

Journée d'étude 'Fonctionnement du traitement des eaux usées,
en cas de fortes variations de débit'
Comité belge de l'International Association on Water Quality
Palais des Congrès , Liège, le 31-05-95

ETUDE DU TRANSFERT D'EAU ET D'AZOTE DANS LES SOLS D'UN
MICROBASSIN AGRICOLE (EXPOSE)

Bernard TYCHON
Fondation Universitaire Luxembourgeoise
185, Avenue de Longwy
B-6700 Arlon
Belgique

1. INTRODUCTION

L'augmentation constante de la teneur en nitrates des eaux souterraines est un problème qui devient préoccupant pour l'ensemble de l'Europe. De plus en plus de recherches sont entreprises afin d'étudier les causes de ce phénomène, d'en appréhender les processus et d'en limiter les conséquences par des mesures appropriées.

Les causes d'enrichissement en nitrates des eaux souterraines sont de mieux en mieux connues. Elles sont quasi toutes liées aux activités humaines. Parmi elles, les engrais minéraux et les déjections animales sont le plus souvent évoqués. Mais il existe encore bien d'autres sources de nitrates : effluents industriels, puits perdus, effluents domestiques, apports atmosphériques, minéralisation naturelle de l'azote organique des sols.

La présente étude se limite à la pollution azotée d'origine agricole mais il était bon de rappeler qu'elle était loin d'être la seule responsable de la qualité azotée des eaux de nappes et des eaux de surface.

A la différence des autres sources de pollution anthropique, les pollutions agricoles présentent généralement un caractère diffus. Contrairement aux sources ponctuelles qui sont facilement localisables, les sources diffuses sont réparties sur l'ensemble du territoire. Chaque hectare de sol est susceptible de produire des polluants. L'importance des charges réellement générées par les sources diffuses est cependant très variable en fonction, non seulement de l'intensité des précipitations mais également de nombreux facteurs : type et usage du sol, topographie, densité et proximité du réseau hydrographique, etc. ...

Ainsi, pour un événement pluvieux identique, la charge polluante d'une unité de territoire peut varier tout au long de l'année et d'une année à l'autre.

Prises individuellement, les sources diffuses sont peu dommageables en raison de leurs volumes de polluants peu importants. Leur impact est plutôt cumulatif et provient de l'ajout de l'amont à l'aval des contributions de chacune des sources individuelles. L'effet d'une source diffuse peut donc ne s'exprimer que plusieurs kilomètres en aval du point d'introduction du polluant.

Ce comportement insidieux de même que l'intermittence spatiale et temporelle de ces sources expliquent qu'on en ait longtemps sous-estimé l'importance.

L'étude de la pollution diffuse doit aider à fournir aux décideurs des outils d'aide à la décision qui permettront de prévoir l'effet d'activités agricoles sur les pertes azotées par lessivage. Ces décideurs sont d'abord les agriculteurs qui doivent pouvoir adapter au mieux leurs pratiques agricoles en fonction des besoins des cultures et des contextes pédoclimatiques. Mais ce sont aussi les pouvoirs publics qui, par des prises de décisions bien étayées et justifiées partiellement par les outils d'aide à la décision appropriés peuvent entraîner des changements positifs dans les manières de pratiquer des agriculteurs.

Pour aider à mettre au point cet outil d'aide à la décision, nous proposons d'étudier un cas réel d'apport azoté agricole dans les nappes. *Il fallait vérifier qu'il était possible d'estimer l'évolution de la concentration azotée à l'exutoire de la zone suivie si on connaissait les pratiques agricoles en surface.* Voilà l'objectif clairement posé. Notre travail a donc consisté à suivre le transfert réel des nitrates à l'intérieur de sols agricoles occupés par diverses cultures, dans différents contextes pédoclimatiques, cela jusqu'à la nappe sous-jacente et vers les eaux de surface.

2. LE SYSTEME ETUDIE

Un bassin versant de 32 ha entièrement agricole a été choisi comme site d'expérimentation. Il est situé dans le sud de la Belgique. Il se trouve dans la région gaumaise de la Lorraine belge et plus précisément dans la commune d'Etalle, ancienne commune de Vance. Il est drainé par un affluent de la Semois, le Ruisseau de la Fontaine. Géologiquement, le terrain est occupé par des sables et grès du Sinémurien épais de quelques mètres qui reposent sur des marnes hettangiennes qui constituent le mur de la nappe. Régulièrement, au-dessus du sable sinémurien, nous retrouvons un limon hétérogène du quaternaire de quelques mètres d'épaisseur.

La zone étudiée est soumise à une agriculture traditionnelle peu intensive de type mixte (polyculture-élevage). Prairie pâturée et prairie fauchée se partagent la surface agricole avec une série de cultures. Les cultures principales sont les cultures céréalières : froment, orge, avoine, épeautre. On y trouve aussi du maïs et des pommes de terre qui servent de tête de rotation.

Cette zone a été choisie en raison de la superficie importante occupée par les terres labourées et de l'absence de pollution domestique et industrielle. Il n'y a donc qu'une seule source de pollution possible, celle provenant de la pollution agricole diffuse. Le choix a également été justifié par la faible profondeur de la nappe (3-4 m). Cela signifie que la réponse à une application azotée en surface pourra être observée à la source dans un délai assez court (2 à 3 ans) (Debbaut et al., 1991).

