

# Contamination des eaux souterraines par les nitrates

## Recherches et applications dans le cadre de la coopération franco-allemande

*Nitrate contamination of groundwater : research and applications in the framework of French German Cooperation*

D. LAIGLE \*, J. KUGLER \*\*, H. KOBUS \*\*\*, L. ZILLIOX \*

Mots-clés : Pollution, Eau souterraine, Nitrate, Coopération internationale

Cet article est une synthèse du colloque organisé à Stuttgart en octobre 1988 autour du thème : « Contamination des eaux souterraines par les nitrates ». Ce congrès, inscrit dans le cadre de la coopération franco-allemande, s'est tenu le 6 octobre dans les locaux de l'Université de Stuttgart. Il faisait suite à l'atelier/workshop franco-allemand organisé les 25 et 26 septembre 1986 à Colmar sur le thème : « Pollution des eaux souterraines par les nitrates - sites expérimentaux, métrologie, modélisation ». Il a été suivi le 7 octobre 1988 par une réunion restreinte dont le but était d'étendre le débat à la contamination des eaux souterraines par les produits phytosanitaires et à la problématique du stockage et de l'épandage rationnel de lisiers et de boues de stations d'épuration. Dans les discussions ont été intégrés divers thèmes tels que celui des périmètres de protection des captages d'eau potable et ceux relatifs aux programmes futurs de coopération.

---

## Introduction

---

L'environnement fait partie des problèmes majeurs de cette fin du 20<sup>e</sup> siècle. Les questions liées à la qualité de l'eau font l'objet d'une attention toute particulière. Dans ce contexte, la pollution des eaux souterraines par les nitrates est ressentie avec acuité car il s'agit là d'un enjeu majeur : préserver une ressource vitale.

Face aux multiples interrogations que suscite ce problème complexe, une coopération internationale entre les différents intervenants compétents en la matière apparaît comme primordiale.

En présence de responsables des pouvoirs publics et de chercheurs impliqués, les enjeux majeurs du problème de la qualité de l'immense ressource que représentent les eaux souterraines ont été débattus à Stuttgart. Préserver la qualité de cette ressource apparaît à tous, tant du point de vue économique, qu'éthique, indispensable. Il appartient aux pouvoirs publics d'en assumer la responsabilité, notamment vis-à-vis des usagers qui sont de plus en plus sensibles à ces problèmes.

Face aux questions posées, le rôle des chercheurs est de donner, d'une part des réponses quant aux causes et aux conséquences de la pollution actuelle et d'autre part, de proposer des solutions viables pour améliorer la situation. A ce niveau la complexité du problème et de ses implications oblige à une approche pluridisciplinaire originale et intéressante qui est actuellement menée de part et d'autre du Rhin.

---

## I - Les enjeux

---

Les eaux souterraines couvrent en France 20 à 25 % des besoins totaux en eau et de l'ordre de 50 % des besoins en eau potable. En ce qui concerne la puissante nappe phréatique rhénane, en Alsace, les parts sont respectivement de 65 % et 80 %. Dans le Land allemand du Bade-Wurtemberg, ce sont aussi quelque 80 % des besoins en eau potable qui sont couverts par les eaux souterraines.

L'exigence d'une eau de qualité n'est pas restreinte aux seules sociétés d'adduction d'eau potable

\* Institut de mécanique des fluides, URA CNRS 854, Université Louis-Pasteur de Strasbourg, 2, rue Boussingault, F - 67000 Strasbourg

\*\* Service régional d'aménagement des eaux de Lorraine, 4, rue Wilson, F - 57036 Metz

\*\*\* Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 61, D - 7000 Stuttgart 80

désireuses d'assurer dans les meilleures conditions l'alimentation des usagers ; les industriels sont également grands consommateurs d'eau de qualité. Par ailleurs l'autre grande ressource en eau douce que sont les eaux superficielles voit elle aussi sa qualité souvent compromise (eutrophisation, métaux lourds, pesticides...). Dès lors l'enjeu écologique (protection de la vie) et économique que peut représenter la lutte contre la pollution des eaux d'une manière générale et des eaux souterraines en particulier est mis en évidence.

Pour ce qui concerne plus particulièrement le problème « nitrates », la prise de conscience s'est faite dans les années 1970. A cette époque, les réseaux de mesures systématiques n'existaient pas, et seules quelques données ponctuelles faisaient état d'une augmentation substantielle au cours des 20 à 30 années qui ont suivi la seconde guerre mondiale.

---

## II - La situation actuelle

---

Le problème s'est posé en des termes très sérieux pour les responsables de l'adduction d'eau lorsqu'en 1980 la CEE a adopté une réglementation fixant à 50 mg/l la concentration maximale en nitrates admissible dans les eaux distribuées. Cette norme devait en principe entrer en application dans chacun des états membres cinq ans plus tard. La RFA a ainsi vu passer sa norme de 90 à 50 mg/l. En France, l'ancienne norme fixant le niveau seuil à 44 mg/l était apparemment peu appliquée. La nouvelle réglementation a permis de mettre en évidence la gravité du problème.

La situation est actuellement la suivante :

En France, en 1987, 2 100 habitants desservis par 7 unités de distribution disposent d'une eau dont la teneur en nitrates excède 100 mg/l. Ce chiffre est en régression sensible par rapport aux données précédentes. Toutefois le nombre d'unités fournissant une eau de concentration supérieure à 50 mg/l est passé de 555 à 701 entre 1981 et 1987. 859 000 personnes disposaient encore à cette date d'une eau trop chargée en nitrates (source : Ministère de la santé).

