



**HAL**  
open science

## Qualité des eaux en bassins forestiers d'alimentation.

Marc Benoît, Gersende Fizaine

► **To cite this version:**

Marc Benoît, Gersende Fizaine. Qualité des eaux en bassins forestiers d'alimentation.. Revue forestière française, 1999, 51 (2), pp.162-172. <10.4267/2042/5428>. <hal-03443634>

**HAL Id: hal-03443634**

**<https://hal.science/hal-03443634v1>**

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

---

# QUALITÉ DES EAUX EN BASSINS FORESTIERS D'ALIMENTATION

M. BENOÎT - Gersende FIZAINÉ

Les ressources en eau sont l'objet d'une attention renouvelée (Hénin *et al.*, 1980). L'élaboration de leur qualité s'établit dans un territoire spécifique, le bassin hydrologique. Ce bassin peut être "versant" dans le cas des milieux peu perméables induisant une circulation superficielle des eaux infiltrées dans les sols, ou "d'alimentation" dans le cas des milieux perméables créant des ressources en eaux souterraines.

La qualité des ressources en eau dépend des activités humaines dans le territoire des bassins hydrologiques et s'améliore notamment avec le taux de boisement. Pour analyser ce phénomène, nous avons instruit une démarche d'enquêtes, fondée sur des observations *in situ* sur longue période en bassins d'alimentation.

Un premier échantillon de 35 bassins lorrains a permis de relier les teneurs en nitrates aux paramètres des gestions forestières, au sein de bassins entièrement forestiers. Sur ces bassins complètement forestiers sont relevées sur le temps long les qualités d'eau mesurées par les Directions départementales de l'Action sanitaire et sociale (DDASS) de Meurthe-et-Moselle et des Vosges. Un deuxième échantillon de 18 bassins mixtes agricoles et forestiers, suivis par l'équipe INRA de Mirecourt, permet d'évaluer la diminution des risques de pollution nitrique d'origine agricole permise par les couverts forestiers. Nous avons travaillé sur 8 bassins du Haut-Sainthois (Benoît et Muhar, 1993) et les 10 bassins de Vittel (Gaury, 1992). Ces bassins sont suivis depuis 1990.

## QUALITÉ D'EAU NITRIQUE SOUS BASSINS ENTIÈREMENT FORESTIERS ET SOUS BASSINS MIXTES

### Trois types de périmètres d'alimentation

En fonction de l'occupation des sols, des périmètres de protection rapprochée et étendue et des teneurs moyennes en nitrates de l'eau, on distingue trois types de périmètres :

— périmètres de protection entièrement forestiers et dont l'eau est très peu chargée en nitrates (< 10 mg/l) : les teneurs sont très faibles ( $\text{NO}_3^-$  < 7 mg/l) dans 19 périmètres et faibles (7 mg/l <  $\text{NO}_3^-$  < 10 mg/l) dans deux périmètres (groupe 1) ;

## Qualité des eaux en bassins forestiers d'alimentation

— périmètres de protection entièrement forestiers mais dont l'eau est moins pure : dans 4 périmètres entièrement forestiers, la teneur est légèrement supérieure ( $\text{NO}_3^- > 15 \text{ mg/l}$ ) (groupe 2) ;

— périmètres de protection non uniquement forestiers (une partie en zone agricole ou zone urbaine ou...) : nous distinguons deux classes de périmètres mixtes, ceux où la charge en nitrates est très faible, 3 périmètres à moins de 10 mg/l (groupe 3-a) et 13 périmètres où la teneur est plus élevée ( $> 15 \text{ mg/l}$ ) (groupe 3-b).

Ainsi, la grande majorité des périmètres entièrement forestiers produisent une eau très peu chargée en nitrates ( $< 10 \text{ mg/l}$ ), mais quelques-uns présentent une teneur notable ( $> 15 \text{ mg/l}$ ). Dans les périmètres mixtes, les conclusions sont inverses, bien que présentant des teneurs très faibles en nitrates tout en n'étant que partiellement couverts par les forêts.

### Caractéristiques des différents groupes

Ces groupes de périmètres peuvent être caractérisés par la moyenne et l'écart-type des teneurs moyennes en nitrates des différents périmètres les composant :

Tableau I Valeur moyenne, écart-type et intervalle de confiance pour chacun des 4 groupes de bassins d'alimentation identifiés

	Moyenne mg/l [ $\text{NO}_3^-$ ]	Ecart-type mg/l [ $\text{NO}_3^-$ ]	Intervalle de confiance mg/l [ $\text{NO}_3^-$ ]
Groupe 1 .....	4,1	2,8	[1,3;7]
Groupe 2 .....	14,7	1,1	[13,5;15,8]
Groupe 3-a .....	7,0	1,4	[5,6;8,6]
Groupe 3-b .....	23,4	8,8	[14,6;32,3]

Le périmètre M13 (du groupe 2), dont la teneur moyenne en nitrates est très élevée (37,34 mg/l  $\text{NO}_3^-$ ) se révèle être un cas actuellement inexplicable compte tenu des autres valeurs.

