
Pratiques agricoles et qualité de l'eau dans un petit bassin d'élevage intensif

Une expérience pilote réalisée dans le cadre du contrat de baie «Rade de Brest»

Nadine Turpin, Fayçal Bouraoui et Michel Tranvoiz

Face aux pollutions qui affectent la qualité des eaux de la rade de Brest, la Communauté Urbaine de Brest a été nommée maître d'ouvrage d'un contrat de baie, par le Préfet du Finistère, en 1991. Un programme scientifique préparatoire à la réalisation du contrat de baie a débuté en 1992. Il a débouché sur l'élaboration du contrat de baie «Rade de Brest», signé par les différents partenaires en 1997. Ce programme préparatoire a concerné l'ensemble des pollutions liées aux activités domestiques, urbaines, industrielles, maritimes et agricoles. Ce programme a regroupé plusieurs équipes de recherche et de développement autour de trois objectifs : comprendre les processus d'évolution de l'écosystème spécifique de la rade, mettre au point des méthodes et des outils de suivi de la qualité de eaux de la rade et de ses bassins versants, puis concevoir et évaluer des méthodes de dépollution ou d'intervention qui seront mises à l'épreuve dans des expériences pilotes.

L'expérience pilote agricole a été confiée conjointement au Cemagref de Rennes, à l'INRA, et à la Chambre d'agriculture du Finistère. Les premiers résultats obtenus sont décrits dans le numéro spécial de la revue *Ingénieries* «Rade de Brest» (Cann, 1995).

Des objectifs opérationnels

L'expérience pilote du Kerouallon a été construite pour mieux appréhender les pollutions d'origine agricole par les nutriments (azote et phosphore), les métaux lourds et les pesticides. Les travaux menés sur le site regroupent une étude du devenir de ces nutriments depuis leur usage agricole jusqu'à leur transfert par l'eau à l'exutoire du bassin, une analyse du transfert de plusieurs métaux lourds le long des versants, ainsi qu'une étude du transfert des pesticides et de leurs résidus des sols vers les eaux. Les travaux présentés ici ne concerneront que les nutriments (azote et phosphore)

L'objectif de cette expérimentation était, après un diagnostic, de proposer les modifications de pratiques les plus pertinentes techniquement pour réduire les pollutions d'origine agricole, d'estimer leur efficacité sur l'amélioration de la qualité de l'eau et leurs conséquences sur les exploitations agricoles, puis de tester en grandeur réelle quelques modifications.

Nous présenterons rapidement les travaux entrepris au cours des années 1994 à 1996. Nous décrirons ensuite les flux de nutriments sur le bassin, sans entrer dans le détail des modèles ayant permis cette description. Les modifications de

Nadine Turpin,
Fayçal Bouraoui,
Cemagref Rennes,
17, avenue de
Cucillé, CS 64424
35044 Rennes
cedex
Michel Tranvoiz
EDE Finistère
5 allée Sully, 29000
Quimper

pratiques possibles, en l'état actuel des connaissances, seront hiérarchisées en fonction de ce diagnostic. Les premiers résultats seront enfin discutés.

Matériels et méthodes

■ *Le site d'étude : un petit bassin agricole*

Le bassin du Kerouallon est situé à 30 km de Brest, en Zone d'Excédent Structurel, sur les communes de Loc-Eguiner et Ploudiry. C'est un sous bassin de l'Elorn, qui alimente la ville de Brest en eau potable. Le bassin couvre une superficie de 6 km² et repose sur un socle constitué de schistes et quartzites, formation relativement imperméable. Les sols sont peu épais, les pentes fortes pour la région. Le climat est océanique, humide et doux : les précipitations sur le bassin ont été de 1.672, 1.477 et 1.010 mm en 1994, 95, et 96 respectivement, les températures moyennes relevées à la station de la météorologie nationale la plus proche de 10,5, 12,5 et 11°C respectivement. Un descriptif plus détaillé des caractéristiques de ce bassin a été présenté précédemment (Turpin et al., 1995).

Sur le bassin, les productions animales dominant : lait, porcs et bovins viande sont les principales productions. Les cultures, prairies, maïs et céréales, sont surtout destinées à l'alimentation du bétail.

■ *Des travaux intégrant les agriculteurs, des mesures, des modèles*

Le bassin du Kerouallon a été choisi fin 1992, par la profession agricole, parmi sept bassins présélectionnés par le Cemagref sur leurs caractéristiques physiques et la densité de leurs élevages. Les 19 agriculteurs du bassin ne sont pas volontaires, il leur a été demandé de coopérer, sans contrepartie financière, une fois le bassin choisi. Les agriculteurs ont signé une convention de coopération et de mise à disposition de données avec la Communauté Urbaine de Brest (CUB), maître d'œuvre du projet. Un élu de la CUB les a rencontrés individuellement pour leur présenter les objectifs de l'étude et signer avec eux la convention de coopération. Les équipes intervenant se sont engagées à ne faire travailler sur le terrain que des agents permanents pour éviter aux agriculteurs de perdre du temps en

donnant la même information à plusieurs personnes. La base de données a été centralisée au Cemagref, qui a mis à disposition des différents partenaires les informations dont ils avaient besoin. Un grand soin a été apporté au traitement des données de façon à ne faire apparaître aucune donnée individuelle.

L'année 1994 a été consacrée à l'équipement du site, avec la mise en place d'un seuil jaugé, de pluviomètres, de limnigraphes, d'un préleveur automatique et d'une centrale d'acquisition de données (Cann, 1997). Un diagnostic rapide des émissions de nutriments a été mené sur enquête auprès des exploitants ; il a été immédiatement suivi par la mise en place d'un enregistrement de leurs pratiques par les agriculteurs, et plusieurs relevés de terrain (pédologie, sols, haies, fossés). Plusieurs campagnes d'analyses ont permis d'acquérir des informations sur la composition des effluents d'élevage et des récoltes, les rendements par parcelle, sur la texture et la richesse en éléments nutritifs des sols. Tous les résultats de mesure ont été remis aux agriculteurs, c'est la seule contrepartie qu'ils ont reçue en échange de leur participation. L'ensemble des données est géré par un système d'information géographique (Launay, 1997).

