



PROTECTION ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

à la demande

LES NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES

Exemples de répartition
et d'évolution des teneurs dans quelques aquifères français

Document public

B.R.G.M.
- 9. DEC. 1985
BIBLIOTHÈQUE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

Délégation à l'Environnement

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex

Tél.: (38) 64.34.34

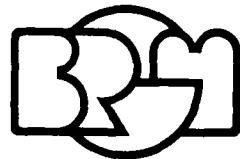
84 SGN 361 ENV

LES NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES

**Exemples de répartition
et d'évolution des teneurs dans quelques aquifères français**

par

A. LANDREAU - J.C. ROUX



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Délégation à l'Environnement

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex

Tél.: (38) 64.34.34

LES NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES

EXEMPLES DE REPARTITION ET D'EVOLUTION DES TENEURS DANS QUELQUES AQUIFERES FRANCAIS

LANDREAU A.* - ROUX J.C.**

R E S U M E

Une récente enquête réalisée par le Ministère de la Santé portant sur les années 1979-1981 sur l'ensemble de la France métropolitaine a démontré que 2 % de la population est alimentée par des adductions d'eau publiques dont la teneur en nitrates est égale ou supérieure à 50 mg/l. Une projection à l'an 2000 laisse à penser que si aucune mesure n'était prise ce serait plus de 20 % de la population qui serait concernée.

De nombreuses études hydrogéologiques réalisées en France depuis une dizaine d'année, principalement au titre de l'évaluation des ressources hydrauliques et du contrôle de la qualité des eaux souterraines ont indiqué quels étaient les aquifères contaminés et mis en évidence la croissance régulière de la pollution. A l'aide d'exemples choisis dans différentes régions et aquifères variés, cette note présente la répartition et l'évolution de la minéralisation des eaux souterraines en nitrates.

On y relève que le phénomène a débuté entre les années 1955 et 1975 selon les cas, et que, depuis cette date, il est général pour toutes les nappes libres. Le taux de croissance varie de 1 à 6 mg/l par an selon les points observés, et très souvent de 2 à 3 mg/l. Certains exemples montrent un doublement, voire un triplement des valeurs en 10 ans.

La répartition des teneurs dans un même aquifère peut également être extrêmement variable selon son degré de vulnérabilité et l'importance des sources de pollution. Celles-ci sont généralement d'origine agricole, mais cette étude démontre que les contaminations d'origine urbaine et industrielle jouent un rôle non négligeable, quoique assez localisé.

Pour terminer, nous présentons succinctement quelques recherches récentes ou en cours destinées à mieux connaître les mécanismes de migration des nitrates dans le milieu non saturé et dans les nappes, ainsi que les mesures qu'il convient de prendre pour supprimer ou limiter la pollution des captages d'eau destinés à la population humaine.

* Ingénieur hydrogéologue au BRGM, département de l'Eau

** Ingénieur hydrogéologue - Délégué à l'Environnement au BRGM

S O M M A I R E

	pages
1. INTRODUCTION	1
2. REPARTITION DES TENEURS EN NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES	3
2.1. Situation au niveau national	3
2.2. Répartition des teneurs dans les aquifères	4
2.2.1. Types d'aquifères contaminés	4
2.2.2. Répartition régionale	5
2.2.3. Répartition verticale	11
2.2.4. Evolution dans le temps	15
3. ORIGINE DES NITRATES	26
3.3.1. Nitrates provenant des sols forestiers ou sols cultivés anciens	27
3.3.2. Nitrates provenant de l'agriculture moderne	27
3.3.3. Nitrates d'origine domestique	27
3.3.4. Nitrates d'origine animale	28
3.3.5. Nitrates d'origine industrielle	29
3.3.6. Effet cumulé de différentes sources de nitrates	31
4. PROCESSUS DE CONTAMINATION DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE ..	35
4.1. Milieu physique dans lequel se propagent les nitrates	35
4.2. Présentation de recherches récentes	35
4.2.1. Craie de Champagne	38
4.2.2. Craie de Touraine	39
4.2.3. Craie en Haute-Normandie	39
4.3. Synthèse des éléments apportés par l'ensemble des profils	41
4.4. Points préférentiels de contamination des nappes	43
5. SOLUTIONS ENVISAGEABLES ET CONCLUSIONS	44
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

LES NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES

Exemples de répartition et d'évolution des teneurs dans quelques aquifères français

LANDREAU A. * - ROUX J.C. **

1. INTRODUCTION

L'alimentation en eau potable des collectivités représentait en 1975 4,3 milliards de m³ par an dont 2,8 milliards faisant appel aux eaux souterraines (prélèvements en nappes et sur sources). La qualité des eaux de distributions publiques est fixée par la circulaire du 15 mars 1962 du Ministère de la Santé. Bien que ce texte ne spécifie aucune limite de concentration en ce qui concerne les nitrates dans les eaux d'adduction collective, il conseille cependant une teneur inférieure ou égale à 44 mg/l, considérant qu'une valeur supérieure était susceptible de provoquer des troubles, notamment chez les nourrissons.

La circulaire du 10 juillet 1981 s'appuyant sur la directive CEE/80/778 du 15 janvier 1980 stipule qu'à partir d'août 1985 toutes les eaux destinées à l'alimentation humaine devront avoir une teneur en nitrates inférieure ou égale à 50 mg/l.

Pendant la période transitoire :

- la teneur en nitrates des eaux conditionnées doit être toujours inférieure ou égale à 44 mg/l ;
- l'utilisation d'un nouveau captage ne doit être autorisée que si l'eau produite a une teneur en nitrates inférieure ou égale à 50 mg/l ;
- l'eau d'une distribution existante contenant plus de 100 mg/l ne doit pas être consommée ;
- l'eau d'une distribution existante dont la teneur en nitrates est comprise entre 50 et 100 mg/l peut être utilisée pour la consommation, sauf pour les femmes en période de gestation et les nourrissons âgés de moins de six mois.

* Ingénieur hydrogéologue au BRGM, département de l'Eau .

** Ingénieur hydrogéologue - Délégué à l'Environnement au BRGM.

(1) Communication présentée le 25 octobre 1984 à Dijon au Colloque national de l'Association internationale des entretiens écologiques (A.I.D.E.C.)- La pollution par les nitrates, quels responsables - A paraître dans les "Cahiers de l'A.I.D.E.C." numéros 19 et 20"

DEPARTEMENTS FRANCAIS OU LA TENEUR EN NITRATES EST DEPASSEE DANS AU MOINS UNE UNITE DE DISTRIBUTION (PERIODE 1979/1981)



Figure 1

(source Ministère de La Santé)

Depuis plus de 10 ans les hydrogéologues ont pu constater, lors d'études générales de service public, réalisées dans certaines régions, notamment la mise en place de réseaux d'observation de la qualité des eaux souterraines, d'une part une inégale répartition spatiale des teneurs en nitrates dans une même nappe, d'autre part une forte croissance pouvant atteindre sur certains points un doublement ou un triplement des valeurs en quelques années.

La récente enquête réalisée par le Ministère de la Santé portant sur les années 1979-1981, sur l'ensemble du territoire métropolitain, a mis en évidence qu'environ 1 million d'habitants -soit 2 % de la population- est alimentée par des adductions d'eau publiques dont la teneur en nitrates est égale ou supérieure à 50 mg/l. Or 92 % de ces unités de distribution s'adressent à des captages d'eaux souterraines. L'enquête a également fréquemment montré une augmentation des teneurs de 1 à 3 mg/l par an avec parfois, en certains lieux, une croissance de l'ordre de 10 mg/l.

Une projection à l'an 2000 laisse à penser que si aucune mesure n'était prise ce serait plus de 20 % de la population française qui recevrait une eau dont la teneur en nitrates serait supérieure à 50 mg/l.

L'ensemble des études et enquêtes effectuées depuis quelques années tant par le BRGM que par l'Administration (Agriculture, Environnement, Santé, Agences de Bassin) permet actuellement de faire un premier bilan de la répartition, de l'évolution, de l'origine et des mécanismes de propagation des nitrates dans les eaux souterraines, ainsi que des solutions envisageables pour remédier à la situation.

2. REPARTITION DES TENEURS EN NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES

2.1. Situation au niveau national

Il n'existe pas actuellement de cartographie satisfaisante de la teneur en nitrates des différents aquifères français. Seuls les résultats de l'enquête du Ministère de la Santé donnent un état comparatif des valeurs relevées dans les nappes d'eau souterraine de notre pays (fig. 1). Etant donné que ce travail prend en compte, d'une part les limites administratives départementales (et non les limites naturelles des aquifères), d'autre part les unités de distribution (qui peuvent s'adresser à différentes nappes et dont le nombre est très variable d'un département à l'autre) ce document n'a donc qu'une valeur indicative pour l'hydrogéologue.