### Essai d'explication des différences observées sur les moyennes des groupes

Dans le **groupe 1**, les périmètres de protection sont entièrement forestiers, et fournissent à l'exutoire une eau très peu chargée en nitrates. Cependant, nous distinguons deux populations :

— un sous-groupe "non perturbé" (pas de coupe à blanc connue sur la période étudiée) : il s'agit de 17 périmètres, où la moyenne est de 3,89 mg/l  $\text{NO}_3^-$  ;

— un sous-groupe "coupe à blanc" (une ou plusieurs coupes ont été effectuées sur la période étudiée), la moyenne des teneurs en nitrates s'élève à 6,66 mg/l  $\text{NO}_3^-$ .

Il s'agit de quatre périmètres dont les coupes datent de 1980, 1987, et deux de 1988. L'évolution des teneurs serait intéressante à suivre sur un pas de temps plus long, car une tendance à l'augmentation est encore marquée 10 ans après ces coupes.

Une autre différence dans le groupe non perturbé s'est révélée être le substratum des périmètres concernés. Nous avons scindé ce groupe en deux sous-groupes :

— périmètres du groupe 1 sur **substratum géologique calcaire**, au nombre de sept,

— périmètres du groupe 1 sur **substratum géologique gréseux** (et alluvions anciennes de la Moselle pour le périmètre V6 qui se rattache davantage, du point de vue de la localisation, du climat et des sols, aux périmètres sur grès), au nombre de douze.

Les critères de distinction des deux groupes sont la géologie et le climat (lorrain semi-continentale ou vosgien continental). Si l'on étudie les caractéristiques de ces deux sous-groupes (moyenne et écart-type sur les taux de nitrates), leur distinction se confirme être intéressante :

— sous-groupe "calcaires" :

moyenne = 4,65 mg/l  $\text{NO}_3^-$

écart-type = 3,85 mg/l  $\text{NO}_3^-$

intervalle de confiance : [0,80;8,50] mg/l  $\text{NO}_3^-$ .

Ces valeurs montrent une très forte hétérogénéité et une grande dispersion des valeurs.

— sous-groupe "grès" :

moyenne = 3,51 mg/l  $\text{NO}_3^-$

écart-type = 2,29 mg/l  $\text{NO}_3^-$

intervalle de confiance : [1,22;5,80] mg/l  $\text{NO}_3^-$ .

Outre la moyenne plus faible, on note également une dispersion moindre des valeurs.

Dans le **groupe 2**, les périmètres de protection, bien qu'entièrement forestiers, fournissent à l'exutoire une eau nettement moins pure (pour le taux de nitrates) que ceux du groupe 1. On peut essayer d'en expliquer la raison au cas par cas :

— **M11** : moyenne = 15,23 mg/l  $\text{NO}_3^-$ . Il s'agit d'un petit périmètre très proche de l'agglomération de Jœuf-Moyeuivre qui est très industrialisée. Dans l'aménagement, on signalait sur les parcelles concernées des problèmes de dépérissement et de régénération liés à des dépôts de poussière en provenance des usines et zones industrielles voisines. Le taux de nitrates plus élevé de l'eau issue de ce périmètre peut donc venir soit directement des dépôts de poussières soit indirectement de l'état dépérissant des arbres en place (leur fonctionnement physiologique est altéré et ils prélèvent sûrement beaucoup moins d'éléments nutritifs dans le sol ; ces derniers sont donc plus massivement évacués par drainage).

— **M13** : moyenne = 37,90 mg/l  $\text{NO}_3^-$ . Ce périmètre est principalement constitué de forêt privée (avec aussi, dans le périmètre de protection étendue, une partie de la forêt communale de Villecey-sur-Mad). Le taux moyen de nitrates se rapproche ici beaucoup plus des teneurs observées sous zone agricole (prairies, parcs à vaches, vergers) que sous zone forestière (voir la moyenne du groupe 1). On ne connaît pas les causes de ce taux de nitrates élevé.

— **M15** : moyenne = 15,32 mg/l  $\text{NO}_3^-$ . Le périmètre de protection étendue est en limite d'une zone agricole assez importante (on note sur la carte au 1/10 000<sup>e</sup> la présence d'une grosse ferme sur le plateau).