L'année 1995 a permis la réalisation d'un diagnostic de risques de pollution de l'eau par les nutriments, en se basant sur les pratiques agricoles, des mesures dans les sols, et plusieurs modèles décrits par ailleurs (Bordenave, 1997 ; Cann, 1997). Enfin, en fonction de ce diagnostic, quelques modifications de pratiques ont été initiées en 1996, par des conseils aux agriculteurs. Leurs premières conséquences sur les exploitations et les risques de pollution ont été analysées.

■ *Une approche pluridisciplinaire*

L'approche retenue pour établir un diagnostic de risques de pollution par les nutriments sur ce bassin d'élevage intensif a mobilisé les compétences conjointes d'équipes de recherche et de développement, et a favorisé une approche pluridisciplinaire, incluant :

- zootechnie, avec l'utilisation d'un logiciel mis au point à Rennes, DIALSTO, qui estime les rejets des porcs en fonction de leur alimentation et de leur conduite d'élevage (Bordenave et Orain, 1997). Les travaux de l'INRA ont été utilisés pour

Zone en Excédent Structurel ou ZES :
Il s'agit des zones agricoles ou les apports d'azote d'origine animale dépassent 170 kg par hectare sur le canton

1. Il s'agit ici d'un excès agronomique, égal aux apports moins les prélèvements des plantes

estimer les rejets de bovins en fonction de leur alimentation (Gueguen, 1992 ; Peyraud, 1995), puis un modèle a été retenu pour estimer les flux de nutriments sous les prairies pâturées (Scholefield, 1991).

- agronomie pour estimer les flux de nutriments sous les parcelles cultivées en fonction de l'itinéraire technique indiqué par l'agriculteur (COMIFER, 1996 ; Bordenave et Orain, 1997).
- modélisation spatiale avec le couplage des modèles agronomiques et d'un système d'information géographique (Launay, 1997).
- hydrologie pour l'estimation des flux de nutriments dans l'eau (Cann, 1997).

L'ensemble des mesures réalisées et des modèles utilisés a été décrit par ailleurs (Bordenave et Orain, 1997 ; Cann, 1997 ; Turpin *et al*, 1997).

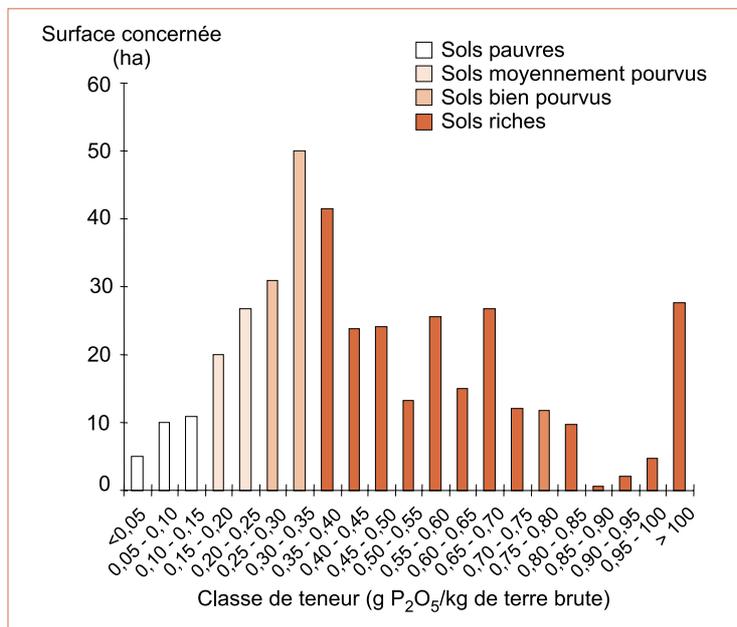
Résultats

Les flux dans l'eau de l'azote et du phosphore sont estimés par mesure en continu des débits et l'analyse de prélèvements en crue et hors crue (Cann, 1997).

Flux de phosphore à l'exutoire et richesse des sols

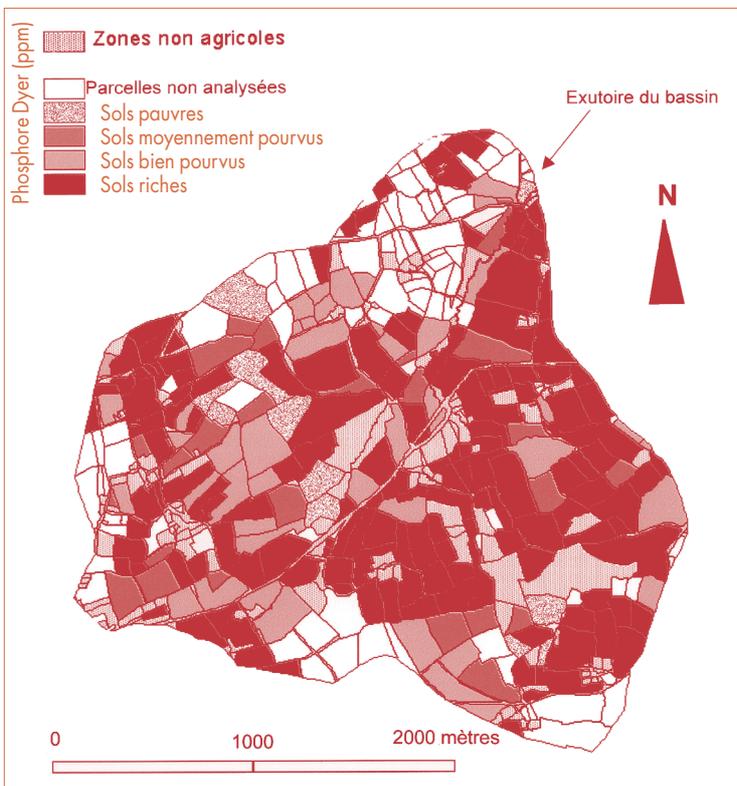
Les quantités de phosphore transitant dans l'eau à l'exutoire du bassin (754 et 761 kg de phosphore total en 1994 et 1995 respectivement) représentent moins de 4 % des excès¹ de phosphore apportés aux sols du bassin chaque année (cet excédent est supérieur à 20 tonnes de phosphore). On remarque de plus une teneur très importante en phosphore des horizons superficiels des parcelles du bassin (Figure 1). La grande variabilité des teneurs en phosphore des parcelles sur le bassin (Figure 2) est liée aux pratiques sur plusieurs dizaines d'années. La Figure 2 représente les teneurs en phosphore disponible pour les plantes. Il n'y a pas de correspondance exacte entre le phosphore total (celui qui peut ruisseler) et le phosphore assimilable (celui disponible pour les plantes), ainsi que décrit dans la Figure 3.

