisés indiquent que les sols du bassin versant sont essentiellement des sols brun à brun lessivé, de texture à dominante limoneuse :

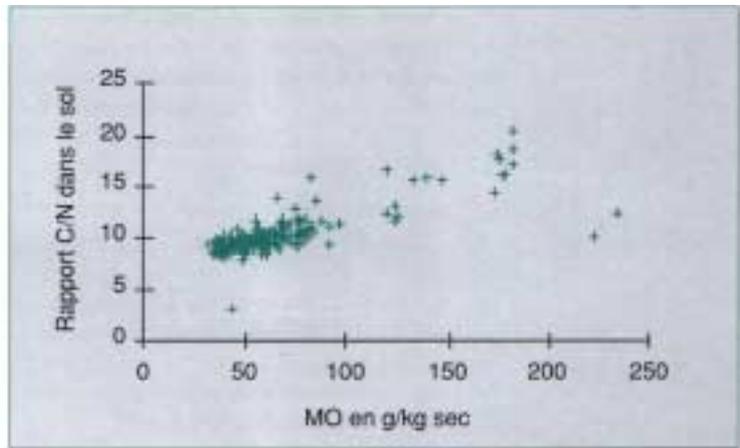
- limons : 43 % de la surface analysée,
- limons sablo-argileux : 36 %,
- limons argileux : 21 %.

Les teneurs en matières organiques sont élevées : 60 g/kg de terre fine en moyenne (Soltner, 1992, décrit des teneurs en matière organique de 10 à 30 g/kg de terre fine pour la plupart des sols français). Les teneurs en matières organiques, et surtout le rapport C/N dans les sols, montrent une très grande variabilité (figure 3) : un rapport C/N supérieur à 10 indiquant une activité biologique faible (Soltner, 1992), l'intérêt agronomique de nombreuses parcelles du bassin, possédant un fort taux de matières organiques et un rapport C/N élevé, peut être discuté. Ces parcelles représentent 27 % de la surface totale suivie.

De plus, les caractéristiques des parcelles en ce qui concerne l'hydromorphie, ou la profondeur de sol, varient beaucoup. Il en est de même pour les pentes. Courteau (1994) a déterminé la répartition des pentes sur les parcelles utilisées pour les cultures :

- parcelles dont la pente est inférieure à 5 % : 47 % de la SAU sur le bassin,
- parcelles dont au moins 20 % de la surface présente une pente comprise entre 5 et 7 % : 25 % de la SAU,
- parcelles dont 20 % au moins de la surface présente une pente de plus de 7 % : 28 % de la SAU.

Les parcelles suivies sont donc relativement homogènes en ce qui concerne leur texture. Elles



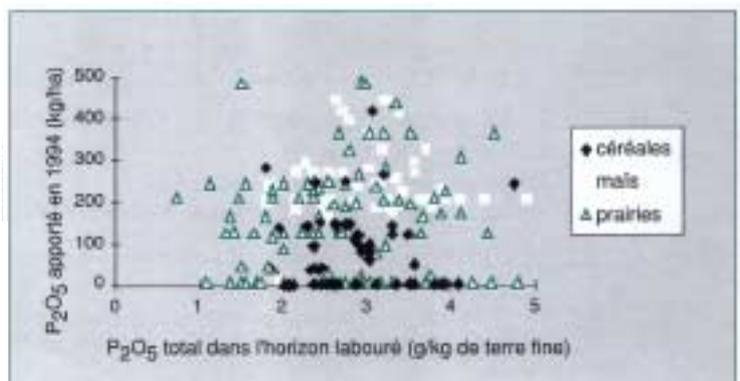
présentent par contre une forte hétérogénéité pour leurs autres caractéristiques (pente, profondeur, richesse en matières organiques, hydromorphie). Cette hétérogénéité laisse supposer un comportement différent des parcelles vis-à-vis des transferts de nutriments.

▲ Figure 3. – Matière organique et rapport C/N dans les parcelles suivies

• **Quelques pratiques enregistrées**

Il n'y a pas de localisation particulière des cultures en fonction des caractéristiques des parcelles, sauf pour quelques prairies humides sur pseudo-tourbes. Mais les premiers résultats du suivi des pratiques, mis en place en avril 1994, indiquent une très grande variabilité de ces pratiques en fonction des parcelles. Nous nous sommes dans un premier temps intéressés à la variabilité spatiale des fertilisations apportées aux cultures, au cours de l'année 1994, sans nous préoccuper, dans cette approche, des restitutions par les animaux au pâturage.