— **M23** : moyenne = 13,44 mg/l  $\text{NO}_3^-$ . Ce taux est un peu inférieur à 15 mg/l mais le périmètre ne peut être classé dans le premier groupe. Il est composé de 30 ha de forêt privée et de 50 ha en forêt communale de Faulx. Sur ces 50 ha, une partie a été coupée à blanc puis enrésinée entre 1985 et 1990. Si le sol a été découvert pendant un temps assez long, le taux de nitrates a pu augmenter de façon non négligeable par rapport à la teneur lors du reste de la révolution (voir paragraphe sur "l'effet coupe rase").

Le **groupe 3-a** se distingue du précédent par des teneurs en nitrates relativement faibles, plus proches de celles observées dans le groupe 1 que de celles observées dans le sous-groupe 3-b.

— **M25** : moyenne = 8,57 mg/l  $\text{NO}_3^-$ . Les périmètres de protection sont très grands ; ils ne portent pas d'agriculture à proprement parler mais quelques prés-vergers sur les coteaux. La grande majorité de ce périmètre est en fait couvert de friches forestières et de zones en cours de réhabilitation (zones enherbées avec des arbustes et arbrisseaux plus ou moins disséminés) autour d'une carrière, qui ne semblent d'ailleurs pas nuire à la qualité de l'eau, du point de vue de la teneur en nitrates tout au moins. Une étude d'impact pour l'extension de cette carrière a d'ailleurs été réalisée en 1992 (le problème de la protection des eaux de la source en question y est longuement abordé).

— **V11** : le périmètre de protection rapprochée est entièrement forestier. Le périmètre de protection étendue est par contre en partie agricole, mais complètement enclavé dans la forêt (forêt domaniale du Ban d'Uxegney et forêts privées). Vu la situation géographique et topographique, il s'agit d'une agriculture extensive, où les prairies permanentes fauchées et pâturées en fin de saison dominant.

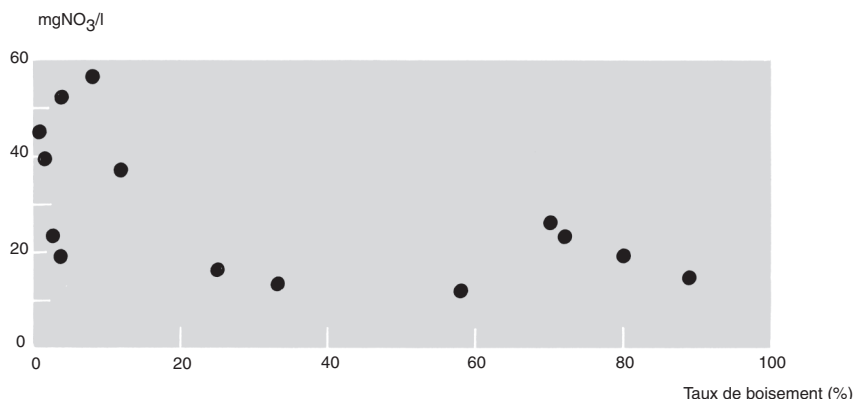
— **M6** : le périmètre de protection rapprochée est là aussi entièrement forestier (forêt privée de Frênes en fond de vallon et Hêtres sur les pentes et le rebord du plateau). La zone agricole située sur le plateau se compose de champs cultivés et de prés de fauche.

Le **groupe 3-b** se caractérise par la présence d'une zone agricole ou urbaine sur l'un des périmètres, ce qui provoque indéniablement une augmentation assez importante de la teneur moyenne en nitrates de l'eau à l'exutoire (par rapport aux périmètres entièrement forestiers). Le taux moyen de ce sous-groupe se rapproche de la norme-guide fixée par la directive européenne de 1980, mais reste encore tout à fait potable (les teneurs de certains périmètres sont néanmoins assez proches de la norme de potabilité). Si on compare les teneurs mesurées sous ces périmètres mixtes (forestiers et agricoles) et celles mesurées sous des périmètres entièrement agricoles (de 25 à 200 mg/l  $\text{NO}_3^-$ ), on s'aperçoit du **rôle "régulateur" de la forêt sur le taux de nitrates : la présence de forêt sur le bassin d'alimentation d'une source ramène le taux de nitrates à une valeur modérée.**

### Influence du taux de boisement sur la concentration en nitrates de l'eau issue de bassins mixtes, agricoles et forestiers

Une synthèse des mesures de qualité d'eau a été réalisée en utilisant les mesures bi-mensuelles de teneurs en nitrates sur 18 bassins d'alimentation. Les valeurs utilisées sont les moyennes des teneurs obtenues du 4/1/1992 au 28/12/1995. Les taux de boisement des bassins ont été relevés sur des fonds de photographies aériennes.