On y relève cependant que :

- la teneur moyenne de 150 mg/l est dépassée au moins une fois dans deux départements (l'Indre et le Loiret) et les teneurs maximales dans 5 départements (Eure et Loire, Finistère, Maine et Loire, Orne et Seine et Marne).
- la teneur moyenne de 100 mg/l est dépassée au moins une fois dans 16 départements située dans les régions Nord-Pas-de-Calais, Picardie, Sud et Est de l'Ile-de-France, une partie de la région Centre, de la Touraine et de l'Anjou et dans trois départements isolés : Finistère, Moselle et Ariège.
- la teneur moyenne comprise entre 50 et 100 mg/l est atteinte au moins une fois dans 37 départements répartis en Bretagne, Haute et Basse-Normandie, Pays-de-Loire, Charentes-Poitou, Centre, Champagne, Alsace, Lorraine et Midi-Pyrénées.

On voit ainsi que dans 57 départements au moins une unité de distribution fournit une eau dont la teneur en nitrates est supérieure à la norme de 50 mg/l et que 92 % d'entre elles sont entièrement alimentées par des captages d'eau souterraine.

La répartition géographique montre que les départements les plus contaminés sont à vocation agricole, et la taille des unités concernées que les zones rurales sont les plus touchées (68 % de ces réseaux desservant une population de moins de 1000 habitants et 95 % de moins de 10.000 habitants).

2.2. Répartition des teneurs dans les aquifères

2.2.1. TYPES D'AQUIFERES CONTAMINES

Les plus fortes concentrations en nitrates se rencontrent dans les nappes libres. En effet, celles-ci, par opposition aux nappes captives, ne sont pas protégées par des couches géologiques imperméables, et sont plus ou moins vulnérables aux pollutions de surface.

Le type de perméabilité de l'aquifère (perméabilité de fissures pour les calcaires et les roches éruptives, perméabilité d'interstices pour les sables et les grès) joue également un rôle important eu égard de la vulnérabilité aux contaminations de surface.

La profondeur de la nappe par rapport au sol est aussi un facteur de vulnérabilité non négligeable.

On peut citer parmi les principales nappes libres contaminées par les nitrates : la craie du Bassin de Paris et du Nord de la France, les calcaires de Brie et les calcaires de Beauce, les calcaires du Poitou-Charentes ainsi que les grandes nappes alluviales : plaine du Rhin, vallée de la Garonne, de la Loire, du Rhône.

Au contraire des nappes captives profondes, telles que l'Albien du Bassin-de-Paris, les Sables éocènes de Gironde ou encore les Sables Cénomaniens de Touraine ont des teneurs en nitrates pratiquement nulles.

2.2.2. REPARTITION REGIONALE

A la suite des inventaires des ressources hydrauliques, le BRGM s'est préoccupé de la qualité des eaux souterraines. A partir de 1975, il a mis progressivement en place, au titre du service public et avec le soutien financier des Agences de Bassin et des conseils généraux, des réseaux de contrôle de la qualité des nappes. Basés sur une sélection de points d'eau représentatifs, ces réseaux prennent en compte tant des captages A.E.P. que des forages industriels et des sources non captées, l'ensemble des points ayant une répartition géographique aussi homogène que possible.

Ces réseaux existent dans une quinzaine de départements du bassin de Paris et de l'Est de la France, ils font l'objet d'un suivi régulier, généralement annuel, comprenant des prélèvements et des analyses physico-chimiques complètes.

A la faveur de ces travaux, des cartes d'isoteneurs de certains éléments chimiques ont été dressées pour différentes nappes.

Les exemples qui suivent illustrent bien la variabilité des teneurs en nitrates qui peut exister dans un même aquifère.

. Alsace

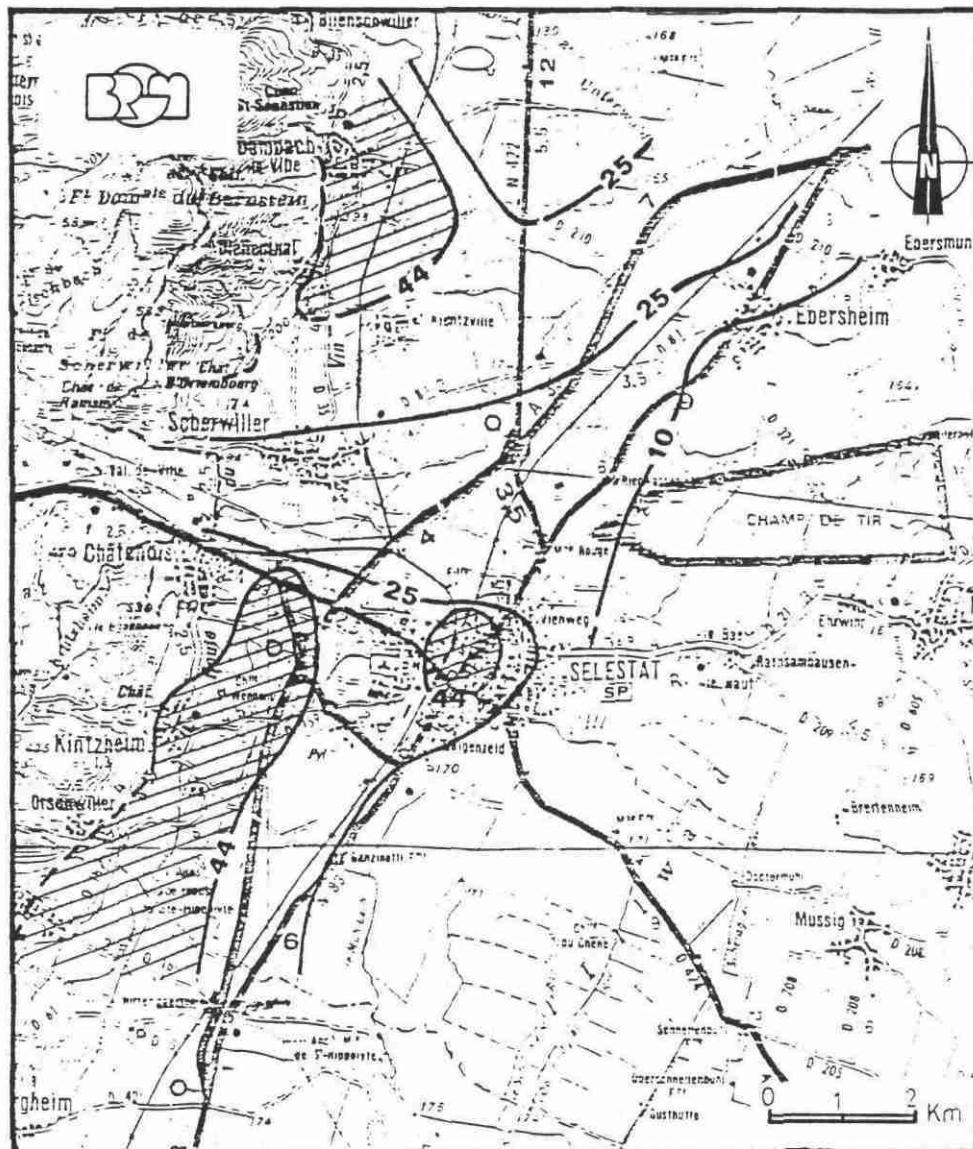
Les alluvions de la plaine du Rhin constituent un aquifère puissant à forte perméabilité d'interstices. Dans le secteur vignoble-Sélestat (fig. 2), les concentrations varient de 1 à 70 mg/l. La zone où les concentrations sont supérieures à 44 mg/l s'étend au pied du coteau vers le centre plaine sur une largeur d'environ 2 kms. La plage inférieure à 10 mg/l est axée sur la rivière l'Ill.

Dans le secteur Bâle-Mulhouse, les fortes teneurs se situent également le long des coteaux, où l'épaisseur de la nappe est faible, ainsi qu'au niveau des agglomérations de Colmar et Sélestat (contamination d'origine urbaine). Par contre les pollutions d'origine industrielle sont relativement limitées car les eaux sont repompées par les industries.

. Brie

La nappe des calcaires de Brie est sub-affleurante et de faible puissance. L'étude détaillée de 4 captages durant deux ans a mis en évidence une variation des valeurs médianes de 5 à 50 mg/l.