3. QUELLE METHODE PROPOSONS-NOUS POUR L'ETUDE DU TRANSFERT DE L'AZOTE DANS UN MICRO-BASSIN AGRICOLE ?

Dans un milieu naturel, une première contrainte est la non-reproductibilité des conditions expérimentales. Il n'est pas possible de répéter des expériences de façon systématique comme au laboratoire. Les événements sont définis par les conditions météorologiques qu'il

n'est pas possible de prévoir et encore moins de contrôler. Les expériences de terrains sont en outre soumises à une série de facteurs impondérables qui peuvent venir perturber complètement les observations. Enfin, par manque de moyens, les observations de l'environnement ne concernent qu'une partie du système. On mesurera la température de l'air en un seul endroit du bassin alors qu'elle sera légèrement différente à quelques centaines de mètres de là. On ne suivra la variation de hauteur de nappe qu'en quelques points alors qu'il faudrait la connaître en tous les points, etc...

Le scientifique est mal armé pour expliquer le fonctionnement d'un système aussi mal connu. Pourtant une réponse précise est attendue voire exigée par la société qui considère qu'il s'agit là d'un problème crucial. Le chercheur doit alors se débrouiller avec les moyens dont il dispose et, avec le maximum de rigueur possible, tenter de répondre à la question et proposer des solutions, quitte à être approximatif dans certaines parties de son approche. Le temps des moyens illimités pour l'étude des problèmes en Sciences de l'Environnement n'a jamais existé et n'existera jamais. Qui plus est, le problème est extrêmement complexe et nécessite des compétences dans plusieurs disciplines. Les problèmes environnementaux sont, par essence, l'amalgame de nombreux sous-problèmes nécessitant une démarche multidisciplinaire. L'agronome seul ne pourra pas proposer une bonne solution au problème posé s'il n'est pas épaulé par un hydrogéologue ou même un sociologue, un chimiste, un biologiste, un économiste, ... Cette approche pluridisciplinaire est une démarche originale, délicate à plus d'un point de vue mais certainement très prometteuse dans la résolution des problèmes environnementaux. C'est l'approche prônée par la FUL depuis sa création.

Le principe de base

L'approche que nous avons adoptée s'appuie sur un principe de base fondamental, celui de la conservation de la matière, que ce soit l'eau ou l'azote.

Le principe de base est extrêmement simple. Toute la difficulté de la méthode réside dans l'estimation précise de l'ensemble des flux régissant l'évolution de la masse de matière dans chacun des éléments qui constituent le système, i.e., les couches de sol ou les mailles de la nappe.

L'association d'observations et de mesures de différents types à un modèle de simulation simple ou complexe va constituer l'outil d'investigation et de contrôle principal du problème.

Les trois règles

Le besoin d'une estimation précise des flux de matières nous a amenés à proposer trois règles qu'il va nous falloir tenter de respecter durant tout le processus d'expérimentation.

1. Etablir un protocole d'expérimentation qui permette de suivre et de contrôler les flux d'eau et d'azote à différents niveaux (3 niveaux): en surface, dans le sol et dans la nappe. Utiliser les résultats d'un niveau pour vérifier les suivants.
2. Essayer de donner aux observations le même degré de précision à toutes les étapes de la démarche en sachant très bien qu'elles sont, dès le départ, difficilement

comparables. Quel est l'intérêt de calculer l'évapotranspiration à 2 % près si l'étude des flux d'eau dans le sol est précise à 50 % ?

Pourquoi s'obnubiler sur le prélèvement d'azote par la plante alors que l'estimation de la dénitrification est grossière par manque de paramètres de contrôle sur le terrain ?

3. Travailler sur une superficie qui permette à la fois un contrôle global et un suivi en un nombre suffisant de points pour décrire les principales caractéristiques du bassin. Cette mésoéchelle présente l'avantage de donner des explications sur l'origine et la nature du flux global du bassin, car le comportement de chaque zone est connu. Inversement, elle permet aussi le contrôle des flux hydriques et azotés ponctuels car le flux global représente l'intégration de tous les flux ponctuels du site.

Les Mesures

Les mesures de terrain constituent un des aspects essentiels de ce travail. Nous y avons consacré énormément de temps et d'argent. Elles sont complétées par des observations plus fines réalisées en laboratoire et par une série d'observations fournissant des renseignements plus qualitatifs. En voici une liste non exhaustive.

- Enquêtes auprès des agriculteurs concernant leurs pratiques agricoles;
- Mesures des débits d'eau en 5 endroits du bassin;
- Mesures de la tension hydrique et de la teneur en eau du sol dans 5 parcelles;
- Mesures de la hauteur de nappe de 18 piézomètres;
- Mesures des paramètres météorologiques;
- Mesures des caractéristiques hydrodynamiques des sols;
- Mesures de la concentration azotée de l'eau du ruisseau et de l'eau du sol dans 5 parcelles;
- Mesures de la teneur en azote des sols du bassin à différentes périodes;
- ...