Figure 4. – Teneurs en phosphore des parcelles suivies et apports de phosphore par fertilisation ▼



Nous n'avons pu mettre en évidence aucune relation entre la fertilisation en 1994 en phosphore des parcelles et la teneur de ces mêmes parcelles, aussi bien en phosphore total (le phosphore susceptible de polluer) qu'en phosphore assimilable par les plantes (extrait par la méthode Dyer).

Les apports varient surtout en fonction de la culture en place (figure 4) : les maïs reçoivent beaucoup plus de phosphore, surtout sous forme organique (lisiers, fumiers) que les autres cultures. Un historique des parcelles nous permettra de déterminer si certaines parcelles sont implantées plus fréquemment en maïs, et ainsi reçoivent des apports plus fréquents de phosphore.

De même que Trugdill (1991), nous n'avons pas trouvé de corrélation entre le contenu en azote des sols et leur utilisation, ou la dose d'azote apportée sous forme de fertilisants. Du fait de l'importance du pâturage, nous n'avons pas cherché à relier les reliquats azotés à l'automne avec la fertilisation azotée, ou la culture sur les parcelles suivies. Les informations issues des deux démarches de recueil de données (enquête et suivi) que nous avons testées peuvent être comparées : si les apports moyens en azote par hectare sont comparables (295 kg/ha en moyenne en 93 par enquête - 276 kg/ha en moyenne en 94 par suivi, hors restitutions au pâturage), le suivi indique une variabilité importante de ces apports entre les parcelles (écart-type de 150 kg/ha).

Cette variabilité nous conduit à prendre avec beaucoup de précautions notre hypothèse initiale d'homogénéité sur le bassin. Dans ces conditions, le bilan global réalisé (figure 2) ne fait que donner, de façon assez imprécise, des ordres de grandeur pour les flux calculés. La traduction du solde au niveau du sol en une concentration moyenne potentielle de nitrates dans l'eau serait une approximation rapide et seule la réalisation de bilans au niveau de chaque parcelle permettra d'établir un diagnostic de pollution due aux pratiques agricoles.

La difficulté méthodologique rencontrée ici d'une démarche basée sur des enquêtes est due en grande partie à une définition assez large du terme de « pratiques agricoles ». On regroupe en effet sous ce terme :

– des éléments relativement stables, du moins sur une année : ce sont tous les éléments que l'on décrit traditionnellement comme le système de production (cheptels, assolement, main d'œuvre, etc.) ;

– des éléments dont l'agriculteur va définir les grandes lignes, en général par campagne agricole : itinéraire technique par culture, répartition des engrais organiques par groupes de parcelles ;

– des éléments dont la décision est prise au jour le jour, en fonction du résultat de l'opération culturale précédente, de l'état de remplissage des stockages de déjections, de la pousse de l'herbe pour les prairies, etc.

L'agriculteur prend ses décisions en tenant compte d'une incertitude climatique et socio-économique, et adapte ses pratiques quotidiennes en fonction des informations dont il dispose (Sebillotte, 1993).

Le mode de recueil d'informations influe sur le type d'éléments que l'on peut appréhender : une enquête permet de décrire avec précision les deux premiers éléments, et seul un suivi des parcelles donnera des renseignements sur le dernier type. Il peut y avoir une grande différence entre ce que les agriculteurs avaient l'intention de faire et ce qu'ils ont effectivement réalisé. Même une enquête de type rétrospectif comporte un biais, dans la mesure où les agriculteurs décrivent des comportements moyens.

La conséquence pratique est que la mise en relation d'itinéraires techniques moyens (obtenus par enquête) avec des mesures physiques provoque souvent bien des surprises et gêne l'interprétation des résultats.

Conclusion

Les premiers résultats présentés ici portent sur la réalisation d'un diagnostic de pollution potentielle par l'activité agricole. L'établissement de flux de nutriments agrégés sur le bassin avec des informations issues d'enquêtes a permis d'obtenir assez rapidement des ordres de grandeur des flux potentiellement polluants. Cette démarche s'avère cependant assez imprécise, du fait de l'incertitude importante pesant sur les données. Seule une démarche de suivi des pratiques agricoles permet d'établir une information suffisamment fiable pour un diagnostic, bien que l'obtention de cette information demande beaucoup de temps.

Le changement d'échelle, de l'exploitation au bassin versant nous a permis, par une comparaison rapide du diagnostic ainsi établi avec les flux mesu-

rés dans l'eau, de mettre en évidence l'insuffisance de précision des données recueillies par enquête pour établir un diagnostic comparable à des mesures physiques sur une petite surface.

