



COMMISSION DES COMMUNAUTÉS
EUROPÉENNES
DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SCIENCE,
DE LA RECHERCHE ET DU DÉVELOPPEMENT
(contrat ENV 740 F - RS)

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
DIRECTION DE LA PRÉVENTION
DES POLLUTIONS
Service de l'Eau
(convention 13/84)

procédé de dénitrification des eaux souterraines en vue de leur potabilisation

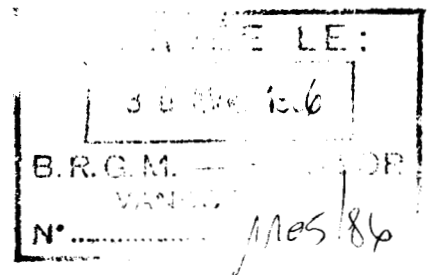


n° 11313

A. Landreau
Bureau de recherches géologiques et minières

F. Boussaïd
M. Gillet
Laboratoire de chimie des nuisances et génie de l'environnement
Ecole nationale supérieure de chimie de Rennes
avenue du Général-Leclerc - 35000 RENNES

mars 1986
86 SGN 091 EAU



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Département Eau

B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - Tél.: (33) 38.64.34.34

SOMMAIRE

| | Pages |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| INTRODUCTION : CADRE DE L'ETUDE | 1 |
| Première partie - Généralités sur le procédé de dénitrification expérimenté et description du site expérimental | 7 |
| 1 - PRINCIPE DU PROCEDE DE DENITRIFICATION EXPERIMENTE | 8 |
| 1.1 - Principe de la réaction de dénitrification mise en oeuvre | 8 |
| 1.2 - Principe du procédé mis en oeuvre | 9 |
| 2 - DESCRIPTION DE L'EXPERIMENTATION REALISEE | 13 |
| 2.1 - Résumé des principaux résultats obtenus en laboratoire | 13 |
| 2.1.1 - Garnissage du réacteur | 13 |
| 2.1.2 - Maquette de laboratoire | 13 |
| 2.2 - Caractéristiques du pilote de terrain | 15 |
| 2.2.1 - Description physique du site | 15 |
| 2.2.2 - Equipement du site | 17 |
| 2.3 - Programme expérimental mis en oeuvre | 21 |
| Deuxième partie - Déroulement de l'expérimentation et principaux résultats obtenus | 23 |
| 1 - ETUDES D'APPUI REALISEES EN LABORATOIRE | 24 |
| 1.1 - Etudes sur la microflore dénitrifiante | 24 |
| 1.1.1 - Composition de la paille | 24 |
| 1.1.2 - Généralités sur le métabolisme de la cellulose et des hémicelluloses | 26 |
| 1.1.3 - Flore bactérienne dénitrifiante | 26 |
| 1.2 - Etude d'autres matériaux dénitrifiants de type végétal | 27 |
| 1.2.1 - Influence sur le rendement de la réaction de dénitrification | 29 |
| 1.2.2 - Influence sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau en sortie de réacteur | 29 |
| 2 - EXPERIMENTATIONS MENEES SUR LE SITE | 33 |
| 2.1 - Caractéristiques de fonctionnement | 33 |
| 2.1.1 - Expérimentation 1 | 33 |
| 2.1.2 - Expérimentation 2 | 33 |
| 2.1.3 - Expérimentation 3 | 33 |
| 2.1.4 - Expérimentation 4 | 34 |
| 2.1.5 - Expérimentation 5 | 35 |
| 2.1.6 - Simulations hydrauliques de la réinjection | 35 |
| 2.2 - Principales conclusions techniques | 37 |

| | |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.1 - Abaissement de la teneur en nitrates | 37 |
| 2.2.2 - Fonctionnement et efficacité des réacteurs | 40 |
| 2.2.3 - Fonctionnement et efficacité de la filtration | 46 |
| CONCLUSION GENERALE | 53 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 57 |
| ANNEXE 1 - Simulation du pilote de dénitrification de Messac | 61 |
| ANNEXE 2 - Description des résultats expérimentaux obtenus | 77 |
| ANNEXE 3 - Résultats des mesures | 118 |