L'application au bassin du Kerouallon d'un modèle mis au point sur un autre bassin de même taille situé dans le Morbihan (le Naizin) a confirmé que les flux de phosphore à l'exutoire du bassin étaient essentiellement liés aux phéno-



▲ Fig 1.- Teneur en phosphore des sols sur 250 parcelles analysées sur le Kerouallon (80% de la SAU)

▼ Fig 2.- Répartition spatiale de la teneur en phosphore disponible pour les plantes sur le bassin de Kerouallon



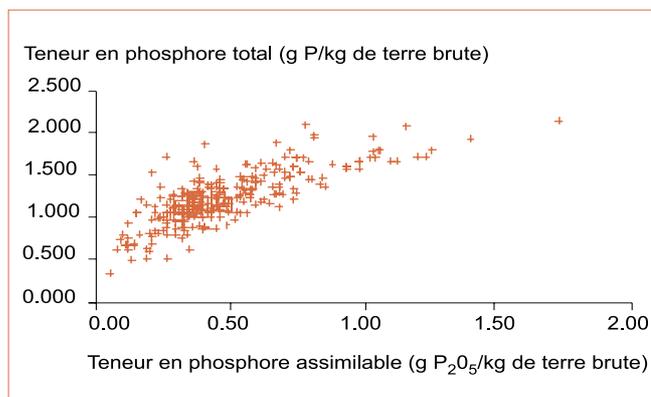


Fig 3.- Teneur en phosphore total et assimilable de l'horizon superficiel de 250 parcelles sur le Kerouallon

2. les apports d'azote d'origine organique dépassent la norme européenne pour les zones vulnérables de 170 kg N/ha

3. les apports d'azote organique dépassent largement les besoins des plantes

mènes d'érosion (Cann, 1990). Une tentative de détermination de zones contributives a été tentée, avec en entrée les teneurs en phosphore total des parcelles. Cette détermination n'a pas donné de résultats significatifs, en partie parce que les matières en suspension contenant bien plus de phosphore (teneur moyenne de 7,5 g P/kg) que les sols du bassin (qui ont une teneur moyenne de 1,2 g P/kg terre). Il y a vraisemblablement un enrichissement en particules fines au cours du transfert, comme ce qui a été montré sur de nombreux autres bassins (Sharpley, 1995).

■ Flux d'azote

La Figure 4 décrit les flux annuels moyens d'azote sur le bassin du Kerouallon, sur la période 1994 à 1996. Ces flux sont ramenés par hectare de SAU, pour une comparaison plus simple avec d'autres bassins versants. Mesurer toutes les contributions de tous les phénomènes impliqués sur l'ensemble du bassin versant étant pratiquement impossible, une partie des flux a été estimée à l'aide de modèles. Ainsi, la minéralisation a été estimée par le modèle de Hénin (COMIFER, 1996), l'organisation sous prairie par celui de Scholefield (1991), la volatilisation et la dénitrification par les abaques bretonnes de fertilisation raisonnée, de même que les coefficients d'effet direct et d'arrière-effet pour les effluents d'élevage. Par contre, les autres flux ont été estimés d'après les itinéraires techniques notés par les agriculteurs et leur données de gestion d'élevages (Bordenave, et Orain 1997 ; Turpin *et al*, 1997).

Une vérification intermédiaire a été effectuée :

sur les 250 parcelles suivies, le reliquat d'azote en début de période de drainage a été estimé de la façon décrite ci-dessus, et comparé au reliquats mesurés, en 1994 et 1995. Cette comparaison montre que la précision des données recueillies auprès des agriculteurs est fondamentale pour pouvoir estimer de façon satisfaisante les flux sous chaque parcelle : lorsque les données sont fiables, ou qu'elles ont été corrigées par retour chez l'agriculteur, un modèle de flux annuels permet d'estimer le reliquat azoté en début de période de drainage avec une précision du même ordre de grandeur que la précision de mesure dans 80 % des cas (Tricot, 1997). Les parcelles correspondant aux 20 % restant sont toutes des parcelles de très faible profondeur où vraisemblablement un début de lixiviation a déjà eu lieu au moment de la mesure. Par contre, si une donnée est manquante, la probabilité de ne pas décrire correctement le reliquat mesuré est de 65 %.

La comparaison des flux au niveau du sol met en évidence que :

- le bassin est bien en excédent structurel² ;
- il est en excédent agronomique³ ;
- les flux d'azote minéral mis en jeu une année donnée (100 à 300 kg/ha pour chaque flux) sont très faibles devant le stock d'azote organique du sol (de l'ordre de la tonne) ;
- le turn-over d'azote minéral dans le sol mobilise des flux d'azote d'importance comparable à ceux générés par les pratiques agricoles. Par contre, les agriculteurs n'ont que peu de prise sur les flux du sol ;
- les flux d'azote potentiellement polluants sur ce bassin (112 kg d'azote par lixiviation, plus 7 kg par rejets directs) sont du même ordre de grandeur que les flux mesurés à l'exutoire du bassin versant (76 kg N/ha SAU). Ce fait est capital, car le bassin sur lequel nous avons travaillé est soumis à un climat très humide, qui permet une lixiviation très importante de l'azote présent dans le profil en début d'hiver (Launay, 1997). Ce cas est typique du Finistère (Simon, 1995), mais n'est pas extrapolable en l'état à d'autres régions bretonnes.