La réalisation d'un diagnostic à partir d'enquêtes reste une démarche intéressante, pour donner un ordre de grandeur des flux de polluants potentiels sur une exploitation, pour comparer plusieurs exploitations, ou lorsque l'on s'intéresse aux composants du système de production qui peuvent générer

une pollution. La proposition de pratiques améliorantes devra d'abord tenir compte des éléments relativement stables du système de production, y compris les impératifs économiques des agriculteurs, éléments que l'on obtient relativement facilement par enquête. Ce n'est qu'ensuite dans la démarche d'amélioration qu'il faut s'intéresser aux contraintes plus ponctuelles, qui peuvent avoir pour conséquences de bouleverser totalement les décisions préalables d'un agriculteur, localement dans l'espace, et pour une période de temps donnée.

Résumé

Notre objectif est de mettre en relation pratiques agricoles et qualité de l'eau sur un bassin versant. Après moins d'un an de suivi, les premiers résultats sont présentés. Une approche globale des flux de nutriments au sein de l'activité agricole a été réalisée, à partir d'entretiens avec les agriculteurs. Mais la comparaison de ces flux avec ceux qui ont été mesurés à l'exutoire du bassin suggère que des processus physiques comme la volatilisation de l'ammoniac, le stockage dans les sols, la dénitrification ont une importance. Un suivi des pratiques agricoles montre de plus d'importantes différences entre les pratiques selon les parcelles étudiées : un bilan global à l'échelle du bassin n'est pas assez précis pour réaliser un diagnostic de pollution.

Mots clés : Azote, phosphore, bassin versant, pratique agricole

Abstract

We are trying to relate agricultural practices and water quality on a watershed. After less than one year of work, some first results are presented. Inquiries have permitted a global approach of supplies and gave an idea of the amounts of potentially polluting substances spread on the fields. But the comparison between excess of nutrients between the usual supplies and outputs by crops or animals and the fluxes of nutrients measured at the outlet has shown high differences, suggesting that physical processes such as volatilisation of ammonia, denitrification, storages in the soils, have an important influence. Agricultural practices registration suggests that for most of the farms important differences of practices occur between fields : a global balance at the farm scale won't be precise enough for pollution diagnosis.

Key words: Nitrogen, phosphorus, watershed, agricultural practices.

Bibliographie

- ABRASSART, J., BERTRAND, M., HERVE, A.M., 1993. Bilan de l'azote, du phosphore et du potassium à diverses échelles géographiques. *Informations Techniques* du Cemagref, septembre 1993.
- CANEVET, C., 1992. Le modèle agricole breton. Presses Universitaires de Bretagne, 400 p.
- CANN, C., TURPIN, N., 1994. Contrat de baie Rade de Brest. Flux de nutriments d'origine agricole vers la rade. Diagnostic de risques de pollution d'origine agricole. *Rapport à la Communauté Urbaine de Brest*. Cemagref Rennes, 74 p + annexes.
- COLEOU, J., 1992. Les pollutions dans les bâtiments et à travers le système animal. *C.R. Acad. Agri. Fr.*, 78, 41-56.
- COURTEAU, C., 1994. Rôle de la structure paysagère dans l'estimation des risques de pollution diffuse d'origine agricole sur un bassin versant expérimental. *Mémoire de D.E.S.S.* de l'université François Rabelais de Tours, Cemagref Rennes 75 pages + atlas.

- DEFFONTAINES, J.P., BROSSIER, J., BENOIT, M., CHIA, E., GRAS, F., ROUX, M., 1993. Agricultural practices and water quality : a research development project. Systems studies in agriculture and rural developments, Paris, INRA - 1993 - pp 32-61
- ELLIOTT, J.A., DE JONG, E., 1993. Prediction of field denitrification rates : a boundary-line approach - *Soil Sci. Soc. Am.*, 57, 82-87.
- HEALEY, M.G., 1986. Nitrate in water. A report by the Nitrate Coordination Group. *Pollution Paper n°26*. Department of the Environment, Central Directorate of environmental Protection. Her Majesty's Stationery Office, London, 104 p.
- SEBILLOTTE, M., 1993. Analysing farming and cropping systems and their effects. Systems studies in agriculture and rural developments, Paris, INRA 1993 - pp 273-290
- SEBILLOTTE, M., MEYNARD, J.M., 1990. Systèmes de culture, systèmes d'élevage et pollutions azotées. *Colloque « Nitrates, Agriculture, Eau »*, COMETT, Paris pp 289-312.
- SIMON, J.C., 1989. Bilans apparents d'azote à l'échelle de l'exploitation dans le département du Finistère. *A la pointe de l'élevage*, octobre - 35-38.
- SOLTNER, D., 1992. Les bases de la production végétale - Tome I : le sol - Saint Gemmes sur Loire, Sciences et techniques agricoles - 467 p.
- SVENSSON, L., 1994. Ammonia volatilization following application of livestock manure to arable land - *J. Agric. Engng. Res.*, 58, 241-260.