Les annexes peuvent être consultées aux bibliothèques

du Département EAU et du Département DIG

RESUME

Une étude visant à expérimenter en vraie grandeur un procédé de dénitrification des eaux souterraines s'est déroulée entre janvier 1984 et décembre 1985 sur un site expérimental équipé totalement à cet effet et situé sur la commune de Messac (département de l'Ile-et-Vilaine). Ces travaux ont été menés par le Bureau de recherches géologiques et minières en collaboration avec le laboratoire de Chimie des nuisances et génie de l'environnement de l'Ecole nationale supérieure de chimie de Rennes. Cette expérimentation s'est déroulée avec l'appui financier :

- de la Commission des communautés européennes (contrat ENV 740 F-RS)
- du Ministère de l'environnement (convention 13/84)
- du Ministère de la recherche et de la technologie.

Le principe du procédé qui fait appel à une dénitrification de type hétérotrophique, consiste à faire percoler sur des milieux dénitrifiants des eaux brutes pompées dans un forage, puis le retour par le sol et le sous-sol vers le dit forage. Il s'établit ainsi une boucle nappe-réacteur-sol-nappe sur laquelle on prélève une partie de l'eau cyclée. Une dilution par mélange, des apports bruts de la nappe et des eaux recyclées après passage sur les milieux dénitrifiants, conduit à la teneur requise pour une eau potable.

Le système comme indiqué sur le schéma ci-après se compose d'un forage central à partir duquel une partie de l'eau pompée (Q_P) est envoyée en distribution (Q_D), l'autre part étant dérivée sur des réacteurs dénitrifiants (Q_R). L'eau issue de ces derniers est infiltrée dans le sous-sol où elle subit un complément d'épuration dans le milieu non saturé avant de réjoindre la nappe et d'être reprise par le forage (Q_P).

Si α correspond à la fraction du débit recyclé :

$$C_D = \alpha C_R + (1 - \alpha) C_N$$

$$\alpha = Q_R/Q_P$$

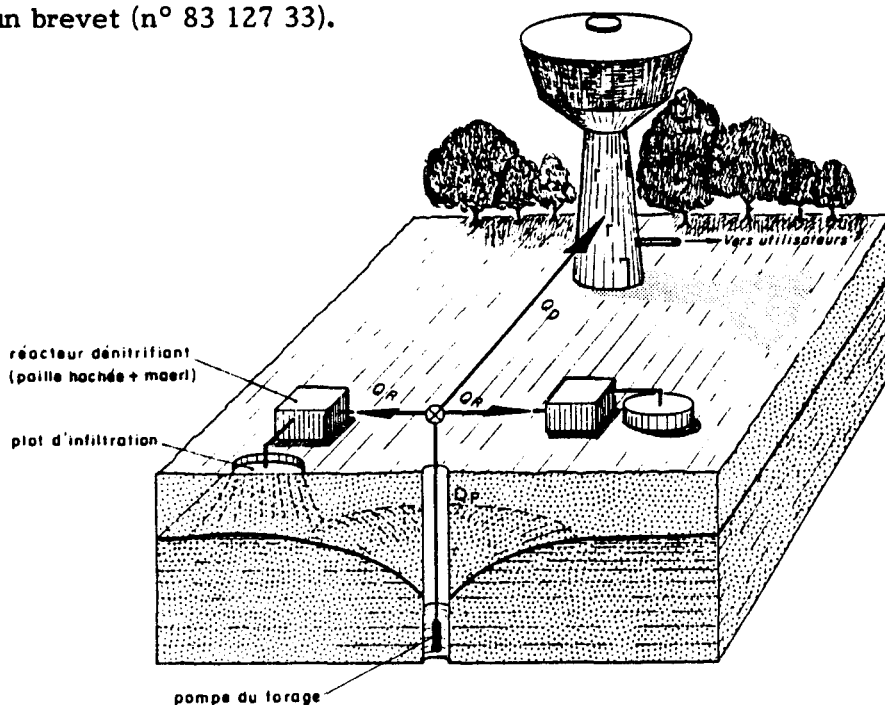
C_D = concentration en nitrates distribuée (eau pompée)

C_R = concentration en nitrates réinjectée (\neq en sortie de réacteur)

C_N = concentration en nitrates de la nappe.