REPARTITION DES TENEURS EN NITRATES DANS LA NAPPE DE LA
PLAINE D'ALSACE (secteur Vignoble-Sélestat)



10° Courbe d'isoteneurs en NO₃

FIGURE 2

La nappe des calcaires de Champigny (fig. 3) accuse des variations comprises entre 10 et 40 mg/l avec deux plages maximales au Nord de Nangis et au Nord-Est de Provins. Ces secteurs plus minéralisés en nitrates proviennent du déversement de la nappe supérieure du calcaire de Brie dans les zones d'absorption de la vallée de l'Yères et du bassin de Provins. (fig. 14 bis a)

. Beauce

La nappe des calcaires de Beauce, comme les deux précédentes, est à perméabilité de fissures. La cartographie établie en 1973 (Fig. 4A) faisait ressortir une variabilité de teneurs en nitrates de 0 à plus 60 mg/l. Les secteurs où leur teneur est nulle ou faible (< 3 mg/l) à l'Est d'Orléans, correspond à la région où la nappe est protégée par une couverture de sables et d'argiles du Burdigalien (forêts d'Orléans et de Montargis) : les fortes valeurs apparaissent dans les secteurs où la nappe est libre (ex : Beauce de Patay).

Par ailleurs, l'étude de 7 captages en 1975-1976 mettait en évidence des valeurs médianes de 17 à 112 mg/l.

La nouvelle carte dressée avec les valeurs 1983 met en évidence une augmentation et une extension des zones à minéralisation élevée, alors que le secteur où la nappe est protégée a peu évolué.

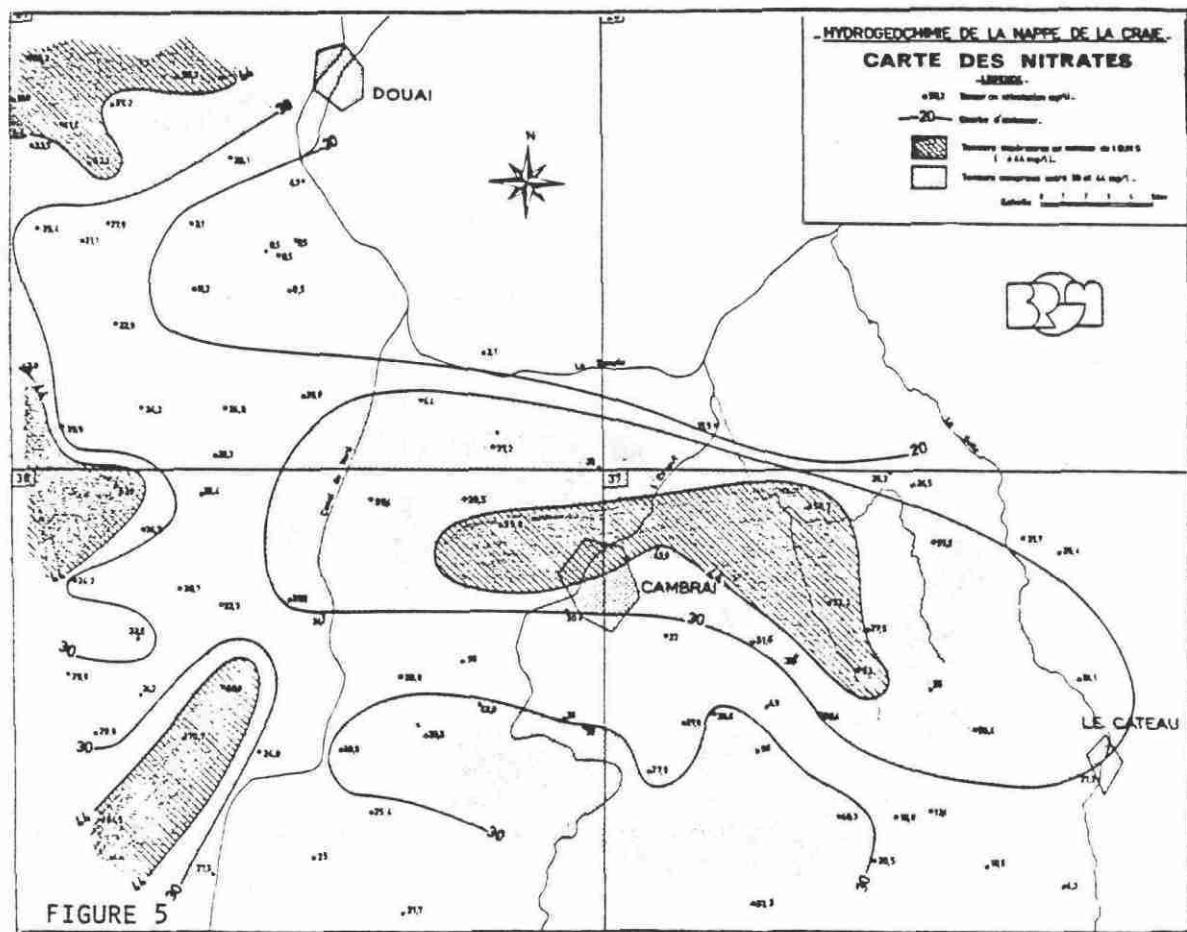
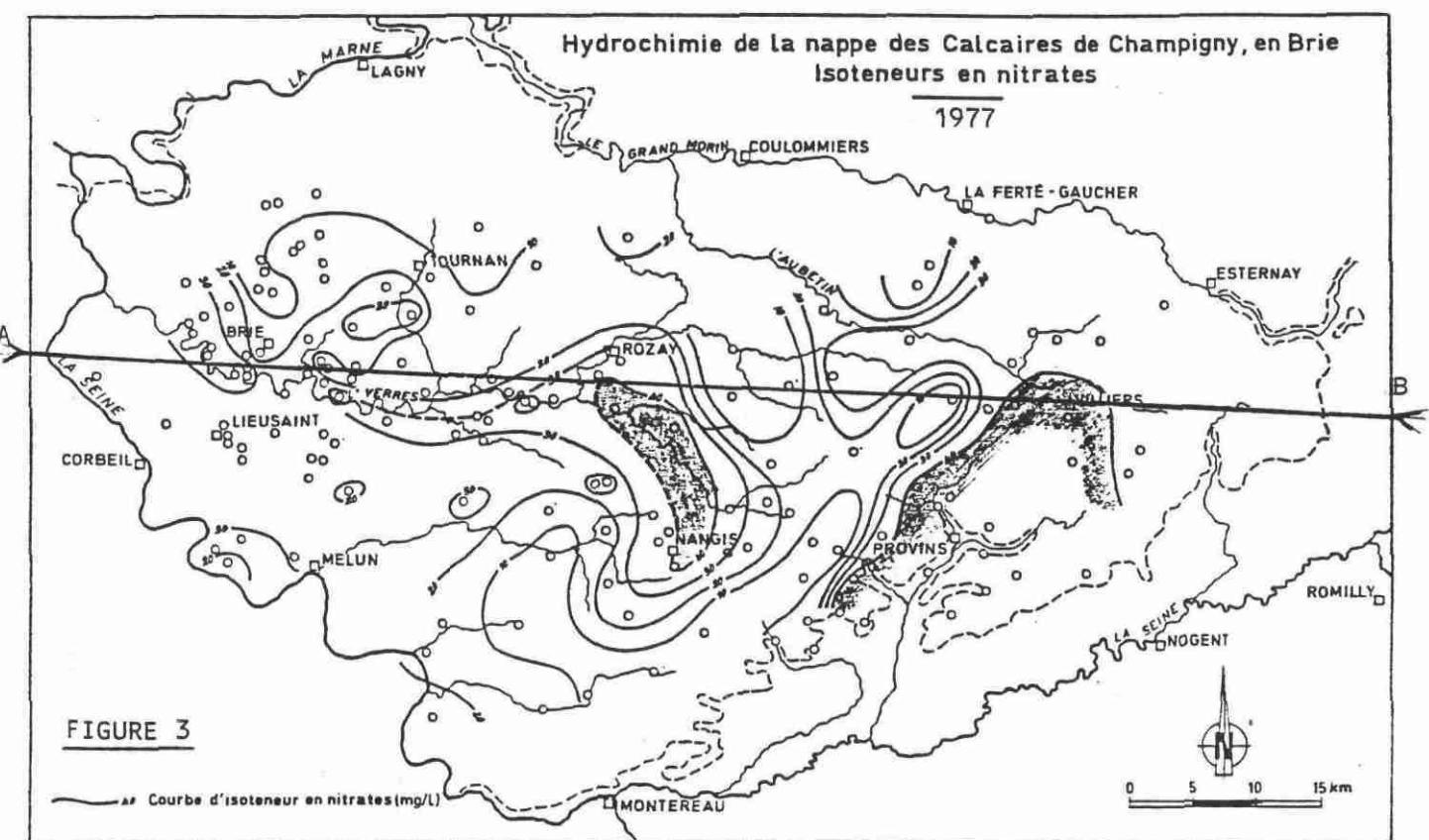
. Cambrésis

Les teneurs en nitrates de la nappe de *la craie* varient de 0,5 à 70 mg/l (fig. 5). Les plus fortes valeurs (supérieures à 44 mg/l) se situent autour de Cambrai, ainsi que vers le bassin minier, au Nord-Est. Une autre tache de très forte minéralisation s'observe également au Sud-Ouest de Cambrai. On attribue ces plages de fortes teneurs aux zones urbaines et industrielles. Au contraire les zones où les concentrations sont inférieures à 20 mg/l (Nord de Cambrai et Sud-Ouest de Douai) coïncident avec le recouvrement de la nappe de la craie par les argiles et sables tertiaires.