Toutes les mesures ont un double rôle. Dans un premier, elles servent à observer les processus régissant les transformations et transfert de matière. Elles fournissent la valeur de paramètres lorsque les processus sont intégrés dans des modèles de simulation.

Dans une étape ultérieure, une fois la valeur des paramètres connue, les mesures peuvent servir au contrôle du modèle (validation) calibré sur les observations d'un épisode précédent.

Les modèles

A côté des mesures, le modèle a un rôle fondamental. Il permet de vérifier le respect du principe de la conservation de la matière. C'est par lui que l'on peut connaître les flux d'eau et d'azote qui vont se déplacer de couche en couche, de maille en maille. Il assiste l'expérimentateur et l'aide à résoudre de manière rapide, facile et sûre, une série d'équations répétitives fixées par l'utilisateur décrivant les interrelations entre les différents compartiments du modèle.

Ce modèle peut avoir plusieurs niveaux de complexité. Nous allons d'abord traiter les résultats suivant un modèle extrêmement simple (balance et bilan hydrique en surface) et, ensuite, avec un autre beaucoup plus complexe mécaniste et déterministe. Il s'agira du modèle (SOIL-SOILN développé par le département des Sciences du Sol de l'Université d'UPSSALA en Suède) auquel nous avons greffé un modèle de nappe décrivant le mouvement d'eau et d'azote dans la partie saturée du bassin.

Dans les deux cas, il a d'abord fallu établir les flux d'eau dans les sols avant d'estimer les flux azotés. Cela impliquait la connaissance du bilan hydrique annuel ou journalier, suivant la complexité du modèle. Une très grande attention a été accordée à l'estimation des différents paramètres de ce bilan hydrique en particulier dans le cas du modèle plus complexe, conscients que la précision d'estimation de flux azotés dépend largement de celle des flux d'eau qui entraînent l'azote à travers le bassin. Cette partie du travail ne sera cependant pas décrite ici pour mieux s'attarder sur les flux azotés.

4. RESULTATS ET COMMENTAIRES

Méthode simple ou balance

La méthode permet d'établir un bilan à l'échelle du bassin. La zone étudiée présente un bilan équilibré en surface en 1988 et en 1990 (4 et 9 kg de N/ha en surplus). En 1989, la superficie plus importante de terres à maïs (4.6 ha au lieu de 1.8 et 1.04) multiplie par 5 à 10 la quantité d'azote minéral ou minéralisable en excès restant sur le site (45 kg N/ha). Si l'on considère que tout l'azote en surplus dans le bilan va être lessivé, (ce qui peut être accepté en première approximation) pour un drainage moyen de 534 mm par an, la concentration de l'eau qui va arriver à la nappe sera de 0.7, 7.5 et 1.5 mg N/l respectivement pour 1988, 1989 et 1990.

Malgré l'imprécision de la méthode, cette approche permet déjà de montrer que les conditions d'exploitation du bassin ne peuvent pas générer de pollution azotée importante. Une analyse culture par culture fait en outre apparaître clairement que ce sont celles qui servent de têtes de rotation qui présentent le bilan le plus déséquilibré et excédentaire. Sur celles-ci, rappelons-le, les agriculteurs déversent environ 50 T de fumier par hectare auxquels ils rajoutent une quantité d'engrais chimique variant de 100 à 200 kg N/ha. Ce seraient ces seules cultures qui poseraient des problèmes de lessivage azoté, les autres cultures n'étant pas sources de polluant pour le site.

Ces conclusions seront confirmées par la seconde approche, beaucoup plus complexe. Nous pouvons par conséquent affirmer que la majorité des gros problèmes de pollution agricole pourrait être résolue par cette méthode simple. Elle constitue un excellent outil pour les pouvoirs publics désireux d'assurer et de maintenir un niveau de qualité à l'espace rural.

Toutefois, la précision de la méthode sera d'abord dépendante de la validité des hypothèses de départ qui spécifient l'égalité entre les processus de minéralisation et d'humification. Elle sera également liée au volume et à la qualité des informations décrivant les flux hydriques et azotés à la surface du sol. Il paraît en tout cas peu raisonnable d'imaginer pouvoir faire des prévisions d'impact de pratiques agricoles sans passer par une enquête locale et un

minimum d'observations et de contrôle de terrain. Ceux-ci devraient durer au moins un cycle de rotation.

Méthode complexe: Modèle SOILN

Dans le modèle SOILN, le pas de temps utilisé est le pas de temps journalier. L'approche est beaucoup plus fine, beaucoup plus proche de la réalité. Elle est aussi beaucoup plus complexe en raison des nombreuses relations imbriquées et interrelations entre les différents pools du système simulé. Les entrées et les sorties du système sol sont les mêmes que dans le modèle balance mais ici, il faut connaître leurs valeurs journalières.

SOILN propose, en plus, des descriptions mathématiques de processus de transformation et de transfert de l'azote dans les différentes couches du sol i.e. les processus de minéralisation, humification, dénitrification, réorganisation, lessivage...