Il est important de pouvoir évaluer les flux à l'intérieur du compartiment sol. Si l'on se

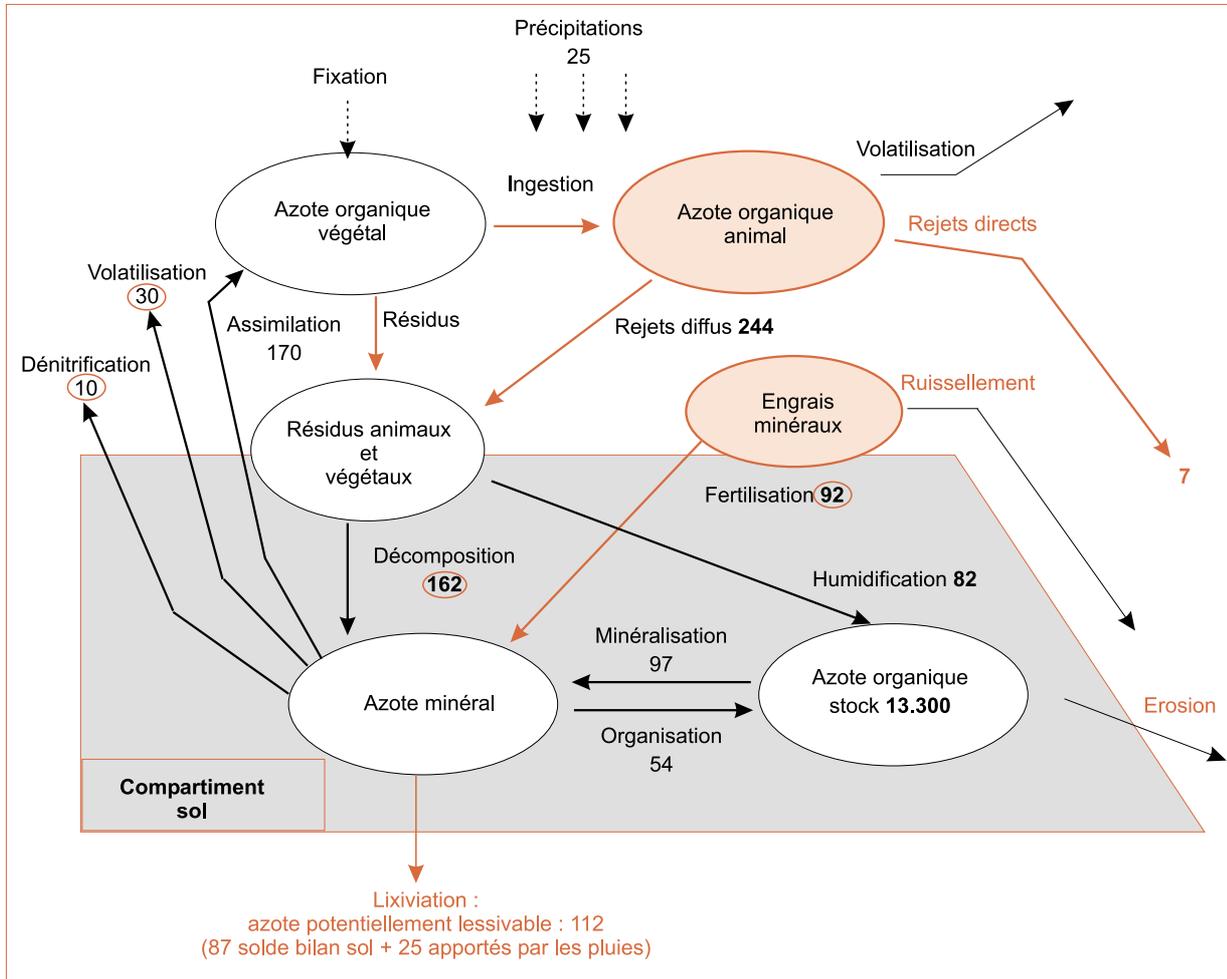


Fig . 4 : Flux moyens d'azote sur le bassin de Kerouallon en kg N/ha de SAU pour les années 1994, 1995 et 1996

contente d'un bilan d'apports à la surface du sol, on s'aperçoit que les flux dans l'eau (76kg/ha) représentent moins de la moitié du solde du bilan correspondant aux apports sous forme de rejet diffus (244 kg/ha) et d'engrais minéraux (92 kg/ha) et aux pertes sous forme d'exportation par les plantes (170kg/ha). Ce résultat est cohérent avec ce qui a pu être observé sur d'autres bassins bretons, sur schistes et avec élevage intensif (Cann, 1993).

Par ailleurs, il faut noter que si les ateliers bovins produisent en lait et viande seulement 13 % des nutriments sortant du bassin dans les

productions animales, ils ont en fait une influence beaucoup plus importante sur le bassin :

- près de 80 % de l'azote exporté par les plantes est destiné à leur alimentation,
- leurs effluents représentent 30 % des apports d'azote d'origine animale sur les parcelles, et la plus grande partie de ces apports ne sont pas maîtrisables par les agriculteurs (émissions au pâturage),
- la moitié des rejets directs est due aux bovins,
- les prairies, qui occupent sur le bassin 46 % de la SAU, utilisent 56 % des apports d'engrais azoté.

4. Certaines prairies sont manifestement surfertilisées (apports supérieurs à 600 kg N/ha), et présentent un rendement très faible (4 à 5 tonnes de matières sèches à l'hectare). Un amendement calcaire permettrait de redresser leur pH, et d'améliorer nettement leur rendement.

Cette constatation a une conséquence pratique immédiate : un gestionnaire désirant limiter la pollution sur un bassin versant semblable à celui du Kerouallon cherchera à inciter les élevages hors sols à limiter les flux de nutriments transitants dans leurs ateliers animaux, et les élevages bovins à mieux raisonner leurs pratiques sur leur sole fourragère.

■ **Les connaissances techniques actuelles permettent de proposer des modifications efficaces**

Partant du diagnostic réalisé sur le bassin, des propositions ont été élaborées : elles sont décrites en détail dans un papier précédent (Turpin et al., 1996). Les modifications sont envisagées à court et à moyen terme.