VARIATION DES TENEURS EN NITRATES SELON LE TAUX DE BOISEMENT



Le graphique nous indique une tendance globale à la diminution des teneurs en nitrates liée à l'augmentation du taux de boisement. Cependant, cette liaison est relativement faible car les pertes en nitrates venant des territoires agricoles du bassin peuvent prendre des valeurs très variables. Ainsi, certains bassins très peu forestiers peuvent avoir des teneurs faibles car ils sont essentiellement recouverts de prairies permanentes. À l'opposé, certains bassins très forestiers ont des teneurs en nitrates supérieures à 25 mg par litre car la partie agricole du bassin est l'objet de systèmes de culture intensifs (maïs, colzas). Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus à l'échelle parcellaire (Benoît *et al.*, 1995).

### **ESSAI D'EXPLICATION DES CONTRIBUTIONS DES DIFFÉRENTES VARIABLES À LA TENEUR EN NITRATES À L'EXUTOIRE POUR LE GROUPE DES PÉRIMÈTRES ENTIÈREMENT FORESTIERS**

C'est le thème principal de l'étude que nous allons maintenant aborder. Il s'agit de discerner l'influence des types de peuplements, des types de sols, des types de stations sur la qualité des eaux (du point de vue des teneurs en nitrates) filtrant sous couverts forestiers.

#### **Des bases de réflexion...**

On peut traduire par une équation simple les différentes composantes du bilan d'équilibre de la fertilité d'un sol forestier sur l'ensemble de la révolution (on peut l'appliquer à la balance azotée en négligeant certains termes comme la fixation et la dénitrification) :

$$P + M + A = Pr + Dn + De + R$$

avec :

P : apports atmosphériques directs et sous forme de pluviocessivats	}	<b>ENTRÉES</b>
A : altération du substratum		
M : minéralisation de la matière organique		
Pr : prélèvement effectué par le peuplement	}	<b>SORTIES</b>
Dn : pertes par drainage (superficiel ou profond, latéral ou vertical) normal		
De : pertes par drainage exceptionnel lors de la phase de récolte		
R : exportations de biomasse lors de la récolte		

Dans cette équation, ce sont les termes Dn et De qui nous intéressent. Le drainage moyen annuel représente en effet une part importante de l'exportation totale des éléments.

#### **Traitement statistique effectué sur le groupe des périmètres entièrement forestiers**

Pour discerner l'influence des différentes variables (types de peuplements, types de stations, types de sols) sur la teneur moyenne en nitrates à l'exutoire, des régressions multiples ont été réalisées.

##### **• Démarche**

La variable à expliquer est la teneur en nitrates des eaux issues de sources situées en milieu forestier, les variables explicatives choisies sont : le type de peuplement, le substratum géologique, le type de sol ou de station forestière.

On cherche à tester une hypothèse qui a été validée pour des périmètres agricoles (Gaury, 1992), à savoir que chaque type de couverture du sol (types d'agriculture pratiqués mais pour

l'étude présente, types de peuplements, de sols ou de stations) présent sur le périmètre de protection rapprochée d'une source (ou exutoire) contribue, proportionnellement à la surface qu'il occupe, à la qualité de l'eau (en particulier à la teneur en nitrates) à l'exutoire.

Y = teneur moyenne en nitrates de l'eau à l'exutoire ; c'est la variable expliquée (dépendante).

X = (x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, ..., x<sub>p</sub>) avec x<sub>i</sub> = proportion de surface de la variable explicative (dépendante) n° i.

Une **régression multiple** permet de connaître l'équation reliant la variable expliquée aux variables explicatives : **Y = f (X)**. Suivant la nature de la régression, linéaire ou non linéaire (exponentiel ici), la forme de cette équation sera :

$$Y = m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_p x_p \text{ pour le modèle linéaire}$$

$$Y = m_1 x_1^{x^1} \times m_2 x_2^{x^2} \times \dots \times m_p x_p^{x^p} \text{ pour le modèle exponentiel}$$

Elle donne également des renseignements sur la fiabilité du modèle choisi ainsi que sur la force de la liaison entre la variable expliquée et les variables explicatives (corrélation). Le but est ici de connaître l'influence des types de peuplements, des types de sols et/ou des types de stations sur la qualité de l'eau (du point de vue de la teneur en nitrates) à l'exutoire.

Les variables explicatives choisies sont donc les suivantes :

Pour les types de peuplements

À partir du grand nombre de types de peuplements discernés au départ, on a défini huit grands types regroupant l'ensemble des précédents. On a commencé par faire **des régressions multiples** sur l'ensemble de ces huit grands types de peuplements. On a procédé ensuite à une sélection pas à pas des variables explicatives fiables pour la régression, en éliminant au fur et à mesure les variables non significatives c'est-à-dire dont le coefficient n'est pas significativement différent de zéro (test de Student sur la nullité des coefficients).