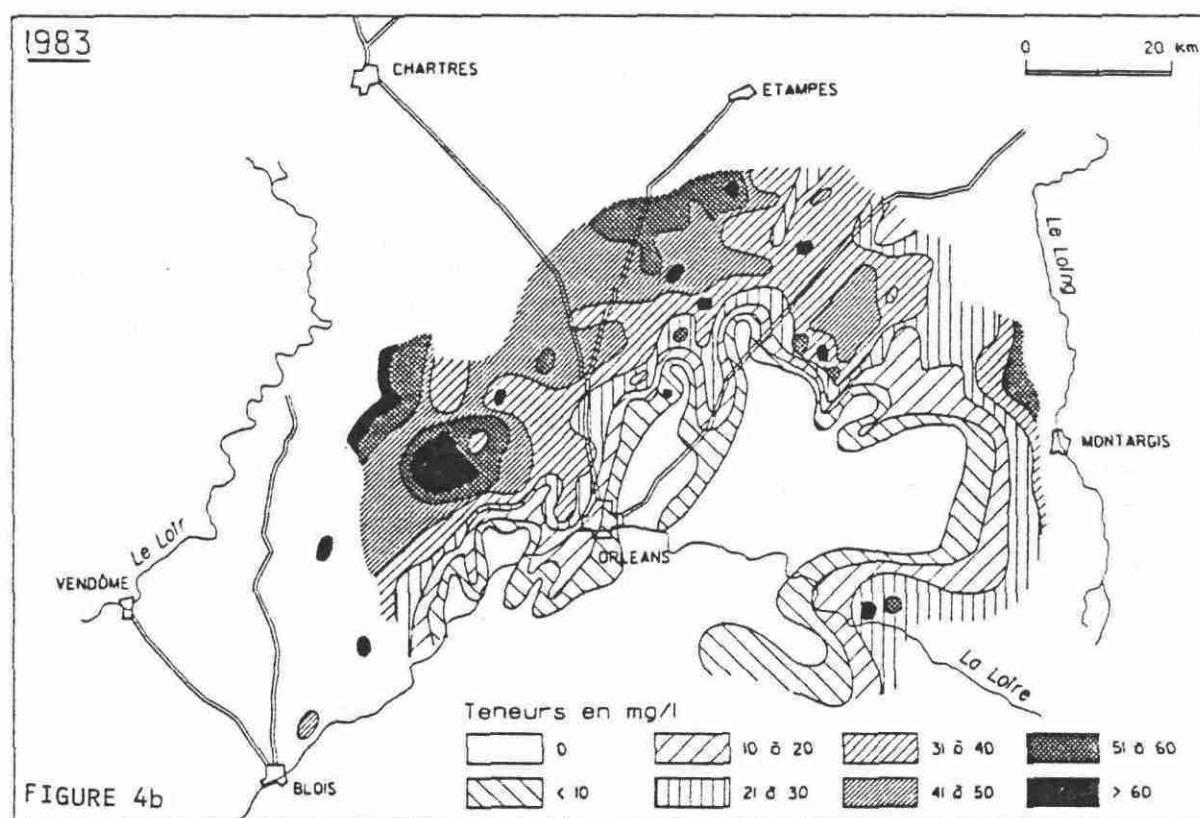
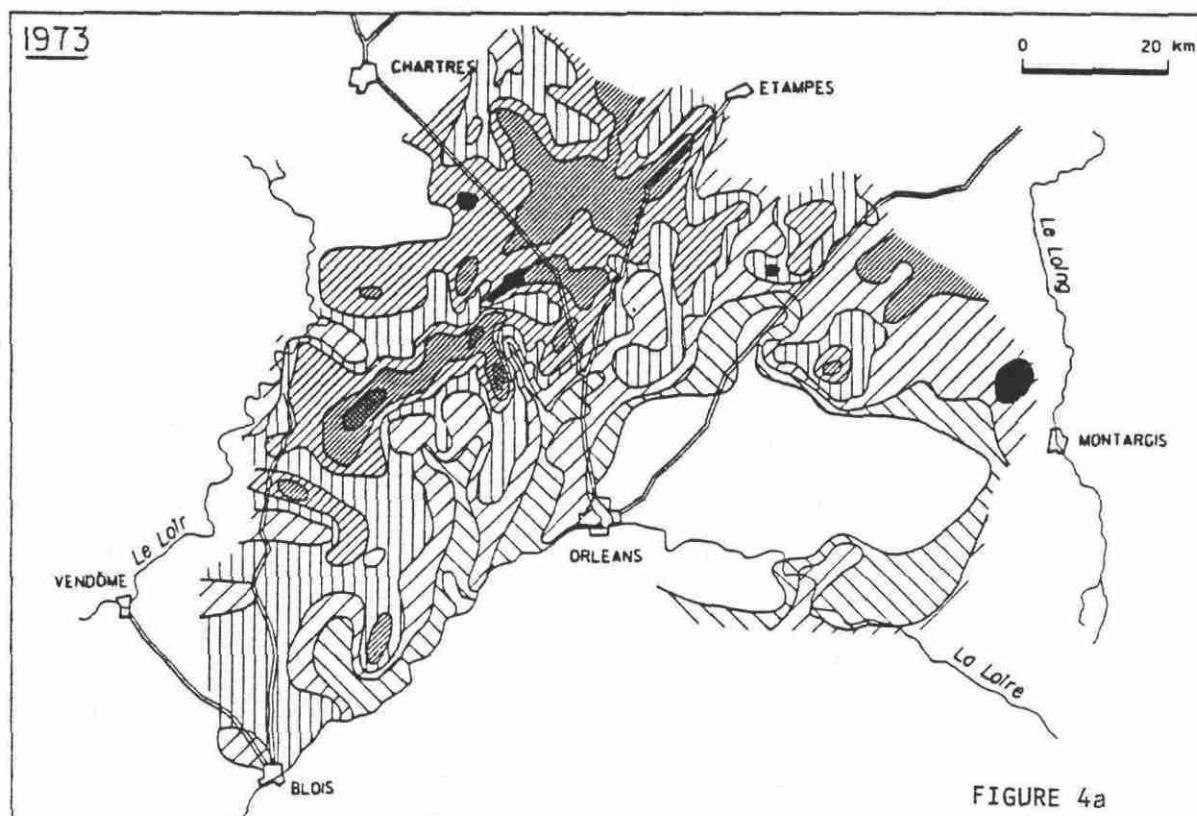
. Département de l'Eure

Il s'agit encore de la nappe de *la craie*. La carte établie en 1982 (Fig. 6) à partir de 257 captages d'alimentation en eau potable (207 analyses de type II et 50 analyses de type I) met en évidence des valeurs extrêmes de 0,5 à 63 mg/l.

Les fortes teneurs supérieures à 50 mg/l correspondent aux grandes cultures céréalières de l'Est du pays d'Ouche et du plateau de St André.