Des modifications à relativement court terme (deux à trois ans)

Ces modifications ne comportent qu'une amélioration de la gestion technique dans les exploitations, notamment par le respect des préconisations proposées par les conseillers de la Chambre d'agriculture du Finistère :

- **une amélioration de l'alimentation** des animaux, et de la gestion des ateliers animaux, pour diminuer leurs rejets, aussi bien pour les porcs que les bovins. Ces modifications peuvent réduire les rejets des porcs de 9 % pour l'azote et 17 % pour le phosphore (Tableau 1). Pour les bovins, il est possible d'obtenir une réduction des rejets de 16 et 12 % pour N et P respectivement (Turpin et al., 1996) en limitant la supplémentation lors du pâturage au printemps et en adaptant les rations aux besoins réels des animaux en été.

- **une amélioration du rendement des prairies** par une gestion plus adaptée⁴. Cette amélioration permettrait d'augmenter les exportations par les plantes. Elle complète une limitation de la fertilisation des prairies.

- **l'application d'une fertilisation raisonnée** telle qu'elle est actuellement préconisée par les organismes de conseil, pour obtenir une meilleure répartition des lisiers entre la culture de maïs et celle de céréales, voire une fertilisation des prairies par des lisiers, mais sans modifier les échanges actuels entre les exploitants. Il serait ainsi possible de diminuer de près de la moitié les engrais minéraux apportés sur les sols du bassin.

Il faut noter que l'application conjointe de toutes ces modifications permettrait presque de réduire l'excès d'azote apporté au sol sur le bassin (Figure 5), sans même avoir à réduire l'excédent structural.

Bien que la fertilisation soit la modification qui peut apporter la réduction de flux la plus importante, elle est aussi, parmi les trois modifications décrites ici, la plus difficile à mettre en œuvre par les agriculteurs. En effet, elle nécessite souvent une substitution, au sein d'une même exploitation, des engrais organiques aux engrais minéraux, ce qui impose de déplacer le travail correspondant de périodes « creuses » à des périodes de pointes de travail et peut provoquer des concurrences en temps de travail entre différentes tâches toutes aussi importantes les unes que les autres. Sur le Kerouallon, bassin très arrosé où les périodes d'accès aux parcelles sont relativement courtes au printemps, des concurrences fortes entre la gestion des effluents et les travaux des cultures ont été décelées dans plus des deux tiers des exploitations ayant des bovins.

Tableau 1. Evaluation coûts/avantages de modification de conduite alimentaire des ateliers porcs en engraissement (adapté d'après Turpin, 1997)

Actions	Réduction d'excrétion azotée sur le bassin	Coûts / économies apportés par les actions mises en place (F/exploitation)	
		Contexte de protéines chères	Contexte de protéines bon marché
Réduction de l'indice de consommation	3,3 tonnes	économies : 47 000 F	économies : 44 000 F
Amélioration de l'alimentation biphase existante	0,5 tonnes	surcoûts : 18 000 F	surcoûts : 55 000 F
Passage de tous les élevages à une alimentation biphase	2,5 tonnes	économies : 200 F	surcoûts : 2 000 F

Des modifications à moyen terme

Ces modifications impliquent soit des investissements de la part des agriculteurs, soit des modifications importantes de leur utilisation du territoire. Elles sont de ce fait plus longues à mettre en œuvre. Elles comprennent :

- **Le traitement des effluents des exploitations excédentaires**, pour respecter la directive européenne de 170 kg N organique par hectare. Le traitement est en partie pris en charge dans le premier programme d'action de la directive nitrates (programme signé en juillet 1996).
- **L'amélioration des matériels de stockage** pour supprimer les rejets directs.
- **Une meilleure répartition des lisiers** entre producteurs (éleveurs de porcs) et récepteurs potentiels (éleveurs de bovins), pour diminuer les apports d'engrais minéraux sur les prairies. Cette répartition devrait permettre une diminution importante des entrées d'engrais minéraux (un tiers des engrais minéraux actuellement apportés), mais nécessite une négociation entre les agriculteurs, qui peut prendre du temps, ainsi qu'une augmentation des capacités de stockage des exploitations.
- **L'amélioration des rotations** pour tenter de diminuer les arrière-effets des engrais organiques et des retournements de prairies dans les flux globaux. Cette modification peut avoir un effet très aléatoire, même à moyen terme.

Si les modifications à court terme peuvent permettre aux agriculteurs de gagner de l'argent (meilleure rentabilité de leurs ateliers animaux, économies d'engrais), celles envisagées à moyen terme sont toutes soit onéreuses soit difficiles à mettre en œuvre car elles nécessitent une négociation entre agriculteurs.

Théoriquement, il est donc possible de réduire les excès d'apports d'azote aux parcelles d'un bassin versant, même si celui-ci est consacré à un élevage intensif. Il est même techniquement possible d'aller plus loin : le cumul des modifications à moyen terme (*Figure 5*) autorise des apports inférieurs aux exportations et stockages cumulés, ce qui permettrait un déstockage de l'azote du sol. **Il faut cependant noter que dans les flux mis en jeu, les phénomènes de stockage temporaire (humification de la fraction non directement**

minéralisable des engrais organiques, organisation sous prairie), ont été estimés à près de 40 % des «exports». Ils peuvent avoir un effet retard très important, qui risque de masquer l'impact de modifications de pratiques. Or les modèles actuels décrivent ces phénomènes de façon encore très imprécise, et il est difficile de conseiller les agriculteurs pour améliorer la gestion de ces phénomènes.

Pour le phosphore, un aménagement physique du bassin (reconstruction de talus perpendiculaires à la pente, de zones de ralentissement des écoulements superficiels, stabilisation des berges et fonds de ruisseaux) est une piste prometteuse, à court terme, compte tenu de la teneur actuelle en phosphore de nombreuses parcelles : une action sur les pratiques agricoles ne peut être envisagée que sur du très long terme pour limiter les apports aux sols qui sont déjà très riches (Cann, 1990).