Pour essayer de mettre en évidence des différences de comportement plus nettes vis-à-vis des pertes en nitrates, on a encore regroupé ces huit grands types de peuplements en deux, trois ou quatre classes :

- **jeunes peuplements** (c'est-à-dire du semis au gaulis pour la futaie régulière et les peuplements à jeunes bois dominants pour le taillis-sous-futaie)/**peuplements adultes ou vieux**,
- **jeunes peuplements feuillus/jeunes peuplements résineux**, avec élimination éventuelle de variable(s) non significative(s),
- **futaie feuillue/futaie résineuse**,
- **futaie**,
- **feuillus/résineux**.

Pour les types de sols et/ou de stations

On peut suivre le même genre de raisonnement pour les types de sols et de stations. Néanmoins, la précision des données collectées diffère suivant les aménagements. Dans les aménagements les plus anciens, on ne parle que des types de sols et pas des types stationnels ; dans les aménagements plus récents, on cartographie les stations mais pas les types de sols.

Remarque : un type stationnel donné peut correspondre à une gamme assez large de types de sols (résultant d'une même évolution pédogénétique mais plus ou moins poussée). Par exemple, la station II (hêtraie-chênaie mésoxérophile à mésophile) du Catalogue des stations des Plateaux calcaires peut avoir des sols allant du rendisol (rendzine brunifiée) au calcisol (sol brun calcique).

Pour ces raisons, on a choisi d'étudier dans chacun des deux sous-groupes précédemment établis la variable (types de sols ou types stationnels) la plus représentée.

Pour le sous-groupe "calcaires", les types stationnels sont connus pour la grande majorité des périmètres (5 sur 6). On a donc fait ici une régression multiple avec comme variable expliquée la teneur en nitrates à l'exutoire et comme variables explicatives les types stationnels. Ces derniers sont issus du Catalogue des stations des Plateaux calcaires de Lorraine :

- station I (code st20) : hêtraie-chênaie xérophile,
- station II type 1 (code st21) : hêtraie-chênaie mésoxérophile à mésophile,
- station II type 2 (code st22) : hêtraie-chênaie mésoxérophile à mésophile,
- station III (code st23) : hêtraie-chênaie mésophile à mésophile à tendance acidophile,
- station IV (code st24) : hêtraie-chênaie méso-acidophile à méso-hygro-acidophile,
- station V (code st25) : hêtraie de versant mésoxérophile,
- station VI (code st26) : hêtraie-chênaie mésophile de versants.

On pourra ensuite éventuellement leur faire correspondre des types de sols.

Pour le sous-groupe "grès", ce sont par contre les types de sols qui sont les mieux connus (pour 11 périmètres sur 12). Les variables explicatives choisies pour la régression multiple sont donc ici les types de sols suivants :

- sol brun acide (alocrisol) ; humus : mull acide (code sol),
- sol à pseudogley (rédoxisol, pélosol différencié, planosol) ; humus : hydromor (code so2),
- sol crypto- et ocre podzolique (podzosols ocrique et humide) ; humus : moder (code so3),
- sol podzolique et podzol (podzosols juvénile et durique) ; humus : mor (code so4),
- variante hydromorphe des deux précédents (podzosol rédoctique ou rédoxique) ; humus : anmoor (code so5),
- sol brun sur alluvions (fluviosol brunifié) (code so8),
- sol brun mésotrophe (brunisol, pélosol) ; humus : mull mésotrophe (code so9).

On procède toujours de même pour sélectionner les variables significatives dans la régression.

• *Les résultats des analyses statistiques*

Le groupe 1 (ensemble des périmètres entièrement forestiers) se caractérise par un taux moyen de nitrates faible (4,13 mg/l  $\text{NO}_3^-$ ) et une distribution des valeurs assez ramassée (écart-type assez petit). De plus, les teneurs un peu plus fortes observées dans le groupe 2 ont pu être expliquées.

On peut donc affirmer que, **sous forêt**, quels que soient l'essence et le stade de développement (autrement dit le type de peuplement), **l'eau reste de très bonne qualité** du point de vue de la teneur en nitrates. Les teneurs plus fortes observées pour les jeunes peuplements restent néanmoins tout à fait correctes au regard de la norme-guide.

Ces **pertes plus élevées sous les jeunes peuplements** peuvent résulter d'un **prélèvement net en éléments nutritifs moins important** que chez les peuplements adultes ou vieux. Bien que les besoins du peuplement soient considérables pendant la phase de croissance active (phase juvénile), le développement moindre du système racinaire et la biomasse plus réduite (feuillage, branches et tronc) aboutissent à un prélèvement plus faible de nitrates dans le sol

et donc à des pertes par drainage plus importantes. Cela pourrait aussi provenir du passage récent par la phase de rééquilibrage suivant l'installation des jeunes plants ou semis. Un paragraphe spécial sera consacré à l'étude de ces phénomènes.