Ce modèle très complexe nécessite l'ajustement d'un grand nombre de paramètres et c'est là, un problème majeur pour ce type d'approche. Si certains paramètres sont mesurés ou déduits de mesures sur le site et que d'autres sont obtenus de manière fiable à partir de documents bibliographiques, il est évident qu'une incertitude plane sur un certain nombre d'entre eux. Dans ce cas, on utilise des techniques d'ajustement qui fourniront une estimation des paramètres. Ainsi, par exemple, la valeur du paramètre de profondeur de prélèvement azoté radicaire a été obtenue par l'ajustement entre des mesures effectuées à 5 profondeurs et le modèle décrivant l'évolution de la teneur en azote minéral à chacune des profondeurs.

Dans la figure 1a, nous comparons l'évolution de la concentration en azote nitrique prélevée par une bougie poreuse (□) à 45 cm de profondeur à une simulation de l'évolution de la concentration en azote nitrique dans les couches 30-45 cm (trait continu et tiret) et 45-60 cm obtenus par le logiciel SOILN. Il est possible d'y observer sur ce schéma, l'alternance saisons sèches et chaudes - saisons humides et froides, l'effet de fumure différente sur la concentration de l'eau du sol. Mais la concordance entre la mesure et les 2 simulations est loin d'être parfaite. Si les amplitudes sont plus ou moins respectées (idéalement la mesure devrait se situer entre la simulation de la couche 30-45 et celle de 45-60) nous observons surtout un problème de déphasage. Le lessivage azoté simulé est beaucoup trop rapide par rapport aux observations. Le modèle piston utilisé par SOILN pour expliquer le mouvement de l'azote (l'azote se déplace à la même vitesse que l'eau) ne convient pas à une description des mouvements azotés dans un sol bien structuré comme le sont les limons sableux. Par contre, il a donné des résultats très satisfaisants sur sable limoneux qui présentait une structure mal développée. Il s'agit du premier problème important que nous avons rencontré dans la méthodologie.

Ce constat a amené à proposer une modification au modèle qui puisse atténuer le déphasage entre modèle et mesure tout en conservant le principe de la conservation de la matière au bas du profil de 150 cm.