■ Certaines modifications ont un effet immédiat sur l'azote

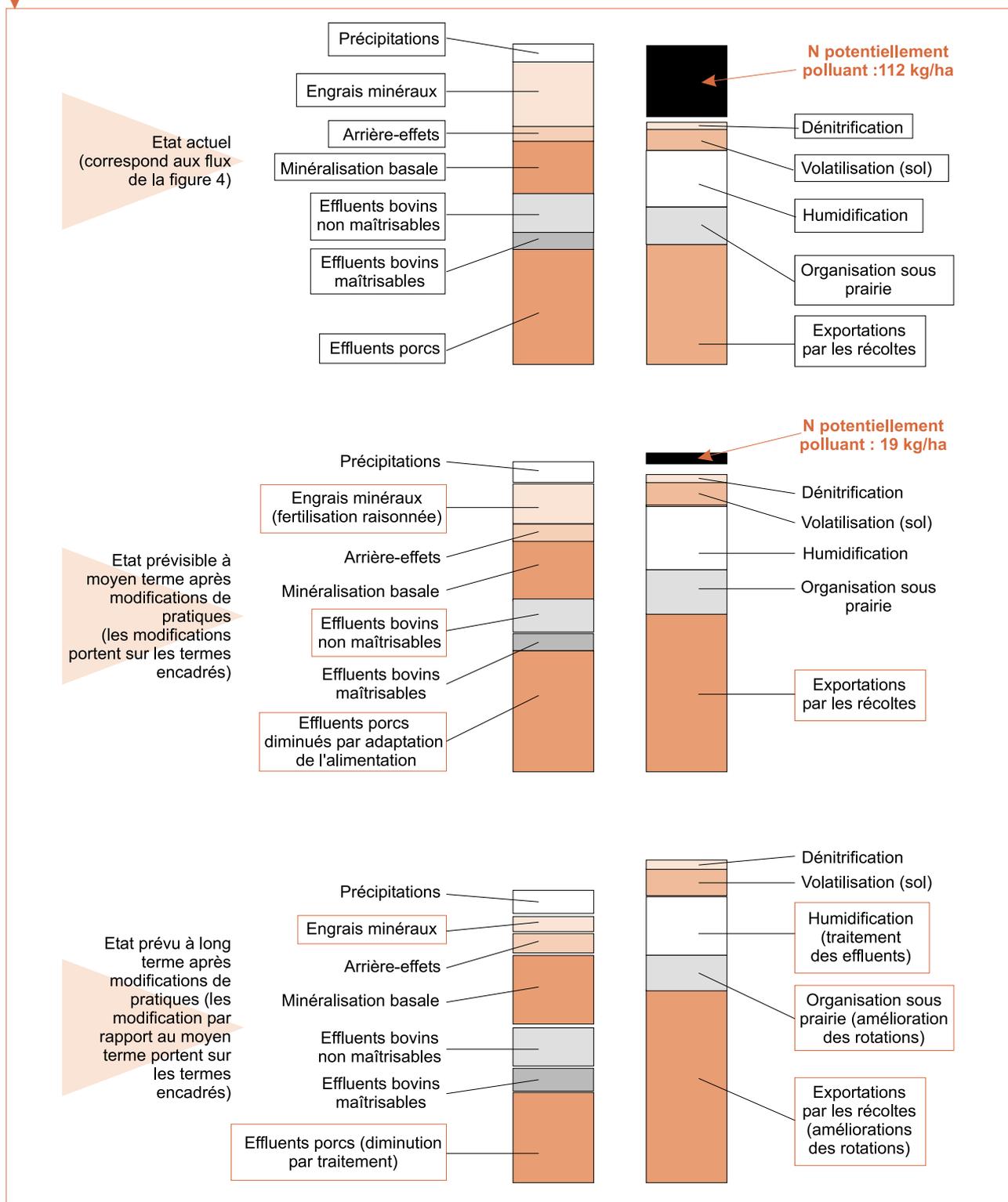
Les travaux sur le Kerouallon devaient déboucher sur la mise en place de modifications de pratiques par les agriculteurs du bassin, après négociation avec la Communauté Urbaine de Brest, maître d'œuvre du projet. En l'attente de la signature des programmes d'action de la directive «nitrates»⁵, seuls des conseils sur des modifications à court terme ont été apportés. Suite à ces conseils, certains agriculteurs ont commencé à modifier leurs pratiques : au printemps, la complémentation azotée des animaux a été diminuée, des engrais organiques ont été substitués aux engrais minéraux. Malheureusement, ces agriculteurs n'exploitaient qu'une surface réduite sur le bassin (27 % de la surface totale en prairie) : l'impact sur le bassin est resté assez discret (de l'ordre de 20 kg N par hectare de prairie).

Par contre, si l'on compare les reliquats en azote minéral à l'automne sur ces prairies aux reliquats mesurés sur des prairies exploitées par des agriculteurs n'ayant pas modifié leurs pratiques, on observe une amélioration des reliquats sur les premières parcelles et une nette tendance à la dégradation sur les secondes (*Figures 6 et 7*).

Par contre, conformément à ce qui était attendu, l'application d'une fertilisation raisonnée sur cultures annuelles n'a pas eu d'effet

5. Ce programme d'action, signé en été 1996, a notamment fixé les modalités d'aide aux agriculteurs pour le traitement des effluents d'élevage.

Fig 5.- Effets prévus à moyen et long terme de modifications de pratiques sur le bassin de Kerouallon (flux kg N/ha SAU)



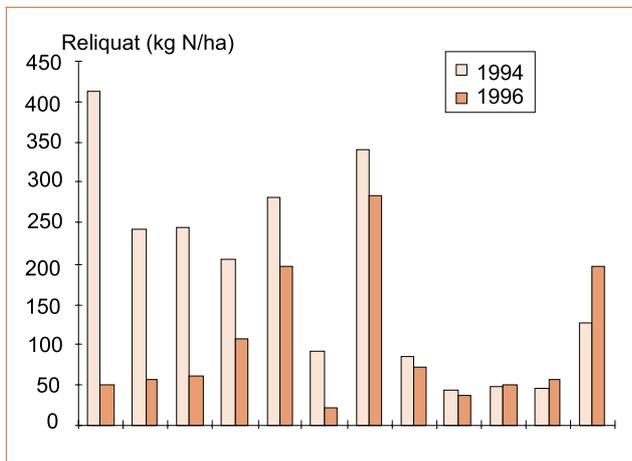
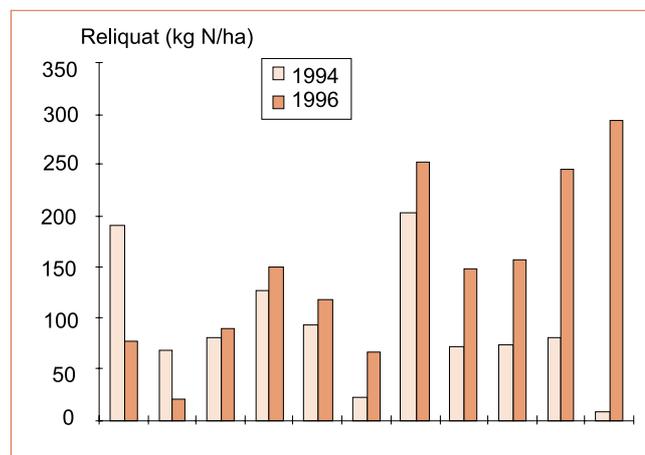