Depuis 1980, au-delà de la seule contamination par les nitrates, le Land du Bade-Wurtemberg a dû, à lui seul, fermer 360 points de captage, ce qui représente globalement 5 % de sa ressource.

En Allemagne, au cours des 30 dernières années, l'augmentation de concentration a atteint 50 mg/l dans les cas extrêmes. La moyenne était d'environ 10 mg/l dans les années 1950. Depuis lors, l'accroissement des teneurs moyennes s'est traduit par une forte augmentation de la classe 25-50 mg/l au détriment des classes à concentrations plus faibles. Ainsi, près de la ville de Fribourg en Brisgau, la

teneur moyenne est passée de 10 à 20 mg/l en 7 ans. Dans le même temps, en Alsace, la teneur moyenne de la nappe phréatique rhénane est passée de 13 à 24 mg/l en 10 ans, avec de grandes variations faisant apparaître des zones sensibles où la concentration dépasse localement 100 mg/l.

Une étude de l'Agence de bassin Rhin-Meuse montre que si l'augmentation de concentration dans la nappe phréatique rhénane devait se poursuivre au rythme actuel, ce sont à long terme 1 500 km<sup>2</sup> de nappe sur 2 800 au total qui seraient inutilisables (100 km<sup>2</sup> le sont d'ores et déjà du fait des seules teneurs excessives en nitrates). Ainsi, en Alsace, 48 % des captages existants et 317 000 personnes seraient touchés.

---

## III - Prise de conscience du problème

---

Face à la gravité du problème, la prise de conscience s'est faite dans un premier temps au niveau des responsables de l'alimentation en eau, des associations de protection de la nature et des scientifiques qui n'avaient pas attendu la publication de ces chiffres pour engager certaines études.

Un premier dialogue entre utilisateurs de l'eau, pouvoirs publics et scientifiques, a mis en évidence la nécessité de prendre les mesures adéquates afin de garantir la qualité de l'eau pour les générations futures. Pour satisfaire cet objectif, les pouvoirs publics ont dans un premier temps donné aux scientifiques les moyens d'une étude approfondie face aux questions posées, les mesures effectives devant intervenir dans une deuxième phase.

Il est indéniable par ailleurs qu'un vif intérêt du grand public autour des problèmes d'environnement s'est fait jour au cours de ces dernières années, ce qui devrait, on peut l'espérer, faciliter la mise en œuvre pratique d'une meilleure prévention de la pollution.

Le rapport fourni en 1980 par le Professeur **Hénin** est un premier exemple type d'une réponse scientifique aux pouvoirs publics en France. Il conclut à l'interaction de plusieurs origines et met en évidence le rôle prépondérant de la pollution d'origine agricole en ce qui concerne les nitrates.

---

## IV - Le travail des scientifiques sur le thème nitrates

---

Le problème de la pollution des eaux souterraines par les nitrates se pose globalement dans les mêmes termes en France et en RFA. Les buts de la

recherche sont identiques et les résultats souvent complémentaires, d'où l'intérêt de rencontres entre chercheurs. Les liens tissés depuis quelques années entre scientifiques des deux régions transfrontalières voisines d'Alsace et du Bade-Wurtemberg sont à ce sujet exemplaires. Examinons en détail les recherches entreprises et la manière d'aborder le problème de part et d'autre du Rhin.

#### **IV.1 - Le Programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement PIREN-eau/Alsace**

##### **IV.1.1 - Contexte et présentation générale de l'action du PIREN-eau/Alsace**

L'action du PIREN débute en Alsace en 1980 dans le cadre de la « gestion écologique des ressources en eau ». Le constat d'une grande fragilité de la nappe phréatique rhénane face aux risques de pollution ainsi que l'évolution de la pollution saline due aux mines de potasse d'Alsace ont orienté la première phase de recherches.

La recherche méthodologique sur les hydrosystèmes a été abordée selon 4 axes de recherche :

- la constitution de la ressource en eau,
- les caractéristiques de l'évolution de la qualité de l'eau,
- les conséquences écologiques de la qualité de l'eau,
- la ressource en eau, ses usages et ses enjeux.

Cette première phase a permis d'assurer la cohésion scientifique du PIREN-eau/Alsace tout en révélant l'intérêt d'un dialogue multidisciplinaire liant les sciences socio-économiques aux sciences de la matière et de l'ingénieur. L'action de recherche a ainsi bénéficié de la diversité d'origine des scientifiques intervenants.

Par des contacts transfrontaliers, le PIREN-eau/Alsace a inscrit son action dans l'espace Rhénan. Par un effort d'information scientifique et technique ainsi que par sa participation au Comité technique de l'eau, il a opéré son insertion régionale, ce qui l'a amené à recentrer ses thèmes de recherche en fonction des préoccupations prioritaires de la région Alsace en matière d'aménagement et de gestion des eaux.

Ce recentrage marque le début d'une 2<sup>e</sup> phase de recherches. Ainsi en 1985, le PIREN-eau/Alsace s'est vu confier, dans l'optique de l'aménagement de l'Ill domaniale, une étude intitulée « Relations eaux de surfaces-eaux souterraines dans le bassin de l'Ill

domaniale. Impacts des inondations et d'aménagements, transferts de polluants à la nappe ». Sur ce secteur test, 4 axes de recherche ont été développés :

- les mécanismes de formation de la ressource en eau et de propagation des débits (synthèse climato-hydrologique) et les mécanismes d'échanges entre eaux de surface et eaux souterraines,
- le transfert des nitrates vers la nappe,
- l'approche écophysiological,
- l'analyse des incidences socio-économiques et des situations juridiques.