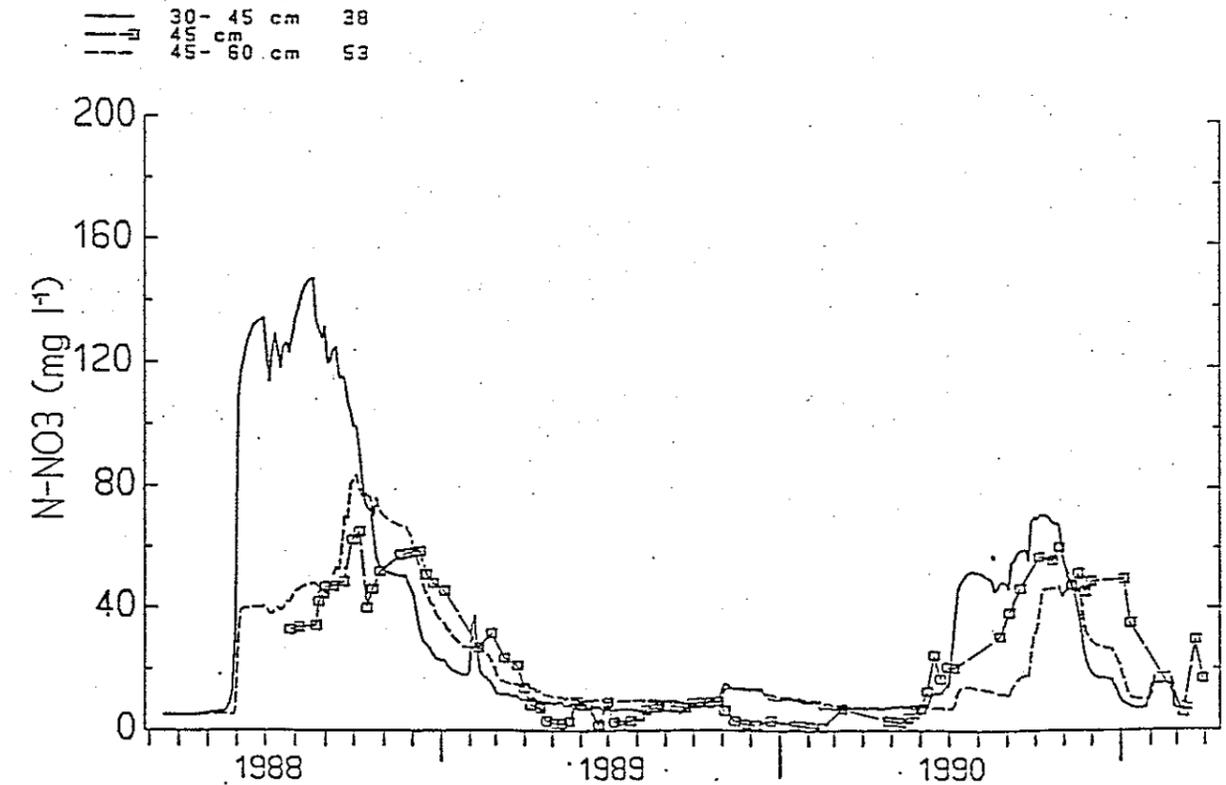
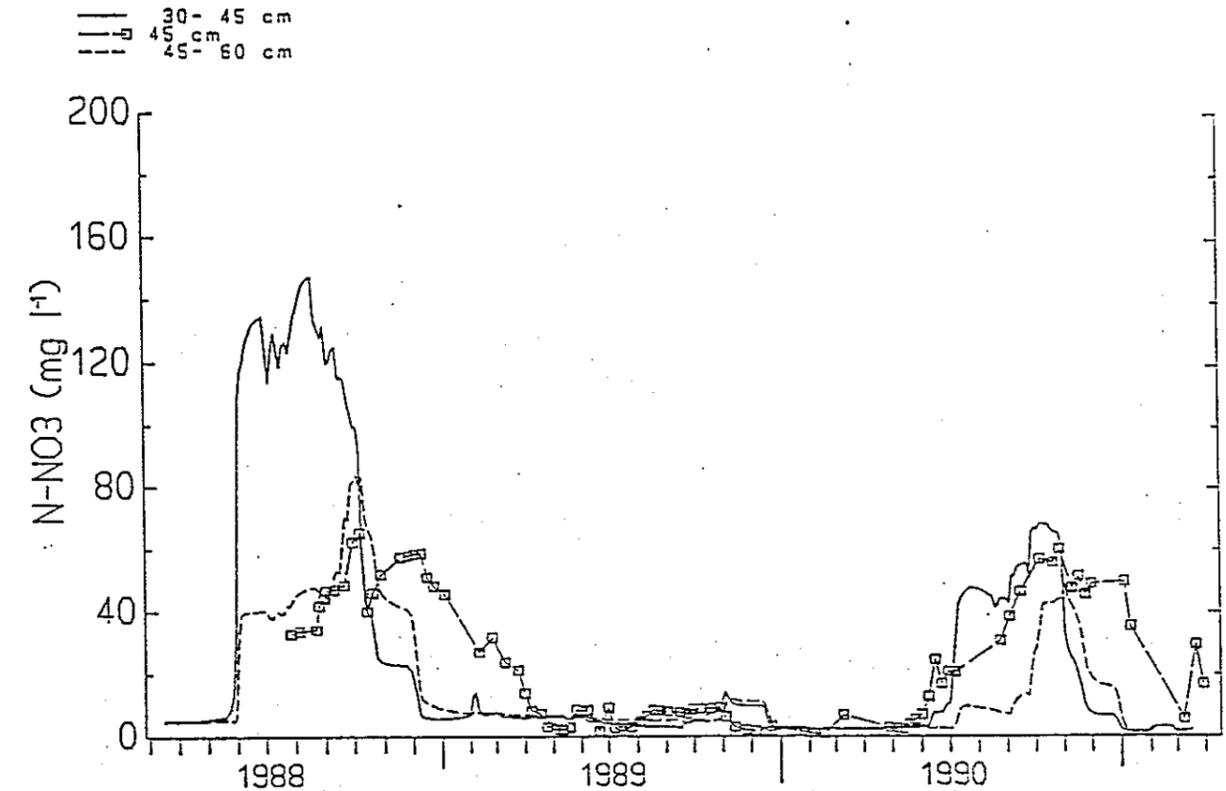


Figure 1a et b: Simulation du flux d'azote à travers un limon sableux à 45 cm de profondeur

Le modèle SOILN modifié (figure 1b) permet une atténuation substantielle du déphasage, surtout en 88, moins en 90. Nous avons considéré à partir de là que le modèle décrivait les observations de manière satisfaisante ! La même démarche avec SOILN a ensuite été utilisée pour modéliser les flux azotés de chacune des parcelles agricoles du bassin de manière à avoir un flux azoté simulé au bas de chaque parcelle.

Pour contrôler ces flux au bas de chaque parcelle, nous disposons en plus d'un dernier contrôle, global celui-là, parce que nous suivons le débit et la concentration de l'eau à la source du Ruisseau de la Fontaine qui est, dans notre cas particulier également l'exutoire du bassin hydrogéologique. Il doit permettre de vérifier que les flux azotés quittant le bas des profils de chaque parcelle, suivant les résultats fournis par le logiciel SOILN, peuvent expliquer l'évolution des flux azotés à la source (du bassin hydrogéologique).

Lorsque les flux azotés au bas du profil sont connus, nous pouvons passer à la partie saturée du sol (qui constitue la nappe du bassin hydrogéologique). La nappe est décrite par un modèle maillé (13 mailles), où chaque maille représente une parcelle.

Le mouvement d'eau entre les mailles, et donc celui de l'azote (l'azote est emporté par le flux d'eau), est régi par un gradient de charge entre les mailles. En plus des flux latéraux entrant d'une maille et partant vers une autre, chaque maille est alimentée par des flux verticaux d'eau et d'azote provenant de l'apport de la zone insaturée de chaque parcelle. Il s'agit des flux calculés précédemment par SOIL et SOILN au bas de la zone insaturée. Enfin, le flux d'eau quittant la dernière maille simule le débit à la source.