Au stade jeune peuplement, les résineux peuvent avoir des pertes équivalentes à celles des feuillus (cas sur l'ensemble des périmètres du groupe 1) ou très supérieures (cas quand on sépare les deux sous-groupes).

Au stade peuplement adulte ou vieux, seuls les feuillus ont des coefficients significativement non nuls dans la régression : leur contribution aux pertes en nitrates est donc plus élevée ici que celle des résineux.

Pour ce qui est de la distinction entre les deux traitements — futaie et taillis-sous-futaie —, aucune conclusion ne peut être tirée : aucune différence notable n'a pu être mise en évidence. L'effet des coupes très différentes pratiquées dans ces deux traitements n'a ici pas d'influence discernable sur la qualité de l'eau.

Il existe une **meilleure corrélation entre les teneurs moyennes en nitrates et les types de peuplements pour le sous-groupe "calcaires" que pour le sous-groupe "grès"** : le modèle linéaire de régression s'adapte mieux sur substrat calcaire que sur substrat gréseux, ce qui traduit des **différences au niveau de la nature de ce substrat et de modalités de circulation des eaux**. La réponse (laps de temps séparant un épisode météorologique et son effet sur l'exutoire) plus rapide sur calcaire semble être la cause ici : l'eau circule de façon rapide dans le sol et les échanges d'éléments avec la roche sont limités ; les teneurs en nitrates ne sont donc pas beaucoup modifiées entre le sol forestier lui-même et l'exutoire. Sur grès, il semble par contre y avoir une intervention plus importante de phénomènes d'échanges avec la roche et cela se ressent à l'exutoire.

Les **types de sols et/ou de stations**, bien que plus **fortement corrélés à la variable expliquée**, n'ont pas toujours une liaison globalement significative avec elle. Pour les variables explicatives dont le coefficient est significativement non nul, on peut conclure que les types stationnels et types de sols étudiés n'agissent pas tous dans le même sens sur la teneur en nitrates.

### **ÉVOLUTION DANS LE TEMPS DES TENEURS EN NITRATES : ESSAI D'INTERPRÉTATION DES EFFETS D'UNE COUPE À BLANC ET DE L'INSTALLATION D'UN NOUVEAU PEUPEMENT (périmètres du groupe 1 uniquement)**

Les dates de coupes à blanc sont connues pour quelques-uns des périmètres du groupe 1 (périmètre de protection entièrement forestier). On peut regretter que, dans la plupart des aménagements, la mention des dates de ce genre de coupes au cours de la période précédente soit omise.

#### **Caractéristiques statistiques**

Pour commencer, on peut étudier les caractéristiques statistiques (moyennes) de deux sous-groupes de périmètres du groupe 1 :

— sous-groupe "non perturbé" (pas de coupe à blanc connue sur la période étudiée) : moyenne = 3,89 mg/l  $\text{NO}_3^-$ ,

— sous-groupe "coupe à blanc" (une ou plusieurs coupes ont été effectuées sur la période étudiée) : moyenne = 6,66 mg/l  $\text{NO}_3^-$ .

Le périmètre M5 a une moyenne peu élevée pour le groupe 3-b (14,56 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et est en fait composé en majorité de forêt ; une route et une voie ferrée se trouvent cependant dans le périmètre de protection rapprochée de la source.

Le périmètre M23 est entièrement forestier mais présente une teneur moyenne un peu supérieure aux teneurs observées dans le groupe 1 (13,44 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Cette concentration plus élevée pourra peut-être trouver une explication ici.

Le deuxième sous-groupe semble présenter en moyenne des pertes plus élevées, mais c'est surtout leur évolution au cours du temps qui doit ici être prise en compte.

### Interprétation des évolutions des teneurs en nitrates

Après une coupe à blanc, une évolution caractéristique des concentrations en nitrates à l'exutoire, qui peut être décomposée en trois phases, est mise en évidence par les séquences suivantes :

- augmentation plus ou moins forte (en valeur absolue) du taux de nitrates sur une période allant de une à quatre années après la coupe,
- diminution progressive de ce taux pendant un à deux ans,
- stabilisation autour d'une teneur proche de celles observées avant la coupe.

Comme les expériences citées en premier dans le paragraphe précédent, cette évolution semble montrer une augmentation des taux de nitrates après coupe à blanc des parcelles drainées. Il serait bon de tenir compte de ce phénomène au niveau des pratiques sylvicoles utilisées sur ces zones : **préconiser les coupes de régénération progressives** (échelonnées au fur et à mesure de l'implantation des semis) à l'intérieur d'un périmètre de bassin d'alimentation, éviter la mise en lumière brutale du sol,... afin d'éviter tout risque de perturbation de la qualité de l'eau. Les teneurs plus élevées observées sous les jeunes peuplements pourraient alors résulter d'un retour plus ou moins rapide à l'équilibre pour l'écosystème.