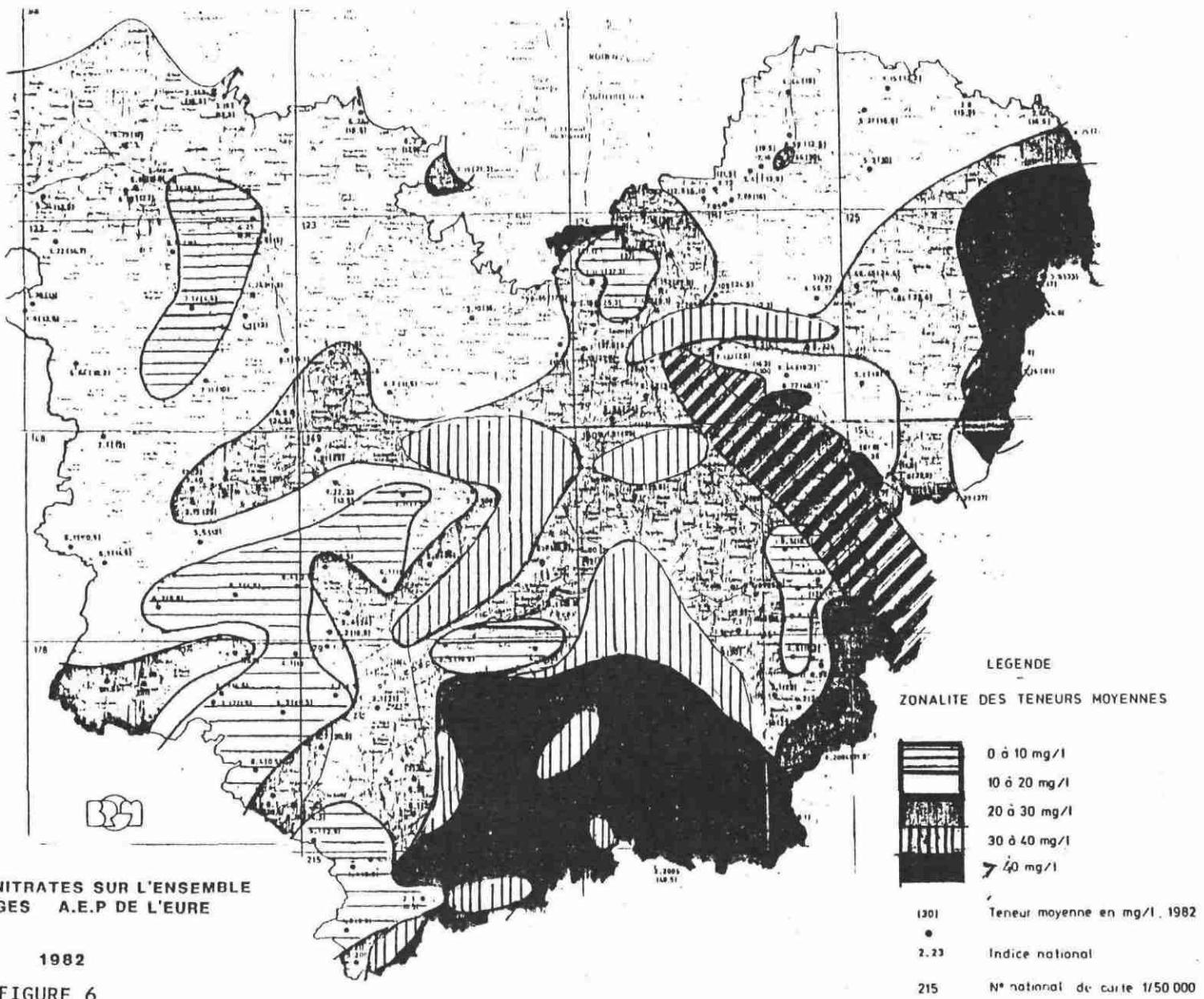
TENEURS EN NITRATES DANS LA NAPPE DE LA BEAUCE
d'après N. Desprez



TENEURS EN NITRATES SUR L'ENSEMBLE
DES CAPTAGES A.E.P DE L'EURE

1982

FIGURE 6



2.2.3. REPARTITION VERTICALE

Quelques études semblent indiquer que la teneur en nitrates dans une nappe diminue en fonction de la profondeur et qu'il pourrait exister des phénomènes de stratification.

En Bretagne, dans le Nord-Finistère, des forages de reconnaissance, réalisés dans les gneiss altérés, ont révélé une diminution régulière des valeurs avec la profondeur de pénétration dans l'aquifère. Les exemples de Plounevez-Lochrist et de Ploudaniel (fig. 7) montrent une diminution de l'ordre de 30 % sur 80-90 m. (66 à 44 mg/l et 30 à 20 mg/l).

Dans d'autres sondages, on a même observé des valeurs de 5 mg/l en fond de trou.

Dans le Nord deux captages sont placés côte à côte ; l'ancien puits captant à Oppy, la partie supérieure de la nappe accuse de fortes valeurs en nitrates, le forage, plus récent, captant la nappe sur toute sa hauteur préleve une eau beaucoup moins minéralisée, inférieure à 45 mg/l.

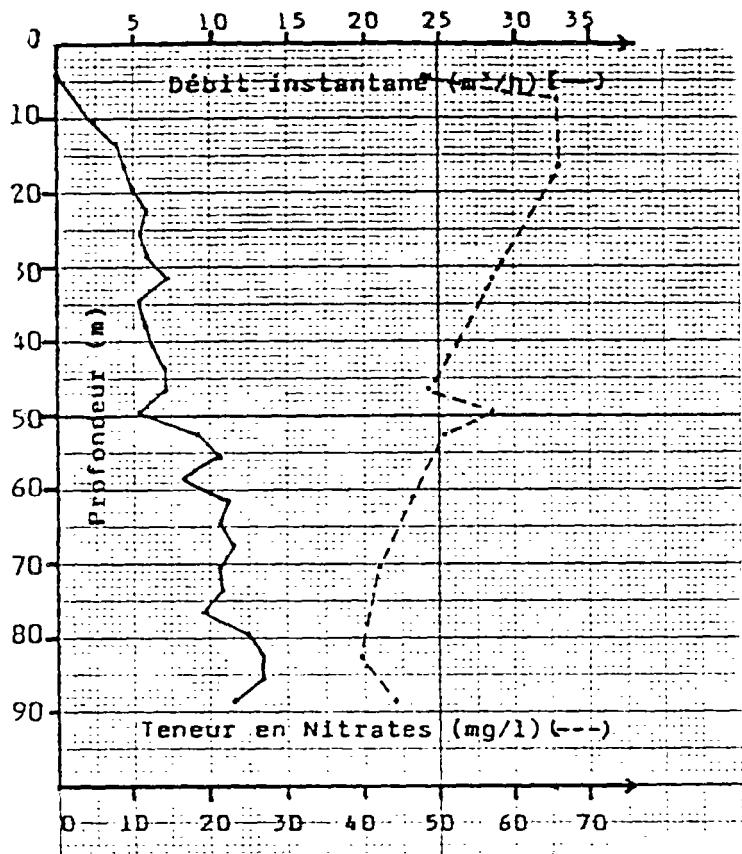
A Ingré, près d'Orléans, dans le calcaire de Beauce (fig. 8), des analyses effectuées à l'avancement ont mis en évidence une teneur en nitrates diminuant de 37 mg/l à 60 m, à 27 mg/l à 110 m.

Dans le Nord de la Beauce, dans les calcaires lacustres de l'Aquitainien et du Stampien (fig. 9), la comparaison entre la coupe technique des captages, leur profondeur et la position de la surface piézométrique, éventuellement le cloisonnement géologique par des écrans marneux (faciès calcaire crayeux) semi-perméables, a permis de mettre en évidence une diminution de la teneur en nitrates : d'une part lorsque la profondeur des forages augmente, d'autre part lorsque la colonne de captage est lanternée dans les horizons les plus profonds du réservoir saturé. Ainsi dans le bassin versant de l'Essonne-Juine, les teneurs en nitrates diminuent de 36 à 20 mg/l pour des profondeurs de captage passant de 40 à 60 m et dans le bassin occidental de l'Oeuf, de 36 à 0 mg/l pour des profondeurs augmentant de 36 à 80 m.

Dans la nappe d'Alsace, on a également remarqué que les fortes teneurs en nitrates étaient localisées dans la partie supérieure de la nappe, mais cependant que la minéralisation semblait s'accroître en profondeur avec le temps.

La concentration en nitrates dans les aquifères est susceptible de décroître par effets physiques (diffusion, dispersion) ou dénitrification liée à des phénomènes biochimiques, mais les études de cas sont encore trop peu nombreuses afin d'en tirer des conclusions et être certain qu'il ne s'agisse pas simplement d'une pollution retardée qui se propagerait en profondeur sous l'effet de pompages prolongés.