Avant d'analyser les résultats obtenus, il faut signaler le second gros problème sur lequel nous sommes tombés lors de l'application de la méthodologie : Nous avons eu d'énormes difficultés pour estimer non seulement la taille mais surtout la position et la forme du bassin hydrogéologique. Nos observations de terrain, le comportement particulier de piézomètres à certains endroits du bassin nous ont néanmoins permis de fixer un emplacement et une forme acceptable.

Connaissant le bassin hydrogéologique, il a alors été possible de simuler les flux d'eau et les flux d'azote à la source du bassin. La figure 2 présente le débit à la source mesuré et simulé par le modèle de nappe depuis le 01/01/1989 au 01/06/1991. Les courbes de débit à la source sont décrites de manière satisfaisante par le modèle. Cela signifie que globalement, l'hydrologie et l'hydrogéologie du bassin ont été bien comprises.

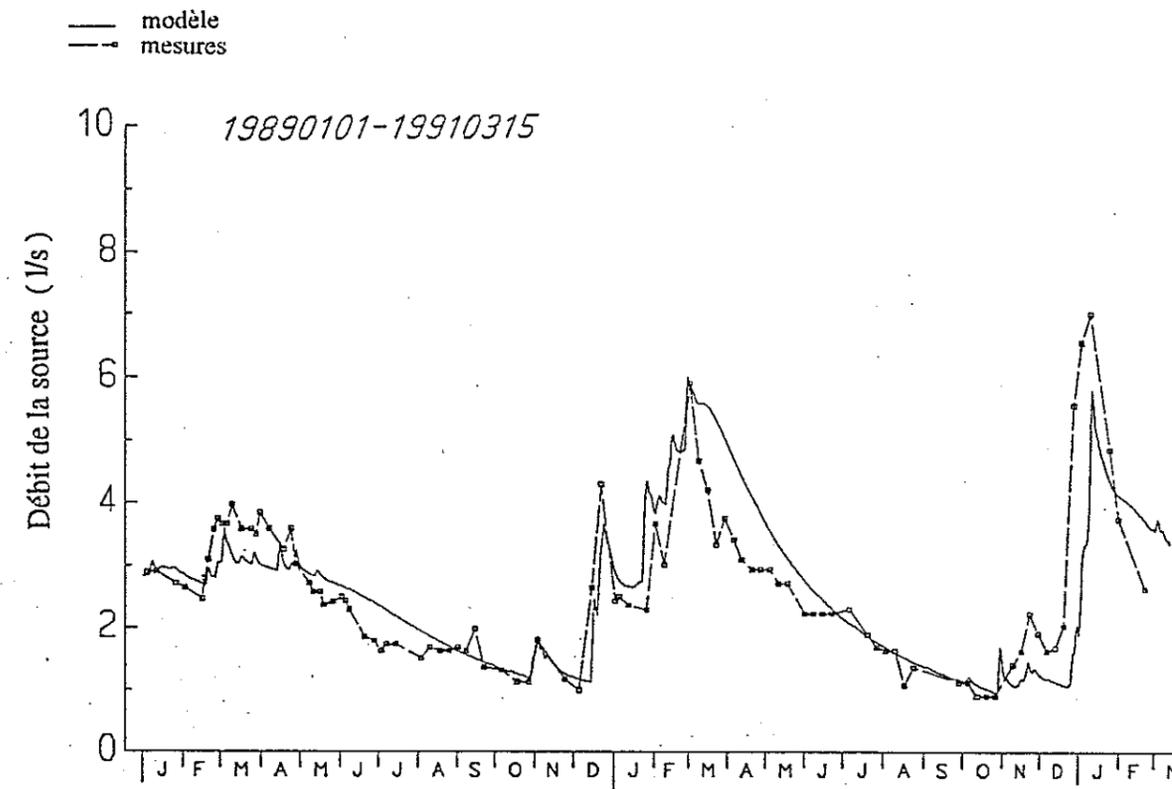


Figure 2: Modèle et mesures décrivant le débit à la source

Les résultats de la partie azote du modèle sont présentés sur la figure 3. L'évolution simulée de la concentration à la source suit d'assez près les observations. Les remontées de concentration ont lieu au moment précis où elles sont observées en 1990 et 1991. On remarque aussi que les changements de concentration sont plus faibles que ceux mesurés. En particulier, ceux correspondant aux premières pluies importantes après une longue période chaude et sèche sont très mal modélisés (décembre 1989 et novembre 1990).

Comment expliquer de tels pics de concentration ?

Pour expliquer ces pics il faut la présence de deux facteurs simultanés. D'abord, il faut avoir dans les sols une quantité importante d'azote minéral. Les fins de saisons sèches et chaudes sans végétation sont des conditions idéales pour permettre à l'azote organique du sol de se minéraliser en masse. Il faut ensuite obligatoirement un mouvement d'eau. L'azote est entraîné vers le bas par l'eau mais nous expliquons davantage ce phénomène par une remontée de nappe dans les premiers horizons fortement chargés en azote nitrique dans les zones à nappe superficielle. Celle-ci va littéralement nettoyer l'horizon de tout son azote minéral, d'où les pics de concentration.