Cette proposition vise à introduire une contrainte de gestion dans les peuplements forestiers : la coupe d'un peuplement n'est envisageable avec minimisation des risques que si cette coupe présente une faible proportion du bassin d'alimentation dans lequel elle se situe. **Les plans de gestion devraient donc être aussi construits en fonction de leurs implantations relatives dans les bassins d'alimentation en eau.**

## CONCLUSIONS

### Quel taux de boisement permet d'élaborer une teneur nitrique inférieure à la limite de potabilité ?

Le taux de boisement qui permet d'assurer cette qualité avec les systèmes de culture actuellement pratiqués avoisine les 30 % dans les zones cultivées, mais peut être beaucoup plus faible dans les zones herbagères. En effet, dans les zones agricoles où la prairie permanente domine, des teneurs faibles en nitrates peuvent s'y élaborer sans l'appui de couverts forestiers.

### À taux de boisement stable, les qualités d'eau évoluent

En bassins mixtes (agricoles et forestiers), les teneurs en nitrates ont eu tendance à croître ces dernières décennies par augmentation des teneurs liées aux évolutions de systèmes de culture (Concarret *et al.*, 1981 ; Gaury, 1992). À taux de boisement stable, la qualité des eaux se dégrade sur la période sur les bassins observés. Cette dégradation est d'autant plus forte

que la surface agricole est importante. Plus nous nous rapprochons des années récentes, plus le taux de boisement permettant d'assurer une teneur satisfaisante (fixée à 45 mg/l  $\text{NO}_3^-$  pour supporter les effets de "crêtes" hivernales possibles) doit être important.

### Les proportions des surfaces forestières et agricoles évoluent à long terme et accentuent le contraste est/ouest de la région Lorraine

Aux déboisements et défrichements de l'ouest de la Lorraine s'opposent les boisements de la montagne vosgienne.

À l'ouest de la région Lorraine, ces évolutions de l'agriculture vers une intensification croissante ont accentué la dégradation de la qualité des eaux : les zones vulnérables vis-à-vis des pollutions nitriques définies en Lorraine s'y concentrent. Dans cette zone ouest, ces régressions de formations arborées sont liées aux types d'exploitations présents et à leurs modes de fonctionnement et ont été encouragées par la réforme de 1992 de la PAC (Hauser, 1995).

À l'est de la Lorraine, le massif vosgien continue de se boiser en majorité en épicéas accentuant les effets sur l'acidité des eaux dans cette région.

Gersende FIZAINÉ 10, route de Ham 55600 JUVIGNY-SUR-LOISON	M. BENOÎT Département de Recherches sur les Systèmes agraires et le Développement INRA Domaine du Joly BP 29 F-88501 MIRECOURT CEDEX
--	--

### Remerciements

Ces opérations de recherche s'appuient sur des aides venant :

- du Conseil régional de Lorraine dans le cadre d'un co-financement de matériel d'analyse,
- de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse pour le co-financement d'une bourse de thèse (Marie-Claude Muhar),
- de l'AIP Agrifor.

Nous remercions ceux qui, en nous fournissant leurs données de travail quotidien, ont permis l'écriture de cet article : la DDASS de Meurthe-et-Moselle et la DDASS des Vosges.

Enfin, merci aux collègues qui ont réalisé les prélèvements d'eau aux sources issues de ces périmètres et ont aidé aux dépouillements des données : G. Rouyer, L. Echampard, M.-C. Muhar, P.-Y. Bernard, D. Foissy, et à G. Rouyer pour la réalisation des analyses.

Les stagiaires ayant contribué à ce travail sont : G. Fizaine en 1993, S. Hauser en 1995, P. Cochard en 1996.

### BIBLIOGRAPHIE

- BENOÎT (M.). — Vers une gestion concertée des systèmes de culture d'un bassin d'alimentation. *In* : Forum INRA "Sécheresse, pollution, inondation et érosion", Poitiers, 29, 30 septembre et 1<sup>er</sup> octobre 1996. — 9 p.
- BENOÎT (M.), DEFFONTAINES (J.-P.), GRAS (F.), BIENAIME (E.), RIELA-COSSERAT (R.). — Agriculture et qualité de l'eau. Une approche interdisciplinaire de la pollution par les nitrates d'un bassin d'alimentation. — *Cahiers Agriculture*, 1997.
- BENOÎT (M.), MUHAR (M.-C.). — Farmers, land use and groundwater quality : an interdisciplinary approach. *In* : Future of the land / L. Fresco *et al.* (Eds.). — John Wiley, 1993. — pp. 347-348.