##### **IV.1.2 - Les mécanismes de formation de la ressource en eau et de propagation des débits (synthèse climato- hydrologique) et les mécanismes d'échanges entre eaux de surface et eaux souterraines**

Les échanges entre nappe phréatique et rivières ont été étudiés dans le secteur du Ried Central de l'Ill. Des mesures en continu de débits de rivière (Ill), de pluviométrie et de hauteurs de nappe ont été effectuées et complétées par des campagnes de jaugeages différentiels et de déterminations de lignes d'eau. Afin d'affiner l'étude des échanges et de l'impact d'aménagements potentiels, un modèle a été créé. Le calage de ses paramètres est fondé sur la bonne représentation des hauteurs d'eau dans l'aquifère et la rivière ainsi que des débits de l'Ill. Ce modèle a donné des résultats satisfaisants quant à la simulation hydraulique. Des travaux sont en cours, en vue de la prise en compte des nitrates, mais d'ores et déjà, le pouvoir épurateur du réseau hydrographique est prouvé (exportation de 1 000 kg NO<sub>3</sub>/j, en pointe, par la rivière phréatique Orchbach). Les concentrations en nitrates varient très nettement en fonction de la période hydrologique.

##### **IV.1.3 - Le transfert des nitrates vers la nappe**

Le transfert de nitrates des sols agricoles vers la nappe phréatique a été étudié sur 4 sites expérimentaux implantés dans le secteur naturel du Ried central de l'Ill. Ce secteur bénéficie de caractéristiques particulières très intéressantes :

- la présence d'une nappe très proche du sol (souvent moins de 1 m) et donc très vulnérable,
- l'existence de nombreux cours d'eau drainant la nappe,
- une multiplicité de sols et de conditions hydri-

ques particulières qui font de cette région un excellent secteur test.

L'approche expérimentale de terrain met en œuvre des tensiomètres pour la mesure de la pression de l'eau dans le sol, un tube neutronique pour la mesure des teneurs en eau et des bougies poreuses d'extraction de la solution du sol pour la mesure de la concentration en nitrates. D'un point de vue méthodologique, les résultats de mesure par bougies poreuses ont été comparés à la méthode classique d'extraction au KCl ainsi qu'à une technique originale : la centrifugation à vitesse variable d'un échantillon de sol. Sans pouvoir conclure sur la fiabilité des différentes méthodes, les résultats observés permettent toutefois de supposer qu'il existe dans le sol une double porosité dont la conséquence est la présence d'une eau facilement mise en mouvement par la gravité et d'une eau liée à la matrice poreuse, ces deux types d'eau pouvant avoir des concentrations différentes.

Parallèlement à cette étude expérimentale, un modèle déterministe a été construit qui tient compte du transfert d'eau, de soluté, des transformations azotées biochimiques et de l'extraction racinaire. Ce modèle en cours de validation a déjà donné des résultats satisfaisants de simulation du lessivage hivernal en l'absence de culture.

L'étude expérimentale a permis d'étudier l'évolution de la concentration sous sol nu et sans apport d'engrais (année 1986), avec apport d'engrais (1987), sous sol cultivé (1988) ou après retournement de prairie (1988). Cette étude a montré que le lessivage hivernal était directement dépendant des conditions climatiques avec une influence marquée du type de sol. De 40 à 70 % des nitrates situés dans les 60 premiers cm du sol ont été lessivés, selon l'hiver considéré, dans un sol argileux et de 60 à 90 % dans un sol sableux.

L'apport de nitrates par minéralisation en période estivale a pu atteindre plus de 1 000 kg NO<sub>3</sub>/ha dans des conditions exceptionnellement favorables. L'influence de différents facteurs a été mise en évidence. La perte de nitrates par dénitrification a également été observée. L'apport de nitrates par minéralisation à la suite d'un retournement de prairie a été observé. La charge polluante associée est potentiellement très importante.

Au sein du PIREN, l'influence des pratiques agricoles a été étudiée par voie d'enquête concernant simultanément l'occupation des sols et la qualité de l'eau de la nappe. L'effet d'une régression de la surface enherbée au profit de la céréaliculture, notamment du maïs, a été mis en évidence sur un secteur regroupant 82 communes entre Colmar et Strasbourg.

Un travail de cartographie du risque de lessivage des nitrates a été mené. Il s'appuie sur les facteurs influençant le transfert des nitrates :

- les facteurs climatologiques,
- les facteurs agrologiques : propriétés physico-chimiques, hydrodynamiques et micro-biologiques des sols,
- les facteurs agronomiques : type de culture, travail cultural et niveau de fertilisation.

L'étude de la variabilité de certains de ces paramètres a permis de mettre en évidence les secteurs agricoles plus ou moins sujets au lessivage des nitrates.