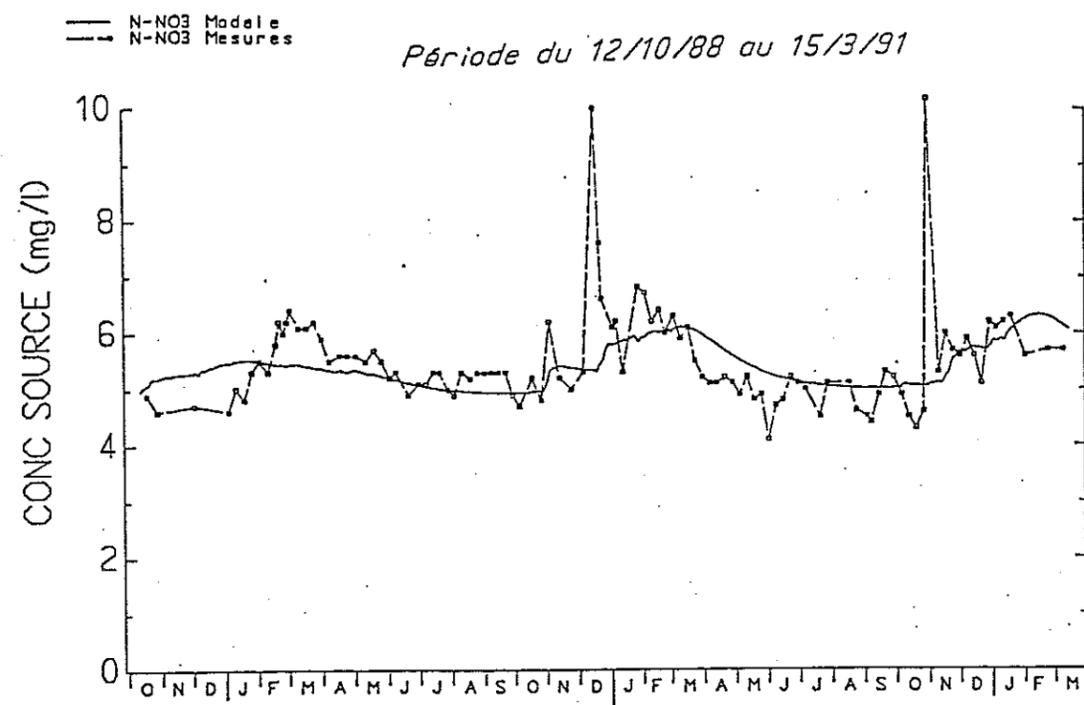


Figure 3: Comparaison des mesures et du modèle décrivant la concentration en N-NO₃ à la source

Le flux cumulé d'azote modélisé sur trois années n'est que de 10 % supérieur à celui mesuré (figure 4). Il faut en conclure que l'hydrologie et l'hydrogéologie du bassin ont été correctement décrites, que les flux azotés dérivant de la zone insaturée sont tout à fait cohérents et ne sont pas modifiés de manière sensible au cours de leur transfert; que les termes les plus influents du bilan azoté ont été pris en compte (pas de dénitrification dans la nappe).

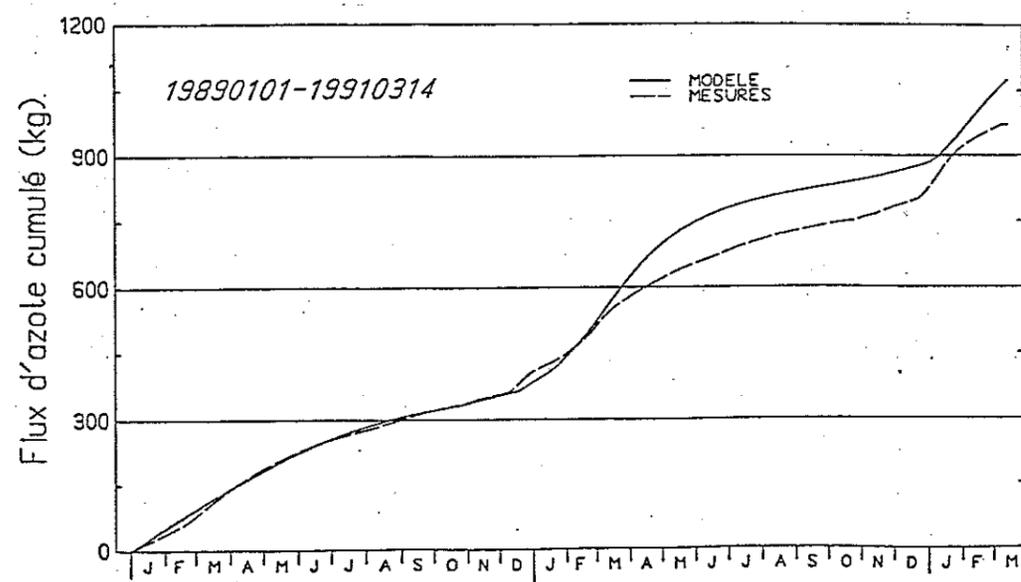


Figure 4: Flux d'azote cumulé, mesuré et modélisé à la source pendant la période du 1/1/89 au 14/3/91

Il est donc possible, à partir des observations réalisées et par la simple méthode présentée ici (contrôle à différents niveaux, suivi à deux échelles), d'avoir des informations suffisantes sur les principaux paramètres qui interviennent dans les transferts azotés à l'intérieur du bassin du Ruisseau de la Fontaine.