Suite à des essais préalables en laboratoire (année 1983), le mélange dénitrifiant utilisé est constitué d'une association de paille broyée finement (substrat

carboné) et de sable algair marin calcaire (maerl) présentant le double avantage de tamponner le pH du milieu et d'offrir par sa structure vacuolaire de nombreux sites de fixation aux bactéries dénitrifiantes. Ce procédé de dénitrification a fait l'objet du dépôt d'un brevet (n° 83 127 33).



Principe du procédé de dénitrification expérimenté

Au total, 5 séries d'expérimentations se sont déroulées sur les 2 années consacrées à cette étude. Les 3 premières expérimentations correspondent, en temps cumulé, à un fonctionnement de 160 jours. Le débit total pompé a été de 3 m³/h dont 20 à 30 % était dérivé sur 3 réacteurs dénitrifiants. L'eau en sortie de ces réacteurs était infiltrée dans le sous-sol à proximité du forage. Les 2 dernières expérimentations correspondent à un fonctionnement continu de 250 jours à un débit de 11 m³/h dont 3 sont dérivés sur les réacteurs. Ce débit pompé correspond au créneau visé par ce procédé de dénitrification, à savoir l'alimentation de collectivités dont les besoins journaliers en eau sont inférieurs à 500 m³ (petites collectivités rurales les plus fréquemment concernées par la pollution "nitrates" et peu justiciables d'usines de traitement des eaux, pour des raisons financières).

A l'exception des 25 premiers jours de fonctionnement pour lesquels la teneur en nitrates de l'eau pompée au forage était peu différente de celle de la nappe, il a été observé le plus fréquemment des différences de l'ordre de 10 à 15 mg/l pour une teneur de la nappe fluctuant entre 50 et 60 mg/l et un pourcentage de débit recyclé évoluant entre 20 et 30 %.

A la sortie des réacteurs, l'eau partiellement dénitrifiée contient des bactéries, des matières organiques et un peu de nitrites. Cette eau, impropre à la consommation, est infiltrée à travers la zone non-saturée pour lui permettre de s'affiner et retrouver des caractères conformes aux normes de potabilité. C'est ainsi qu'après un total de 410 jours de fonctionnement et une quantité infiltrée d'eau dénitrifiée d'environ 20 000 m³, il n'a été observé aucun indice de contamination pour l'eau du forage dont la qualité physico-chimique et bactériologique est restée identique à celle de la nappe située en amont hydraulique de ce forage.

Le Conseil des communautés européennes dans sa directive du 15 juillet 1980 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine a fixé la concentration maximale admissible (CMA) à 50 mg/l pour les nitrates.

Une enquête réalisée en 1981 par le Ministère de la Santé indiquait que 584 unités de distribution sur un total de 19 974 distribuait une eau ayant une teneur supérieure à la CMA. Le tableau 1 ainsi que la figure 1, extraits de cette enquête, traduisent globalement la situation.

| Teneur en nitrate en mg/l | 0 - 25 | 25 - 50 | 50 - 100 | > 100 | Total |
|---------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|------------------|------------|
| Populations concernées | 42 757 305 80,44 % | 9 241 596 17,38 % | 1 129 518 2,12 % | 32 403 0,06 % | 53 160 822 |
| Nombre d'unités de distribution concernées | 16 729 83,75 % | 2 661 13,32 % | 555 2,78 % | 29 0,15 % | 19 974 |

Tableau 1 - Populations et unités de distribution concernées en fonction des teneurs en nitrate des eaux