Fig 7.- Comparaison des reliquats mesurés à l'automne 94 et 96 sur les prairies des exploitations ayant amorcé des modifications

Fig 6.- Comparaison des reliquats mesurés à l'automne 94 et 96 sur les prairies des exploitations ayant amorcé des modifications



significatif sur les reliquats mesurés à l'automne :

- sur maïs, les arrière-effets des apports des années antérieures étant supérieurs aux besoins des plantes, un fort reliquat subsiste même avec un apport très faible d'engrais ;
- sur céréales, la fertilisation raisonnée ne permet pas de diminuer le pic de minéralisation automnale, très important sur les parcelles du bassin.

Les conséquences économiques prévisibles varient d'une exploitation à l'autre

La diminution des rejets des bovins peut être réalisée en deux étapes : simple réduction des apports de concentrés au pâturage (*Etape 1*), puis modification plus importante avec augmentation des durées de pâturage, réduction de la surface consacrée au maïs et diminution du chargement global (*Etape 2*). L'impact sur le bassin et la marge brute dégagée par chaque atelier bovin a été simulé par programmation linéaire. Les exploitations qui actuellement complètent peu leurs animaux et ont un assolement avec beaucoup de maïs voient leur marge diminuer dans l'*Etape 2*.

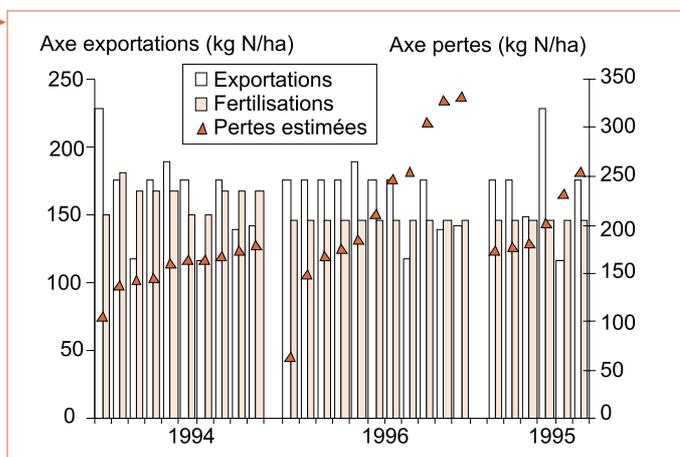
Des réductions de flux importantes, avec amélioration de la marge brute sont possibles pour deux exploitations seulement.

Pour les ateliers porcs, le contexte de prix des protéines joue un rôle important sur l'impact économique des modifications proposées (*Tableau 1*), les agriculteurs alimentant leurs animaux avec des aliments relativement riches en protéines lorsque ceux-ci sont peu chers par rapport aux céréales et assimilés.

Enfin pour la conduite des parcelles, il faut remarquer la très grande variabilité des itinéraires techniques, même au sein d'une exploitation. En conséquence, une modification de pratique peut permettre des économies à un agriculteur sur certaines parcelles et pas sur d'autres. D'une exploitation à l'autre, la variabilité est encore plus grande.

La *Figure 8* donne comme illustration de ce phénomène la variabilité des fertilisations, des rendements et des pertes d'azote estimées par lixiviation sur une culture de maïs, pour toutes les parcelles d'une même exploitation, en 1994, 1995 et 1996. Cet exemple illustre bien les imprécisions que l'on peut introduire en

Fig 8.- Fertilisations, exportations par les cultures et pertes estimées (kg N/ha) sur les parcelles d'une même exploitation implantées en maïs



travaillant avec des moyennes sur des exploitations en lieu et place des parcelles. Cette constatation a été faite par de nombreux autres auteurs (Benoit, 1994).

Les conséquences individuelles de l'adoption de modifications de pratiques ont été estimées, d'une part par la Chambre d'agriculture du Finistère qui a évalué le coût de la mise aux normes après réalisation d'un DEXEL⁶ dans chaque élevage, d'autre part par l'équipe du Cemagref qui a intégré différents scénarios de modifications exploitation par exploitation. Sur le bassin, il a ainsi été estimé que l'application des programmes d'action et de résorption coûtera environ 145 F/kg d'azote évité (3 MF pour 20.600 kg d'azote évités), alors que des conseils aux agriculteurs de fertilisation raisonnée à court terme n'auront un coût que de 37 F/kg d'azote évité (750 kF pour 20.000 kg N évités).

IV. Conclusion

Il existe plusieurs gammes de solutions techniques qui permettent, même en l'état actuel des connaissances, le maintien d'une agriculture

performante et intensive, avec l'amélioration de la qualité des eaux. Certaines solutions sont relativement aisées à mettre en œuvre, parce que les conseillers agricoles y sont habitués, parce qu'elles permettent aux agriculteurs d'améliorer à la fois la rentabilité de leur exploitation et la qualité de l'eau. D'autres, qui nécessitent des investissements importants ou des négociations entre agriculteurs, sont beaucoup plus lourdes à envisager.

Par contre, il ne faut pas attendre de résultats à très court terme dans l'eau, même si des diminutions de nitrates peuvent être mises en évidence dans les sols, compte tenu du temps de latence des hydrosystèmes.