#### IV.1.4 - L'approche écophysiological

Compte tenu de l'importance des zones humides en Alsace et de la présence de nombreux échanges entre nappe et cours d'eau superficiels, une méthode de bioindication phytosociologique de l'eutrophisation a pu être mise au point. Une étude simultanée de la population végétale aquatique et de la physico-chimie de l'eau a permis de définir 6 classes de qualité fonction des teneurs en ammonium et phosphates. Elles correspondent chacune à une association végétale bien définie. Cette méthode s'est révélée d'une grande précision. Elle a permis d'établir une sectorisation de la nappe en fonction de niveaux de pollution et de mettre en évidence des fonctionnements hydrologiques particuliers dans le temps ou l'espace. Cette méthode peut fournir un outil intéressant d'aide à la décision pour de futurs aménagements. En ce qui concerne les nitrates, elle a mis en évidence l'impact favorable des forêts et prairies ainsi que des champs d'inondation qui contribuent au maintien de la qualité de la nappe.

#### IV.1.5 - L'analyse des incidences socio-économiques et des situations juridiques

L'approche juridique du problème a permis d'exposer les diverses utilisations de l'eau et la position du droit face aux situations rencontrées. Certains vides juridiques ont été mis en évidence.

Des enquêtes sociologiques ont montré que l'eau était au cœur de conflits où le rationalisme économique prenait le pas sur la préservation de la ressource.

Une approche économique rationnelle du problème a pu être élaborée par évaluation objective du bilan des inondations dans le Ried.

#### IV.1.6 - Valorisation des recherches effectuées et perspectives

En marge des recherches d'approfondissement des connaissances, le groupe PIREN-eau/Alsace a

valorisé son action en participant à la réalisation de la carte du risque de lessivage des nitrates.

Les perspectives actuelles sont : le développement de nouveaux sites mettant en œuvre une méthodologie analogue à celle du Ried Central de l'Ill et un projet d'étude du transport de solutés dans l'aquifère à travers le système lit fluvial et le système sol-végétation.

## IV.2 - Les travaux de recherche entrepris en Bade-Wurtemberg

### IV.2.1 - Les principaux thèmes de recherche

Les principaux thèmes de recherche suivants ont été abordés depuis 5 ans en Bade-Wurtemberg :

- la gestion des eaux souterraines et l'alimentation en eau potable,
- l'impact de l'agriculture sur la qualité des eaux souterraines,
- la contamination actuelle du sous-sol et les possibilités de décontamination,
- la gestion de la réserve calorifique du sous-sol.

L'objectif des recherches entreprises est de permettre une aide à la décision en matière de politique de l'environnement. Des connaissances scientifiques solides ne pourront être acquises qu'à moyen terme en faisant intervenir des domaines aussi variés que l'hydrogéologie, la mécanique des fluides, la chimie, la biologie, les sciences du sol, ... Un dialogue interdisciplinaire et une coopération interuniversitaire et transfrontalière ont dès le départ paru essentiels.

### IV.2.2 - Les programmes de recherche

Un programme de recherche intitulé « Modélisation à grande échelle du transport de chaleur et de polluants dans les eaux souterraines » a été lancé sous l'égide du DFG (équivalent allemand du CNRS). Différents partenaires émanant de 3 universités y contribuent :

- l'institut d'hydraulique de Stuttgart,
- l'institut de pédologie et de connaissance du milieu de Hohenheim,
- l'institut Engler-Bunte de chimie des eaux de Karlsruhe.

La démarche suivie passe par différentes étapes :

- la mise en œuvre de concepts de modélisation fiables en matière de transfert de polluants et de chaleur. Les mécanismes fondamentaux telles la convection, la dispersion, l'adsorption sont étudiés,

- les résultats des études en matière de modélisation sont testés successivement au laboratoire puis au niveau de sites expérimentaux en plein champ,
- le calage des modèles théoriques est ensuite réalisé pour des cas réels en vraie grandeur,
- l'utilisation des modèles peut, dans une dernière étape, être envisagée en tant qu'outil d'aide à la décision et à la gestion de la ressource.

Cette démarche a été mise en œuvre afin de pouvoir décrire le transfert de la chaleur, des organo-chlorés et des nitrates.

Sur le thème plus particulier des nitrates, l'Institut de recherche agronomique d'Augustenberg (LUFÄ) est responsable d'un programme faisant intervenir :

- le LUFÄ au niveau des problèmes de gestion azotée agricole et pour ce qui concerne les phénomènes intervenant au niveau de la zone racinaire,
- l'Université de Hohenheim pour ce qui est des processus prévalant dans la zone non saturée, depuis le lessivage des nitrates jusqu'à leur entrée dans la zone saturée,
- l'Université de Karlsruhe pour ce qui est du devenir des nitrates dans la zone saturée et de leur éventuelle transformation,
- l'Université de Stuttgart pour ce qui concerne le problème du bilan massique et de la description de l'écoulement et des phénomènes de transport dans la nappe souterraine.

En outre, un projet eau-déchet-sol (PWAB) fait intervenir de nombreux partenaires dans des domaines très variés. Il s'intéresse :

- à l'aspect fondamental, par des recherches en laboratoire faisant intervenir des conditions proches de la réalité (cuves de grandes dimensions...). Les recherches abordent principalement les problèmes liés à la décontamination « *in situ* » et au transport des contaminants dans le sol et les nappes,
- à la confrontation sur le site expérimental de l'île de Horkheim de pratiques culturales préservant l'environnement avec les pratiques classiquement utilisées.

### IV.2.3 - Principaux résultats concernant les nitrates

L'Université de Hohenheim mène ses études sur la dynamique des nitrates dans la zone non saturée sur 3 sites expérimentaux aux caractéristiques distinctes :

- Bruchsal : sols légers et cultures spéciales (asperges...),

- Ladenburg : sols moyennement lourds et cultures spéciales (légumes),
- Öhringen : sols lourds et céréales classiques (maïs...).