5. CONCLUSIONS

L'objectif de la thèse était de vérifier qu'il était possible de connaître la qualité de l'eau de nappe d'un bassin si l'on connaissait les pratiques culturales en surface.

Notre réponse est nuancée mais elle est plutôt positive que négative.

Dans le cas du modèle de la balance azotée, les situations de déséquilibre azoté manifeste, pourront être repérées. Si la balance est effectuée parcelle par parcelle, il est possible de se faire une idée correcte lorsque la collecte d'informations est faite de manière scientifique et sur une période suffisamment longue (3 à 6 ans). J'ai cependant encore certains doutes sur la méthode à cause de cette importante hypothèse d'égalité entre les flux de minéralisation et d'humification qui permet à ces deux processus de s'annuler. Cela nécessiterait des recherches supplémentaires.

Dans le cas où cela pourrait être accepté (ce l'est pour beaucoup de chercheurs), nous disposerions d'un outil remarquable pour les pouvoirs publics car applicable sur de très grandes zones.

La réponse est également affirmative dans le second modèle puisque nous sommes arrivés à retrouver en valeur cumulée seulement 10 % de plus que ce que les mesures ont fourni. Le lien entre pratiques culturales et qualité des eaux est clairement établi. Il a pu être vérifié parce que notre protocole d'expérimentation prévoyait un certain nombre de contrôles : Des mesures à différents niveaux au cours du suivi ont été effectuées (en surface, dans le sol, dans la nappe, dans le ruisseau). Elles ont permis le recoupement de plusieurs approches et elles nous ont autorisé à poursuivre notre étude du transfert avec assurance. En outre, l'étude réalisée à deux échelles (bassin versant et parcelle) permettait aux observations réalisées à une échelle de vérifier l'autre et vice-versa.

Devant la complexité, les décideurs ont souvent tendance à contourner, voire ignorer les problèmes. Le rôle du scientifique est d'arriver à convaincre le décideur qu'il est possible de maîtriser une certaine complexité dans certaines conditions et ainsi de l'aider à prendre des décisions responsables.

6. PERSPECTIVES

La suite de la thèse consistera tout naturellement à s'interroger sur les possibilités d'exportations de la méthode sur d'autres sites, en particulier des sites de tailles différentes.

Nous ne sommes pas en mesure de répondre avec certitude à cette question mais nous pouvons émettre quelques considérations issues de l'expérience acquise.

D'abord, rappelons que les points faibles de la méthode (que ce soit l'estimation de l'évapotranspiration réelle, de la délimitation du bassin hydrogéologique ou de la compréhension du mécanisme de déplacement du nitrate dans les sols structurés non saturés, etc.) évoqués plus haut demeurent et vont devoir faire l'objet d'un maximum d'attention et d'imagination pour altérer le moins possible la précision de toute la démarche.

Ensuite, dans une étude à plus grande échelle, une réduction de la densité d'observation par unité de surface est inévitable. Cela signifie qu'il faudra retrouver, dans la multitude de paramètres du modèle, ceux qui vont avoir le plus d'impact sur les résultats finaux proposés par la méthode.

Il faudra en outre veiller à obtenir un niveau de précision comparable pour l'ensemble des paramètres.

C'est à partir de cette réflexion que l'on pourra choisir les mesures et observations de terrain vraiment indispensables. Certaines seront faciles à obtenir, d'autres beaucoup moins. Dans tous les cas, le degré de difficulté dépendra de la nature et de la complexité du système étudié. Il sera différent pour chaque site.

C'est également ce type de réflexion qui va mener à une distinction entre les modèles purement agricoles chargés de retrouver les différents termes d'un bilan azoté limité à la profondeur racinaire des cultures (en particulier le terme "prélèvement de N par la plante") et les modèles exprimant des problèmes environnementaux comme celui qui vient d'être étudié.

Selon le décideur (agriculteur ou pouvoir public) et la taille des espaces concernés, l'outil d'investigation, le modèle d'approche sera différent.

Les problèmes environnementaux se situent à une échelle plus globale. Ils sont posés pour des systèmes plus vastes et, par conséquent, plus complexes (bassin versant plutôt que parcelle, profil sur toute son épaisseur plutôt que sur les premiers horizons, multidisciplinaires plutôt qu'agronomiques) et ils ne peuvent, pour cette raison, avoir la même précision que les modèles agricoles.

A l'avenir, d'autres méthodes et appareils de mesure pourront sans doute améliorer la qualité de l'approche d'un problème aussi fondamental que celui du maintien de la qualité des eaux souterraines. Mais la précision obtenue ici est déjà suffisante pour répondre à la question initiale de l'influence de l'agriculture sur la qualité des eaux de nappe et permet certainement de proposer dès aujourd'hui une série de conseils agricoles.