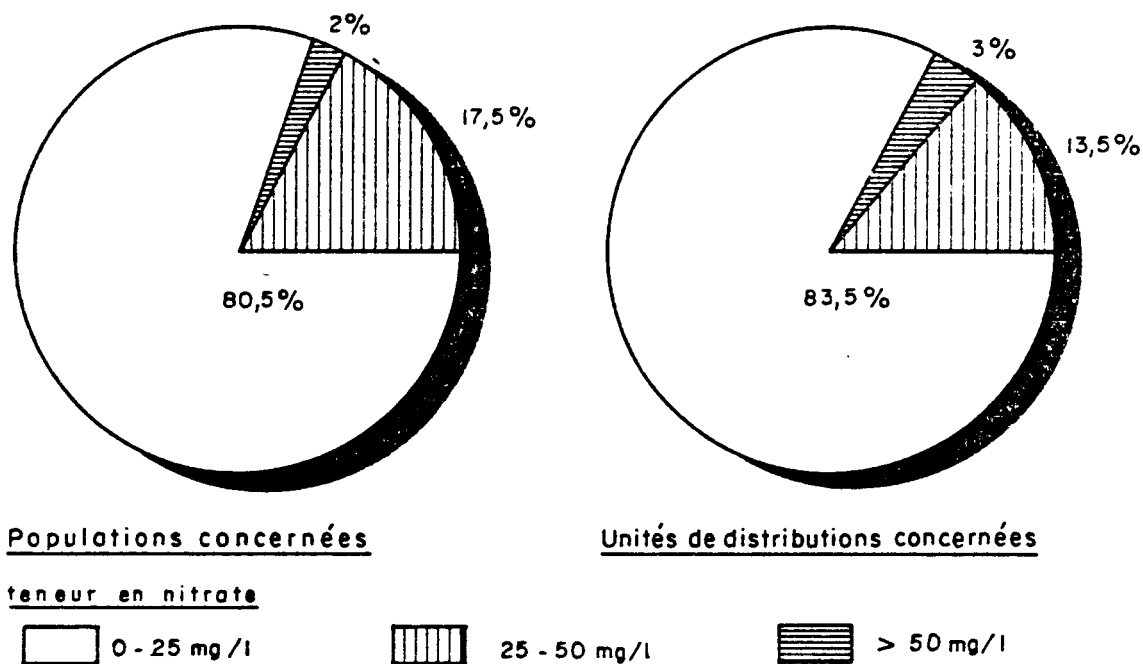


Figure 1 - Populations et unités de distribution concernées en fonction des teneurs en nitrate des eaux

Diverses solutions existent pour remédier à cette situation :

- Suppression des causes ponctuelles de contamination (dépôts de déchets, rejets d'eaux résiduaires dans le sous-sol), notamment à proximité des captages utilisés pour la distribution publique. La mise en place de périmètres de protection permet de lutter efficacement contre ces types de pollution qui, s'ajoutant parfois au "bruit de fond" d'origine agricole, seraient susceptibles de déclasser certains captages.
- Meilleure gestion de l'activité agricole par une modification des pratiques culturales, notamment en optimisant les fumures azotées afin que le stock d'azote mis annuellement à la disposition d'une culture soit le moins excédentaire possible par rapport aux besoins cultureux. Des expérimentations sont actuellement menées dans ce sens. Il faut toute-fois être conscients que les effets ne seront souvent sensibles qu'à long terme du fait de l'inertie du "système géologique" et que, par ailleurs, ces effets pourraient s'avérer parfois insuffisants pour abaisser la teneur en nitrates en-dessous du seuil de 50 mg/l.
- Abandon des ouvrages dont les eaux possèdent une concentration trop élevée en nitrates et l'utilisation d'autres ressources, lorsque cela est possible, telles que les eaux superficielles (rivières, lacs) ou les aquifères plus profonds. Cependant ces eaux peuvent présenter d'autres inconvénients du fait de l'éventuelle présence de composés indésirables nécessitant alors la mise en oeuvre de traitements d'épuration, préalablement à la distribution publique. Il faut également savoir qu'à terme, l'eau des sources et des émergences qui drainent les grandes nappes libres, c'est-à-dire l'eau superficielle des cours d'eau à l'étiage, aura une composition chimique voisine de celles des nappes.
- Dilution par des eaux dont la teneur en nitrates est faible (interconnexion entre réseaux de distribution).
- Dénitrification des eaux en station de traitement. Des procédés de dénitrification des eaux à des fins de potabilité, autorisés par le Conseil supérieur d'hygiène de France, ont fait récemment leur apparition sur le marché. Cependant il semble, tout au moins pour le présent, que le coût du mètre cube d'eau épuré est élevé et ceci d'autant plus que les quantités d'eau à traiter sont faibles. Or c'est précisément dans les petites communes rurales que se pose le problème des nitrates.