D'une manière générale, pour tous les types de sols et de cultures, des mesures d'azote minéral (méthode du Nmin) dans les 90 premiers centimètres de sol ont permis de montrer que la quantité d'azote minéral (principalement nitrates) présente :

- un minimum en fin d'hiver suite au lessivage et à l'immobilisation de l'azote,
- un maximum au printemps lié aux apports d'engrais et à la mobilisation de l'azote,
- un minimum estival du fait des exportations par les plantes,
- un maximum automnal suite à la minéralisation importante des résidus post-récolte.

Le risque majeur de contamination des eaux souterraines intervient suite au maximum automnal. En effet, la période hivernale est généralement caractérisée par l'absence de plantes, des températures faibles et des précipitations conséquentes.

En outre, des sols légers et filtrants avec des cultures spéciales (asperges) présentent des conditions particulièrement défavorables qui semblent incompatibles avec une protection des eaux souterraines.

Par ailleurs, les études montrent que la limite de 45 kg N-NO<sub>3</sub>/ha dans les 90 premiers centimètres de sol (loi SchALVO - cf. VI.2.2) doit être considérée comme une simple estimation majorée, susceptible de fluctuer de manière importante en fonction de paramètres pédologiques et climatiques essentiellement. Des modèles de simulation simples de l'évolution des concentrations en nitrates dans l'eau du sol ont montré leur efficacité et permettent d'intégrer les paramètres précédents.

Des recherches à l'échelle de bassins versants tests sont par ailleurs conduites. Elles nécessitent la mise en œuvre d'une méthodologie spécifique adaptée au bassin considéré et visant à :

- analyser la situation du bassin en effectuant un inventaire des données existantes et en mettant en place un réseau de points de mesure à même de décrire l'évolution des nitrates dans le sol et les nappes,
- contrôler l'efficacité de mesures agricoles qui ont pour but de préserver les eaux souterraines.

Une telle méthodologie appliquée au bassin de Steinbach, situé à proximité de Baden-Baden, a permis de mettre en évidence l'influence d'une zone viticole située à l'amont de points de captage AEP (phénomènes d'écoulement et de ruissellement).

Sur le site de Bruchsal, l'évolution comparée des concentrations en nitrates des eaux de 2 puits situés respectivement dans une zone de cultures et dans une forêt ont montré l'influence bénéfique de cette

dernière qui est le siège d'importants phénomènes de dénitrification biologique.

Une part de l'étude consacrée aux nitrates se préoccupe plus particulièrement des aspects hydrauliques de leur transport dans une nappe souterraine et tente de réaliser des bilans de masse. La démarche adoptée vise à faire le lien entre les phénomènes qui tendent à accroître la quantité de nitrates dans les eaux souterraines (lessivage, impact des types de cultures et des techniques culturales, renouvellement des eaux souterraines) et les concentrations effectivement observées aux points de captage AEP.

Un modèle numérique permet de décrire les mouvements de l'eau et du polluant dans l'aquifère et de cerner la zone de captage du puits que l'on suit.

En l'occurrence des captages AEP de Bruchsal et de Karlsdorf ont été étudiés. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence (en terme de bilan) :

- l'impact des cultures particulières (tabac, asperges) qui ne représentent pourtant que 10 % de la superficie totale mais qui engendrent 50 % des apports globaux en nitrates par lessivage,
- les apports quasi nuls de la zone en forêt,
- l'importance des phénomènes de retournement de prairies, dont il faut tenir compte au niveau d'un bilan même 10 ans après l'opération proprement dite du fait des faibles vitesses d'écoulement de l'eau dans un aquifère.

La simulation a également permis de mettre en évidence l'intérêt de poursuivre les pompages dans un puits contaminé, afin de préserver un captage voisin encore de bonne qualité. Un pompage sélectif de l'eau la plus polluée, située au toit de la nappe, et de l'eau moins chargée en profondeur peut s'avérer intéressant au niveau du captage contaminé.

---

## V - Principaux résultats scientifiques obtenus

---

Il est actuellement clairement établi que la pollution des eaux souterraines par les nitrates a des causes multiples.

Certaines sources ponctuelles peuvent être mises en cause :

- l'existence d'anciennes décharges mal conçues,
- les fuites au niveau des canalisations d'eaux usées,
- certains rejets industriels,
- certaines installations d'élevage ne garantissant pas un stockage correct des lisiers,
- l'absence fréquente d'unités de dénitrification au niveau des stations d'épuration,

- une charge importante en nitrates des eaux de surface qui peuvent communiquer avec les nappes.

L'agriculture est également responsable d'une pollution diffuse qui peut se révéler très néfaste (pour la partie sud de la nappe d'Alsace, l'Agence de bassin Rhin-Meuse a pu conclure à une contribution de l'ordre de 50 à 60 % des activités agricoles). Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte à ce niveau :