## M. BENOÎT - Gersende FIZAINE

- BENOÎT (M.), SAINTOT (D.), GAURY (F.). — Mesures en parcelles d'agriculteurs des pertes en nitrates. Variabilité sous divers systèmes de culture et modélisation de la qualité de l'eau d'un bassin d'alimentation. — *Comptes rendus des séances de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 81, n° 4, 1995, pp. 175-188.
- COCHARD (P.). — Étude de l'évolution de la qualité des eaux en lien avec les pratiques agricoles dans une région de polyculture-élevage. — Montpellier : ENSA ; Mirecourt : INRA-SAD, 1996. — 35 p. + annexes (Mémoire de DAA).
- CONCARRET (-) *et al.* — Le Drainage agricole. — Dijon : Chambre régionale d'Agriculture de Bourgogne, 1981. — 509 p.
- FIZAINE (G.). — Forêts et teneurs en nitrates des eaux souterraines. — Nancy : FIF-ENGREF ; Mirecourt : INRA-SAD, 1993. — 19 p. + annexes.
- GAURY (F.). — Systèmes de culture et teneurs en nitrates des eaux souterraines. Dynamique passée et actuelle en région de polyculture-élevage sur le périmètre d'un gîte hydrominéral. — Rennes : ENSA de Rennes, 1992. — 229 p. + annexes (Thèse de Doctorat).
- HAUSER (S.). — Évolution de la place de l'arbre et des boisements dans l'ouest des Vosges. Relation agriculture-forêt dans l'occupation du territoire. — Mirecourt : INRA-SAD, 1995. — 39 p. + annexes (Rapport de stage 2<sup>e</sup> année INA PG).
- HENIN (S.) et collaborateurs. — Rapport du groupe de travail activités agricoles et qualité des eaux. — Paris : Ministère de l'Agriculture ; Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, 1980. — 34 p. + annexes.
- MARY (B.), BEAUDOIN (N.), BENOÎT (M.). — Prévention de la pollution nitrique à l'échelle du bassin d'alimentation en eau. *In* : Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, Reims (France) 19-20 octobre 1996 / G. Lemaire et B. Nicolardot (Eds). — Paris : INRA, 1996. — pp. 289-312 (Les colloques ; n° 83).

---

### QUALITÉ DES EAUX EN BASSINS FORESTIERS D'ALIMENTATION (Résumé)

Les ressources en eau, souterraines et superficielles, voient leurs caractéristiques modifiées par les activités humaines se développant dans l'aire de leur bassin d'alimentation. Les territoires forestiers créent des caractéristiques des ressources en eau favorables ou non aux demandes des gestionnaires de ces ressources. La teneur en nitrate est l'une de ces caractéristiques.

Sous les couverts forestiers, en période de croissance hors exploitation, les teneurs en nitrate issu de ces bassins sont faibles. Une enquête historique à partir de données lorraines donne une valeur moyenne de 4,2 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l. Aucune variation significative n'a été relevée selon la nature du couvert, feuillue ou résineuse.

En bassins mixtes agricoles et forestiers, la part des surfaces forestières joue sur les degrés de liberté laissés à l'agriculture pour ne pas dégrader la ressource en eau du bassin. En Lorraine, sur 33 bassins agricoles et forestiers suivis depuis 1989, un seuil se dessine autour de 35 % de forêts dans le bassin pour permettre de "co-produire" une eau de qualité potable compte tenu des pratiques agricoles pratiquées dans les systèmes agraires lorrains en cette fin de siècle. Nous observons une dégradation de la teneur en nitrate sous les couverts forestiers subissant des exploitations de type "coupe à blanc".

### QUALITY OF WATER IN FOREST CATCHMENT AREAS (Abstract)

The characteristics of both subsurface and surface water resources are altered by human activities carried out within their catchment area. Forested areas give rise to water resource characteristics that may or may not be consistent with the demands of those responsible for managing these resources. Nitrate content is one of those characteristics.

Beneath forest canopies, during the growth period when no felling is performed, nitrate contents of the water drained from these areas are low. Historical data pertaining to the Lorraine area give the mean value as being 4.2 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l. No significant variation was observed in connection with the type of canopy involved, whether deciduous or coniferous.

In catchment areas that support both forestry and farming activities, the proportion of forested land affects the degrees of freedom that can be allowed to agriculture to avoid deteriorating the water resource in the basin. A study on 33 agricultural and forestry basins in Lorraine that began in 1989, shows a critical value of approximately 35 % forests for the catchment area that is consistent with the "co-production" of drinking water, considering farming practices in the Lorraine agricultural systems at the close of the century. A deterioration in terms of nitrate content is observed under forest canopies where clear felling is practiced.