Le tableau 2 (extrait de l'enquête du ministère de la santé, 1982) montre qu'environ 67 % des unités de distribution d'eau concernées par des teneurs en nitrates supérieures à la CMA desservent une population inférieure à 1 000 habitants.

| Population desservie par chaque unité de distribution (habitants) | | 0 - 500 | 500 - 1 000 | 1 000 - 10 000 | > 10 000 | Total | |
|-------------------------------------------------------------------|-------|-----------------|---------------|----------------|---------------|-------------|-----------|
| Teneur moyenne en nitrate | ≥ 50 | Nombre d'unités | 261 48,2 % | 102 18,80 % | 156 28,8 % | 23 4,2 % | 542 |
| | | Population | 5,5 % | 6,5 % | 36,7 % | 51,3 % | 1 129 518 |
| | > 100 | Nombre d'unités | 19 65,5 % | 4 13,8 % | 5 17,2 % | 1 3,5 % | 29 |
| | | Population | 10,2 % | 5,9 % | 52,9 % | 31,0 % | 32 403 |
| | ≥ 50 | Nombre d'unités | 280 49 % | 106 18,6 % | 161 28,2 % | 24 4,2 % | 571 |
| | | Population | 5,7 % | 6,4 % | 37,2 % | 50,7 % | 1 161 921 |

Tableau 2 - Répartition en fonction de leur taille des unités de distribution dont la teneur moyenne en nitrate est supérieure à 50 mg/l

En terme de débit, une population de 1 000 habitants correspond à un besoin journalier de l'ordre de 200 à 300 m³ d'eau.

L'origine principalement agricole de la pollution azotée fait que cette nuisance affecte surtout les captages des zones rurales et donc le plus souvent de petites collectivités autonomes quant à leur adduction d'eau potable. Dans ces conditions, le redéploiement des captages vers d'autres ressources ou l'interconnexion ne sont pas toujours possibles, efficaces, ou économiquement accessibles.

Le traitement "industriel" des eaux, pour des consommations journalières de moins de 500 m³ n'est pas économique, plus particulièrement pour des installations rurales qui se limitent au strict nécessaire (forage + pompe + château d'eau).

Cependant, malgré le nombre encore relativement réduit de consommateurs, ce sont ces populations qui sont le plus exposées et pour lesquelles il est donc urgent de fournir un remède.

Après avoir abordé l'étude des phénomènes de dénitrification naturelle qui se produisent dans certains milieux, nous avons pensé que des technologies simples pouvaient être appliquées à l'élimination des nitrates. En mettant à profit des phénomènes de dégradation microbiologique sur le site du captage et en s'appuyant

sur les propriétés de filtration-épuration du sol, nous avons donc recherché une voie aussi naturelle et aussi peu coûteuse que possible en investissement et fonctionnement.

En collaboration avec le Laboratoire de chimie des nuisances et génie de l'environnement de l'Ecole nationale supérieure de chimie de Rennes (CNGE), le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) a mené une expérimentation sur un procédé de dénitrification des eaux souterraines spécialement adapté aux petites collectivités, c'est-à-dire celles pour lesquelles les besoins en eau sont inférieurs à 500 m³ par jour, environ.

Le procédé, dont le principe est décrit au chapitre suivant a été conçu dans toute la mesure du possible de manière à présenter une certaine rusticité : génie civil simple, intervention très réduite de personnel et ne nécessitant aucune qualification particulière, résidus de traitement valorisables et non polluants.

Les travaux d'expérimentation ont pu être menés grâce au soutien :

- de la Commission des communautés européennes
- du ministère de l'environnement (service de l'Eau)
- du ministère de la recherche et de la technologie.

L'équipe chargée de mener les travaux était constituée de 10 personnes.

Pour le BRGM :

| | |
|--------------------|-------------------------------------------------------|
| G. Brossier | Technicien au Département Eau |
| J.J. Collin | Chef du Département Eau |
| R. Duchene | Technicien du Service Géologique Régional de Bretagne |
| A. Landreau | Ingénieur au Département Eau - responsable de l'étude |
| H. Talbo | Chef du Service Géologique Régional de Bretagne |

Pour le laboratoire CNGE :

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------|
| F. Boussaïd | Ingénieur en préparation de doctorat de 3ème cycle |
| C. Connesson | En préparation de doctorat de 3ème cycle |
| M. Gillet | Technicienne de laboratoire |
| G. Martin | Directeur du laboratoire CNGE |
| M. Morvan | Maître de conférence |