- Lors d'apports d'engrais sur une culture, une partie de l'azote est prélevée par les plantes. Une autre partie est stabilisée sous forme de matière organique par les micro-organismes du sol. L'azote excédentaire peut être lessivé vers les eaux souterraines après la récolte. Une surestimation des doses d'azote apportées est donc un facteur de risque. La consommation d'engrais azotés a, par exemple, été multipliée par 5 en RFA depuis 40 ans. Les quantités épandues, de l'ordre de 200 kg N/ha/an ont un intérêt agricole discutable.
- Un véritable raisonnement de la fumure azotée, tenant compte non seulement des engrais minéraux mais aussi des apports de lisiers et fumiers, est souvent absent.
- La période hivernale qui suit la récolte constitue la phase critique de lessivage de l'azote excédentaire du fait de l'absence de plantes, de la présence de fortes précipitations, et de températures basses limitant l'activité microbiologique.
- Les retournements de prairies, fréquents ces dernières années, engendrent la minéralisation d'une masse importante de matière organique et entraînent donc une libération massive de nitrates.
- L'influence du type de culture est prépondérante. Les teneurs les plus faibles sont observées sous forêt ou sous prairie, en particulier parce que la couverture du sol y est permanente. Par contre, des cultures comme le maïs, le tabac ou les cultures maraîchères sont mises en cause car elles laissent le sol nu durant de longues périodes et font en outre l'objet d'apports massifs d'engrais.
- L'influence du type de sol a été mise en évidence. Certains sols hydromorphes sont propices à une dénitrification intense et limitent donc les risques. Par contre, les sols légers donnent lieu à un intense transfert. De cette constatation découle l'idée d'un zonage du risque faisant intervenir non seulement la pédologie mais aussi d'autres facteurs tels que le climat.
- La proximité de la nappe est un facteur de risque important.
- Le phénomène de pollution azotée s'inscrit dans le temps. Les résultats actuels peuvent être la conséquence d'actions datant de 5, 10 ou 20 ans.

Une politique engagée maintenant ne sera ressentie qu'à long terme.

- Les scientifiques ont conçu des modèles simplifiés d'estimation du bilan de pollution. L'effort actuel porte sur des outils de prévision permettant de tenir compte avec précision des cas particuliers rencontrés.

---

## VI - Les politiques d'action et les moyens de leur mise en œuvre

---

Deux constatations s'imposent :

- Le problème est actuellement aigu et tend à s'aggraver.
- Les actions en vue d'une limitation des apports polluants n'auront de résultats bénéfiques qu'à long terme.

Devant l'imminence du problème, il est impératif d'avoir recours à des mesures curatives afin de satisfaire à court terme aux règles sanitaires en vigueur.

### VI.1 - Les actions curatives

De la bonne connaissance des nappes et des sources de pollution dépend le choix d'une solution judicieuse. Les scientifiques ont donc un rôle de conseiller auprès des aménageurs dans ce domaine.

Les actions possibles sont multiples :

- le déplacement de captages vers des zones non ou peu contaminées,
- l'interconnexion des réseaux,
- la mise en place d'unités de dénitrification,
- la dépollution.

Toutefois, les solutions de ce type sont fort coûteuses. Par exemple, en France, les dépenses s'élèvent déjà à 1 milliard de francs. En Alsace, 24 millions de francs vont devoir être dépensés pour alimenter 20 000 personnes en eau potable. En RFA, le coût d'une dénitrification à grande échelle est estimé à 1,4 milliard de marks pour 1 an. Dans certains cas extrêmes, il n'y a malheureusement pas d'autre alternative.

### VI.2 - Les actions préventives

Il est nécessaire dès maintenant de prendre des mesures préventives qui peuvent seules garantir la qualité de l'eau à long terme. Ces mesures résultent d'une prise de conscience des pouvoirs publics et de leur volonté d'agir en concertation avec les utilisateurs de l'eau et les scientifiques.

## VI.2.1 - Les structures mises en place pour la définition des actions

En France, la principale structure définissant les plans d'action est le CORPEN (Comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates provenant des activités agricoles) mis en place en 1984 par les Ministères de l'environnement et de l'agriculture et assisté d'une cellule d'animation et d'action : la Mission eau-nitrates. Le CORPEN regroupe des scientifiques et des représentants de l'ensemble des usagers de l'eau. Il a défini en 1986 un vaste programme d'action dont les axes principaux sont :

- la connaissance de la situation et de son évolution,
- la compréhension des phénomènes (recherche),
- l'information et la formation,
- l'amélioration des pratiques culturales,
- la réduction des pollutions ponctuelles ou diffuses par des interventions adéquates.

Certaines actions ont été menées à l'initiative de la profession agricole elle-même soucieuse d'obtenir rapidement des réponses pratiques et de protéger son environnement de travail.

En Allemagne, du fait de la structure politique fédérale, l'action est menée au niveau régional et plus directement à l'instigation des pouvoirs publics. Par exemple, en Bade-Wurtemberg, les actions sont menées sous contrôle des Ministères de l'agriculture, de l'environnement et de l'espace rural.

## VI.2.2 - Les actions définies

Ce sont des mesures de nature réglementaire ou incitatives qui ont une importance distincte en France et en Allemagne.

Deux sources de pollution peuvent être distinguées :

- les sources ponctuelles identifiables et assez facilement curables,
- les sources diffuses, difficilement repérables et donc difficiles à traiter.

Pour ce qui concerne les sources ponctuelles, les autorités françaises et allemandes s'accordent à dire que les solutions sont essentiellement réglementaires (en France : règlement sanitaire départemental, réglementation des rejets, réglementation sur les installations classées). Une attention toute particulière est accordée aux périmètres de protection des captages (970 km<sup>2</sup> soit 12 % de la superficie de l'Alsace). Pour ce qui concerne les sources diffuses, la France considère que les cas particuliers sont nombreux, que les agriculteurs ne sont pas maîtres de certains facteurs notamment climatiques et que les résultats scientifiques actuels ne permettent pas d'effectuer un bilan de pollution correct dans chaque situation. C'est pourquoi, une politique essen-

tiellement incitative de conseils aux agriculteurs est actuellement menée.