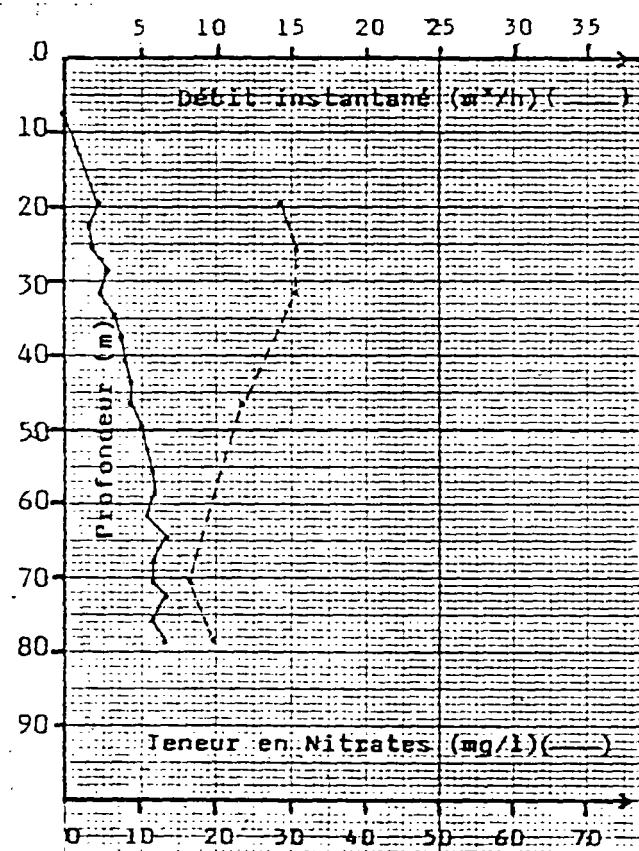
REPARTITION VERTICALE DES TENEURS EN NITRATES DANS DES FORAGES
DU NORD-FINISTERE



PLOUNEVEZ-LOCHRIST (29)

FIGURE 7a

PLOUDANIEL (29)

FIGURE 7b

REPARTITION VERTICALE DES TENEURS EN NITRATES DANS LES NAPPES DE LA BEAUCE

Captage n° 2 d'Ingré (45)

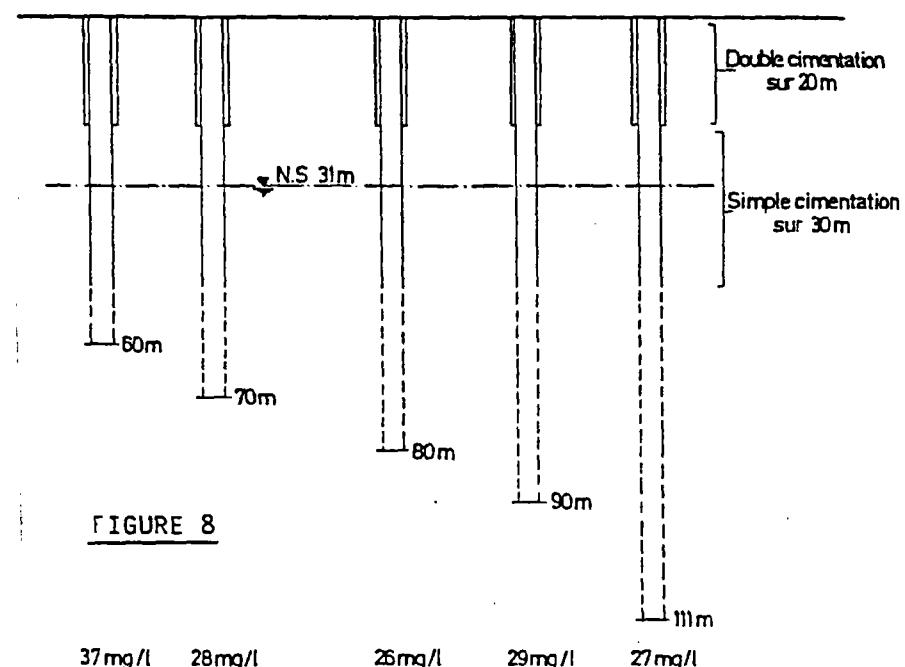


FIGURE 8

Calcaires Lacustres du Stampien (45)