Les connaissances actuelles permettent une évaluation à pas de temps annuel des flux d'azote et de phosphore. Selon les objectifs de départ, une modélisation à pas de temps plus court peut être nécessaire, notamment si l'on s'intéresse à ne pas dépasser une certaine concentration en nitrates des eaux brutes destinées à être rendues potables. Dans ce cas, l'utilisation de modèles couplant hydrologie, agronomie et fonctionnement du sol semble une voie de recherche très prometteuse ■

Les auteurs remercient les agriculteurs du bassin du Kerouallon pour leur accueil au long des trois années d'expérimentation, ainsi que les ingénieurs et techniciens de la Chambre d'agriculture du Finistère et du Cemagref de Rennes pour leur appui lors de recueil des données.

Résumé

Un programme de recherche, pluridisciplinaire sur 3 ans, soutenu par l'Union européenne dans le cadre des expériences pilote Life, a permis de poser les bases scientifiques du contrat de baie «Rade de Brest». La partie agricole de ce programme a été confiée au Cemagref de Rennes et à l'INRA. Les investigations ont été concentrées sur un petit bassin, le Kerouallon (6 km²), consacré à un élevage très intensif, et situé en Zone d'Excédents Structurels (ZES). Un suivi des pratiques dans les ateliers d'élevage et sur 250 parcelles pendant deux ans, complété par des analyses (azote, phosphore, pesticides et métaux lourds) dans les produits agricoles, les sols et les eaux a permis un diagnostic de la pollution diffuse d'origine agricole, à la fois à l'échelle du bassin, de chaque exploitation, et des parcelles agricoles. Il a ensuite été proposé aux agriculteurs des modifications de leurs pratiques adaptées aux problèmes environnementaux et économiquement viables. Ces modifications sont hiérarchisées : réduction des inefficacités techniques des exploitants, puis introduction de nouvelles pratiques telles que modification de l'alimentation des animaux, adaptation de la gestion des effluents aux rotations, adoption de rotations moins risquées, et enfin adaptation de l'aménagement du territoire pour épurer les flux résiduels.

Abstract

A 3-year multidisciplinary research programme, supported by the EU as part of its «Life » pilot experimental scheme, has enabled the scientific bases of the Brest Harbour contract to be established. The agricultural aspects of this programme were undertaken jointly by Cemagref Rennes and the INRA. Investigations concentrated on a 6 sq. km watershed known as the Kerouallon Basin. This watershed, which is given over to very intensive livestock farming, is situated in a Manure Surplus Area. Farming practice across 250 parcels was closely observed over a two-year period. The presence of nitrogen, phosphorus, pesticide and heavy metal in agricultural products, the ground and the water were analysed. This enabled us to establish a diagnosis of agricultural pollution at parcel, farm and basin levels. Proposals were then made to the farmers concerning economically-viable alterations to their farming practice to take into account environmental problems. A bottom-up approach was adopted – firstly, reduction of inefficient techniques currently used by the farmers, secondly, introduction of modern practice regarding animal feeds, effluent management, crop rotation rationalization and lower-risk rotations, finally, land development for depolluting the residual waste flow.

Bibliographie

BENOIT, M., 1994, Risques de pollution des eaux sous prairie et sous culture. Influence des pratiques d'apport d'engrais de ferme. *Fourrages*. 140, p. 407-420.

BORDENAVE, P., ORAIN, B., 1997, La diversité des pratiques agricoles : évaluation de leur impact sur le flux de nutriments azote et phosphore à l'échelle d'un bassin versant, *2ème colloque international de recherche sur les sous-produits de traitement et d'épuration des fluides : nuisances agricoles, constat et solutions*, Rennes, 31 p.

CANN, C., 1990, *Transfert du phosphore d'une zone d'élevage intensif vers les eaux.*, Cemagref Rennes, 87 pages

CANN, C., 1993, Les facteurs du transfert des nitrates vers l'eau et leur mode d'action. *Journal européen d'Hydrologie*, 25 (2), p. 153-167.

- CANN, C., 1995, La Rade de Brest. *EAT - Ingénieries. numéro hors série 1995*, p. 133.
- CANN, C., 1997, *Flux de nutriments d'origine agricole vers la Rade - expérience pilote sur le bassin versant du Kerouallon, affluent de l'Elorn*, Cemagref, 63 p.
- COMIFER, 1996, *Calcul de la fertilisation azotée des cultures annuelles*. Paris, COMIFER. 59 p.
- GUEGUEN, L., LAMAND, M., MESCHY, F., 1992, *Nutrition minérale. Alimentation des bovins, ovins et caprins*. INRA, Paris, p. 95-111.
- LAUNAY, M., 1997, *La pollution agricole diffuse par l'azote sur le bassin versant de l'Elorn : diagnostic de risque par agrégation de données à différentes échelles*, Thèse de Géographie, Université de Rennes, 2 327p.
- PEYRAUD, J. L., VÉRITÉ, R., DELABY, L., 1995, Rejets azotés chez la vache laitière : effet du type d'alimentation et du niveau de production des animaux, *Fourrages*, 142, p. 131-144.
- SCHOLEFIELD, D., LOCKYER, D. R., WHITEHEAD, D. C., et al., 1991, A model to predict transformations and losses of nitrogen in UK pastures grazed by beef cattle, *Plant and Soil*, 132, p. 165-177.
- SHARPLEY, A. N., 1995, Soil phosphorus dynamics: Agronomic and environmental impacts. *Ecological Engineering*, 5 (2-3), p. 261-279.
- SIMON, J. C., 1995, Lessivage de l'azote nitrique et des cations accompagnateurs. Une situation de référence: le climat atlantique très pluvieux; quelques éléments de comparaison avec les autres situations françaises. *Comptes rendus de l'académie d'agriculture de France*, 81 (4), p. 55-70.
- TRICOT, G., 1997, *Modifications de pratiques sur trois exploitations types du bassin versant de Kerouallon : bilan*, Cemagref, 20 p.
- TURPIN, N., CANN, C., TRANVOIZ, M., et al., 1996, *Expérience pilote de Landivisiau - rapport final à l'Union Européenne dans le cadre des expériences pilotes Life visant à restaurer la qualité des eaux de la Rade de Brest*, Cemagref Rennes - INRA Rennes - EDE Finistère, 35 p.
- TURPIN, N., TRANVOIZ, M., BILLANT, R., et al., 1995, Un système agraire et ses conséquences environnementales : premiers résultats, *Ingénieries - EAT. spécial Rade de Brest* (décembre 1995), p. 13-20.