La RFA, quant à elle, a émis le souhait de traiter le problème en employant des moyens réglementaires immédiats, considérant que leur efficacité serait plus grande. Cette réglementation devrait avoir un aspect évolutif en fonction de l'avancement des connaissances scientifiques. La RFA désire donc pouvoir contrôler la fumure azotée dans les zones sensibles des périmètres de protection des captages d'eaux souterraines. Face à cette demande des autorités, les scientifiques allemands se sont engagés dans une recherche appliquée en vue de la définition d'une méthode de contrôle. Elle a abouti à la définition d'un seuil limite de 45 kg N-NO<sub>3</sub>/ha à l'automne dans les 90 premiers centimètres du sol. Cette méthode, bien que controversée, entrera en vigueur au Bade-Wurtemberg dans le cadre de la loi SchALVO.

Les mesures pratiques exposées ci-après font donc l'objet en France d'actions essentiellement incitatives. Elles sont intégrées au Bade-Wurtemberg à la loi SchALVO adoptée le 1<sup>er</sup> janvier 1988 et qui sera mise en application le 1<sup>er</sup> janvier 1991. Elles portent sur :

- un véritable raisonnement du bilan azoté allant jusqu'à la remise en cause de l'approche purement agronomique et qui fixe les doses en fonction d'un objectif de rendement (diminution des apports d'engrais),
- le maintien des parcelles en prairie,
- la protection des zones humides propices à une dénitrification des eaux,
- la limitation de l'irrigation,
- l'absence d'épandage de lisier en période hivernale.

Le respect des eaux souterraines en zone de grande culture nécessite :

- le maintien d'une bonne structure du sol,
- le maintien d'une couverture constante du sol réduisant nettement les phénomènes d'entraînement d'automne et d'hiver,
- l'emploi éventuel d'un engrais vert durant la période hivernale,
- le fractionnement des apports d'engrais,
- un ensemble de prescriptions qui font l'objet d'une diffusion en France et en RFA (en particulier sous forme de plaquettes d'information) afin de sensibiliser et conseiller le monde agricole.

La recherche permanente de l'abaissement des coûts de production va dans le sens d'une meilleure maîtrise du problème.

Le problème des cultures maraîchères est plus complexe car les quantités d'azote mises en jeu sont grandes et les sols souvent plus légers et filtrants facilitent le lessivage. L'action devrait donc aller



dans le sens d'une modification des pratiques culturales couplée à des améliorations génétiques.

Les nitrates ne sont pas, à l'heure actuelle, le seul produit d'origine agricole posant problème. Une action est également à mener pour appréhender les risques liés à l'utilisation des pesticides. Il est nécessaire de se limiter à l'emploi de substances non rémanentes (y compris métabolites), sans impact toxique, pas trop mobiles et pour lesquelles des moyens d'analyse même à faible concentration existent. Il semble par exemple impératif d'écarter l'emploi de l'atrazine et de toutes les triazines.

### VI.2.3 - La teneur seuil de 45 kg N-NO<sub>3</sub>/ha en Allemagne

L'une des possibilités pour assurer l'absence de pollution à partir d'une surface donnée (zone de captage par exemple) est l'achat de terres qui sont alors laissées en prairies. Cette solution est toutefois fort coûteuse, il est donc préférable de contrôler le lessivage des sols sous culture et d'imposer un maximum de fertilisation en fonction d'un objectif donné.

Des études menées sur le terrain ont montré qu'il existait un maximum de stock azoté dans le sol en automne et que la phase de lessivage la plus intense apparaissait en hiver. L'idée de limiter le stock automnal post-récolte pour diminuer les risques potentiels de pollution a été émise.

Des mesures sont effectuées entre le 1<sup>er</sup> novembre et le 15 décembre. Si le stock est supérieur à 45 kg N-NO<sub>3</sub>/ha dans les 90 premiers cm du sol (loi SchALVO), il est admis que les prescriptions concernant la fumure n'ont pas été suivies par l'agriculteur (il existe toutefois des exceptions pour certains sols particuliers : sols de moor et d'anmoor à taux d'humus important...).

Pourquoi cette limite de 45 kg ?

Sur la base des travaux de **Sontheimer** et **Rohmann** [1986] une augmentation de 90 mg/l de la concentration de l'eau du sol en nitrates intervient pour des précipitations de 220 mm lorsque le stock initial du sol est de 45 kg N-NO<sub>3</sub>/ha. Ce résultat suppose que la totalité du stock automnal est lessivé en hiver. Ces résultats sont discutés, l'université de Hohenheim ayant, entre autres, établi que tout le stock n'était pas nécessairement lessivé (cf. IV.2.3). La règle a toutefois été adoptée sachant qu'elle est sujette à modifications en fonction de l'avancement de la recherche. Dans l'optique de la réglementation, 36 000 sites ont été explorés en 1987 et 80 000 en 1988, principalement par discrétisation en trois horizons 0-30, 30-60 et 60-90 cm. En marge des teneurs en nitrates, d'autres paramètres tels le poids volumique, la proportion de pierres ou le type de sol ont été étudiés. Une valeur moyenne de 49,7 kg N-NO<sub>3</sub>/ha a été obtenue pour l'ensemble des sites de prélèvement.