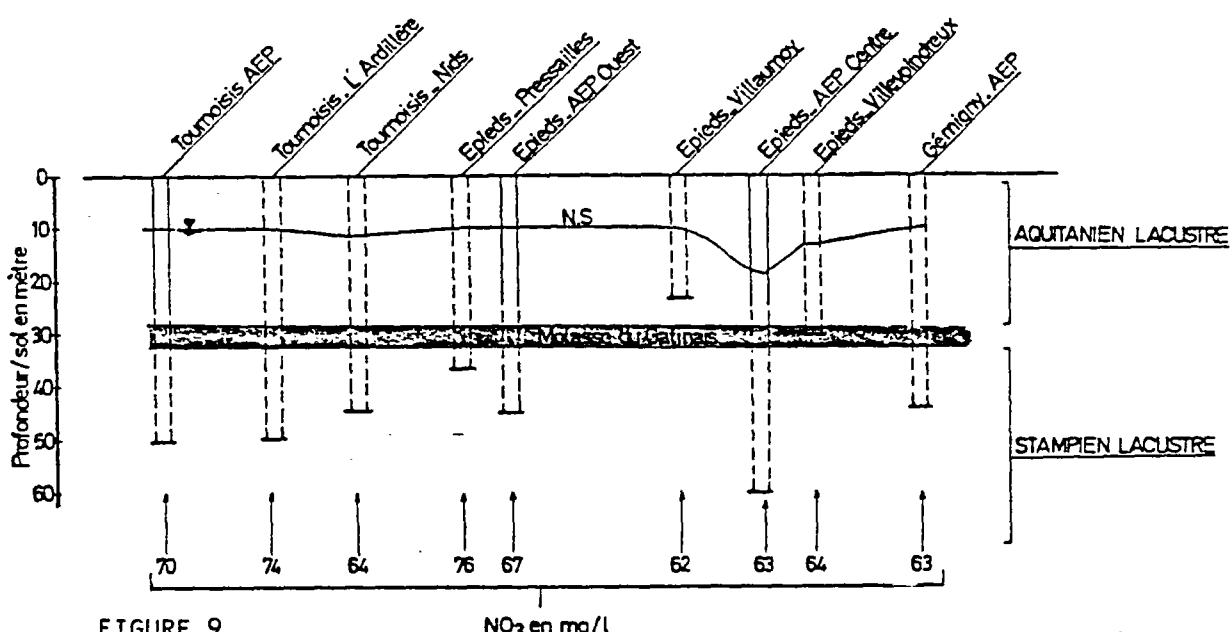


FIGURE 9

**REPARTITION DES TENEURS EN NITRATES DANS LA
NAPPE DE LA CRAIE DE PICARDIE**

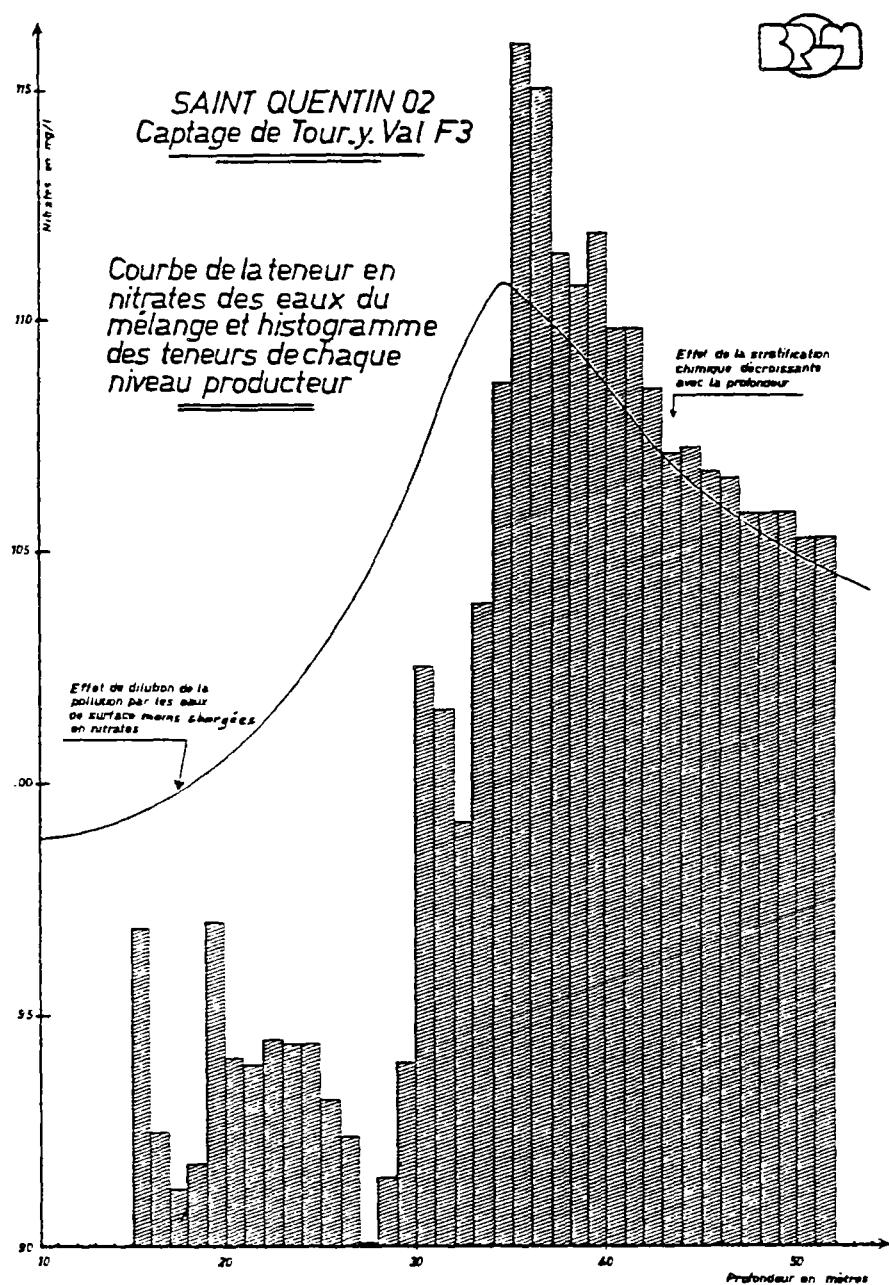


FIGURE 10

D'ailleurs pour conforter cette incertitude, un certain nombre d'exemples, tels celui du forage de St-Quentin (fig. 10) indiquent au contraire une augmentation avec la profondeur!

2.2.4. EVOLUTION DANS LE TEMPS

Un premier exemple de l'évolution spatiale des teneurs en nitrates avec le temps nous a été donné par les deux cartes d'isovaleurs dressées sur la Beauce à 10 ans d'intervalle (fig. 4). Un autre exemple est fourni par la cartographie des concentrations réalisées durant trois années successives (1975 à 1977) sur la nappe de la craie du Cambresis (fig. 11).

A partir de 1976, des teneurs en nitrates supérieures à 40 mg/l apparaissent dans 3 zones (symbole C) ; en 1977 deux de ces plages s'étendent, alors que les secteurs à concentration inférieure à 32 mg/l se réduisent nettement au profit des zones à concentration supérieure.

Mais les exemples les plus intéressants proviennent de l'étude des chroniques d'analyses effectuées au cours des dernières années. En effet l'examen de l'évolution des teneurs en nitrates sur les captages des zones les plus contaminées indique une augmentation régulière depuis une trentaine d'années. Les exemples suivants, pris dans différentes nappes du Bassin-de-Paris, illustrent le phénomène :

- . Source de la petite Traonne, calcaires de Brie (fig. 12)

Relativement stable jusqu'en 1955, les teneurs augmentent très régulièrement, à partir de cette date, de 28 mg/l à 68 mg/l en 1975, soit un doublement en valeur absolue en 20 ans et une croissance moyenne de 1,5 mg/l par an. Cette évolution a d'ailleurs pu être mise en corrélation avec l'évolution de l'occupation agricole des sols sur le bassin étudié : raccourcissement des rotations par suppression des herbages entre 1950 et 1955, suivi d'une simplification des rotations conjointement à une intensification des cultures.

- . Bailly-Carrois (77), calcaire de Champigny (fig. 13)

Augmentation de 31 mg/l en 16 ans (1967-1983) soit une tendance moyenne de 2,1 mg/l/an, et un triplement en valeur absolue.

- . Couvert (77), calcaires de Champigny (fig. 14)

La croissance moyenne des nitrates est de l'ordre de 4 mg/l par an de 1978 à 1982, avec un doublement en valeur absolue.

- . Plateau de Brie (77), calcaires de Champigny et calcaires de St Ouen (fig. 14bis)

Le sous-sol de la Brie contient plusieurs aquifères superposés captifs séparés par des niveaux marneux : calcaires de Champigny de St-Ouen, Sables de Beauchamp (fig. 14 bis a). Vers le nord, ces couches imperméables n'existent plus et les trois aquifères communiquent. Deux forages situés dans la région à aquifères multiples, suivis depuis 1945 (fig. 14 bis b), ont une augmentation de leurs teneurs en nitrates très différentes. En effet le premier captant le calcaire de Champigny semi-captif et alimenté par les fonds de vallée accuse une croissance de 5 mg/l/an, alors que la minéralisation du second captif et plus profond ne progresse que de 1,5 mg/l.

- . Villampuy (28), calcaire de Beauce (fig. 15)

Sur la période 1975-1984 on constate une augmentation moyenne des teneurs en nitrates de 2,7 mg/l par an.

EVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES SOUS LE PLATEAU DE BRIE