#### VI.2.3.1 - Influence des types de culture

Les cultures laissant d'importants résidus post-récolte tels que maïs ou légumineuses à grains sont mises en cause, de même que les cultures spéciales (asperges, tabac, légumes) qui font l'objet d'un apport massif de fumure.

#### VI.2.3.2 - Incidence d'un engrais organique

Épandus trop tardivement et en trop grande quantité, les engrais organiques sont mal utilisés par les plantes, ce qui induit des résidus en nitrates importants, supérieurs de 15 à 20 kg/ha à la moyenne.

#### VI.2.3.3 - Mesures de printemps

En sus des mesures automnales, 10 000 champs ont été explorés en février, mars et avril 1988 en Bade-Wurtemberg, 8 000 comparaisons entre situations en automne 1987 et printemps 1988 ont été menées et font apparaître que :

- de fortes teneurs en automne induisent un fort lessivage,
- les cultures spéciales sont particulièrement polluantes,
- la détermination du résidu nitrique post-récolte n'est pas une règle absolue, mais elle permet de donner des indications sur les risques potentiels de lessivage.

Cette méthode, malgré ses limites, est considérée par les pouvoirs publics du Bade-Wurtemberg comme une solution face à l'urgence du problème.

### VI.2.4 - Mise en œuvre pratique de la loi SchALVO au Bade-Wurtemberg

Le décret sur les périmètres de protection et les mesures compensatoires (loi SchALVO du 1<sup>er</sup> janvier 1988) a entraîné l'adoption de mesures de protection des périmètres de captage concernant tant la pollution par les nitrates que celle par les pesticides.

A partir du 1<sup>er</sup> janvier 1991, le dépassement de la teneur limite des 45 kg N-NO<sub>3</sub>/ha entraînera des sanctions pour les agriculteurs. Son respect donnera droit à bonification. Certaines exceptions ont été prévues pour tenir compte des facteurs dont l'agriculteur n'est pas maître. De vastes campagnes de contrôles à la charge du Land sont prévues pour vérifier la mise en application de la loi.

---

## Conclusion

---

Le colloque des 6-7 octobre 1988 a constitué une occasion privilégiée pour les scientifiques et respon-

sables des pouvoirs publics français et allemands. Elle leur a permis de confronter leurs expériences et leurs analyses du thème crucial de la pollution des eaux souterraines en général et du problème des nitrates en particulier. Au-delà de la complémentarité des résultats de recherche, de nombreuses approches communes ont pu être mises en évidence, parmi lesquelles émergent :

- la nécessité d'un travail pluridisciplinaire des chercheurs,
- la nécessité d'un dialogue constant entre chercheurs et gestionnaires qui doit déboucher sur un véritable multipartenariat entre scientifiques, aménageurs, décideurs et utilisateurs de l'eau.

Cette manifestation s'est inscrite dans le cadre d'une coopération transfrontalière rhénane de longue date. Celle-ci est d'autant plus logique que les problèmes rencontrés de part et d'autre du Rhin sont de même nature et nécessitent un traitement en coordination.

De telles rencontres montrent que le dialogue est ouvert, souhaitons qu'il s'intensifie dans les années à venir.

---

## Référence bibliographique

---

KOBUS H. et ZILLIOX L., Hrsg. Eds. (1988). - Nitratbelastung des Grundwassers - Contamination des eaux souterraines par les nitrates. Actes du colloque franco-allemand, 6/10/88, Stuttgart

(Universität de Stuttgart et Université Louis-Pasteur de Strasbourg), Heft 71, Mitteilungen/Institut für Wasserbau - Universität Stuttgart, nov. 1988, 318 p., ISSN 0343-1150. Adresse : IFW, Univ. Stuttgart, Pfaffenwaldring 61, D - 7000 Stuttgart 80

## Liste des conférenciers

- VETTER E. - Umweltminister des Landes Baden-Württemberg  
HACENE M. - Préfet de la Région Alsace et du Bas-Rhin  
DUROUSSEAU M. - Délégué régional à l'architecture et à l'environnement d'Alsace  
KOBUS H. - Universität Stuttgart  
VAN DER PLOEG R., HUWE B. - Universität Hohenheim  
RÖDELSPERGER M., ROHMANN U. - Universität Karlsruhe  
KINZELBACH W. - Universität Kassel  
ZILLIOX L. - Université de Strasbourg  
SCHENCK Ch. - INRA de Colmar  
KUGLER J., LAIGLE D. - Université de Strasbourg, ENITRTS  
ACKERER Ph., MÜNTZER P., ESTEVES M. - Université de Strasbourg  
CARBIENER R., TREMOLIERES M., ORTSCHAIT A., KLEIN J.P. - Université de Strasbourg  
FLINSPACH D., MEHLHORN H., RÖHRLE B. - Zweckverband Landeswasserversorgung, Stuttgart  
SCHNEPF R. - Ministerium für Umwelt, Stuttgart  
SCHWEIGER P. - Landesanstalt für Pflanzenbau, Forchheim  
SCHULTZ R. - Ministerium für Landwirtschaft und Forsten, Stuttgart  
OLLIVIER J.Y. - Ministère de l'agriculture et de la forêt, Paris  
RAMON S. - Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Moulins-les-Metz  
KREBS G. - Bureau de recherches géologiques et minières, Strasbourg  
FRITSCH B. - Institut für Wirtschaftsforschung, ETH Zürich

## Présidents de séances

- MDgt. FISCHER - Ministerium für Umwelt, Baden-Württemberg  
OPPENEAU J.C. - Chef SRETIE, Ministère de l'environnement, Paris