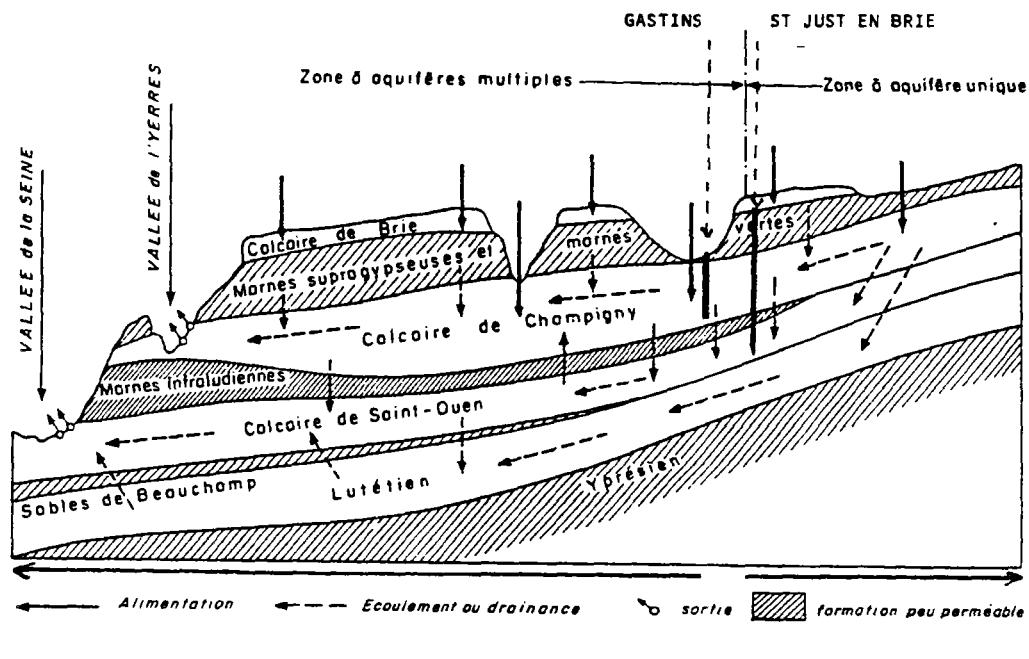


Fig. 14bis a - Coupe hydrogéologique schématique

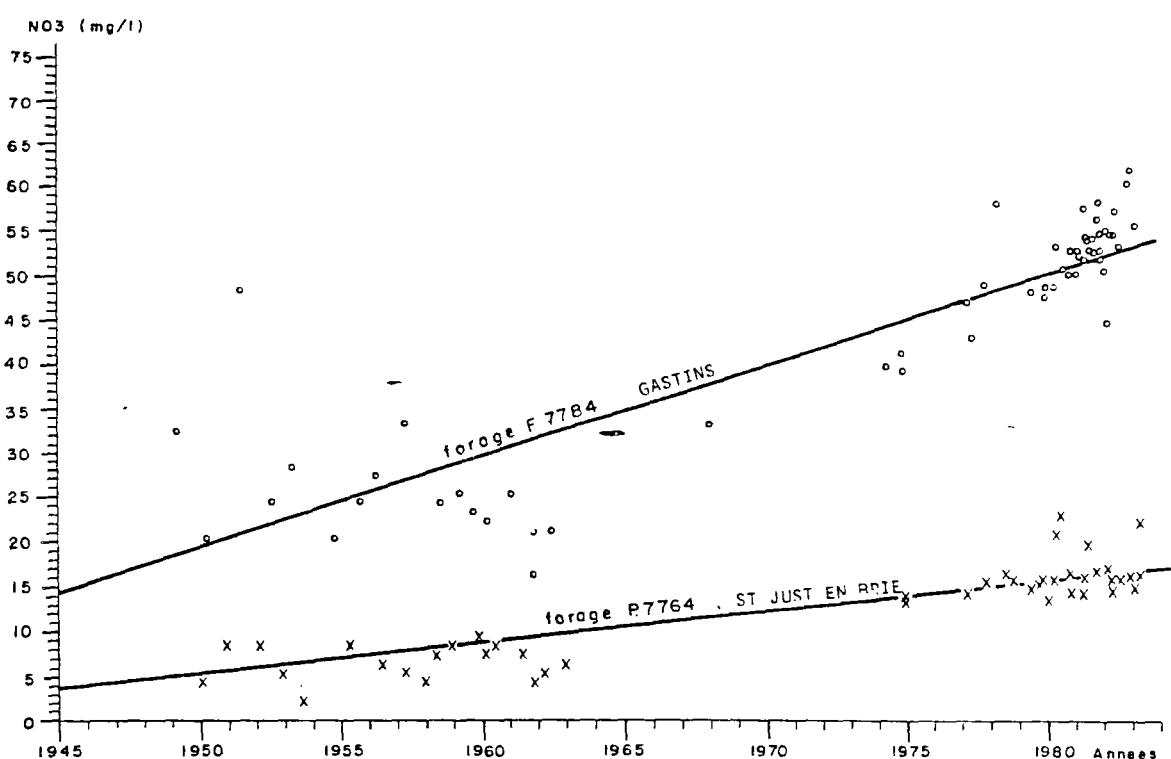


Fig. 14bis b - Evolution comparative des teneurs en nitrates dans les aquifères superposés du calcaire de Champigny et du calcaire de St-Ouen.

EVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES DANS LA NAPPE
DE LA CRAIE DE CAMBRESIS

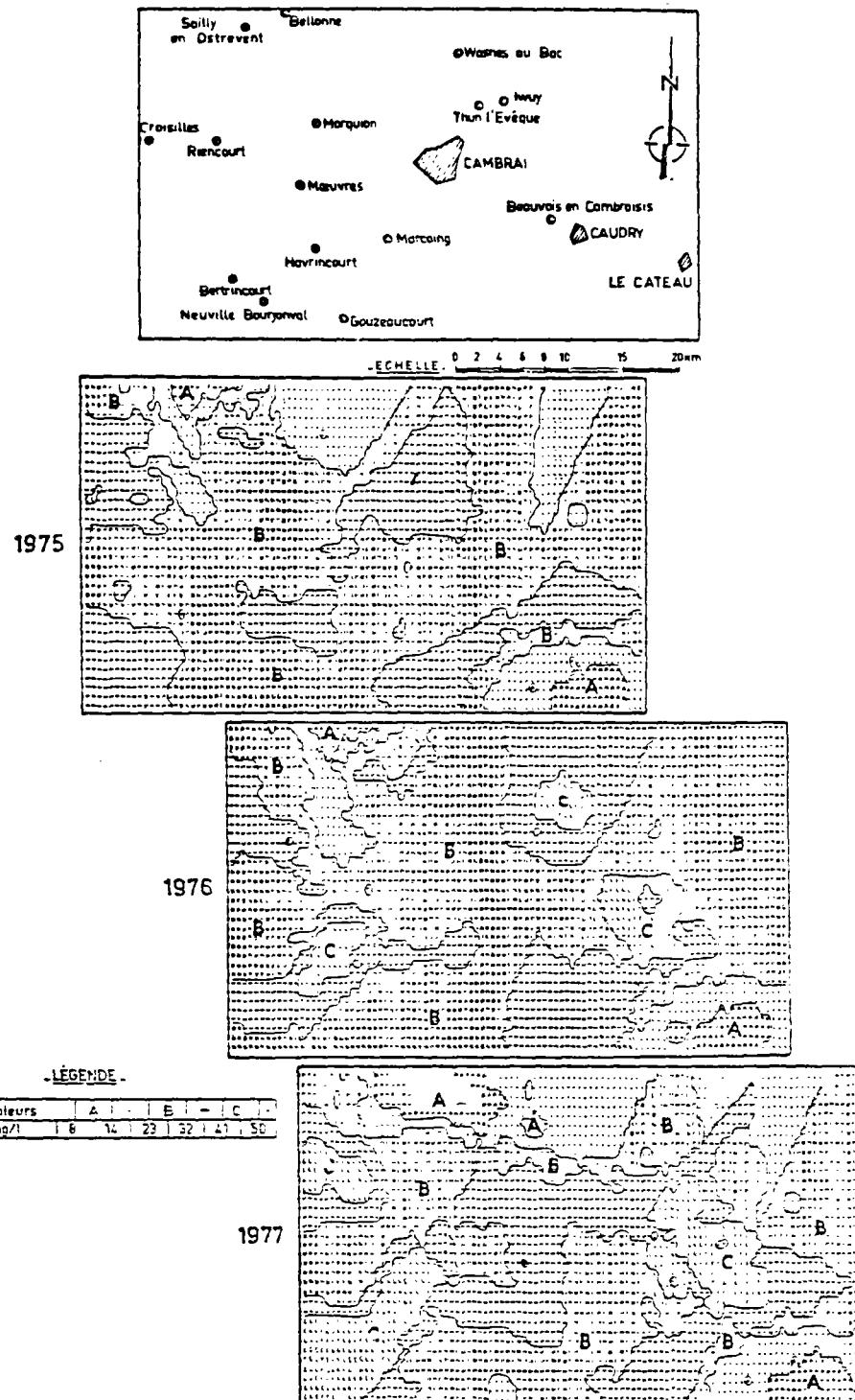
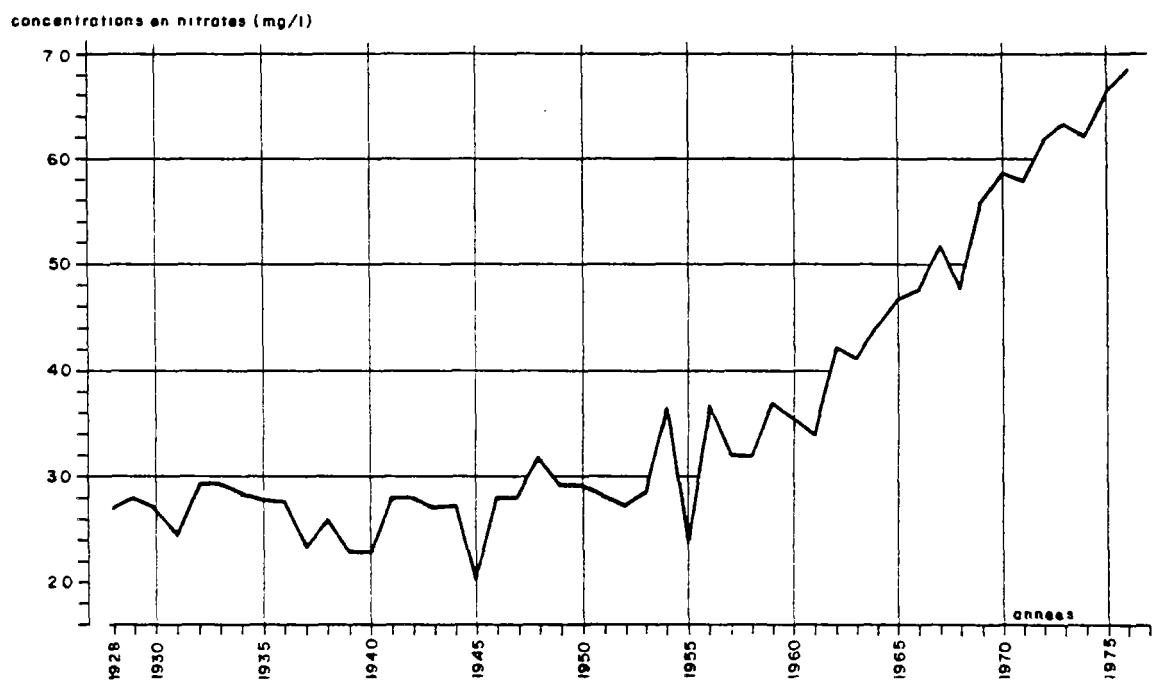


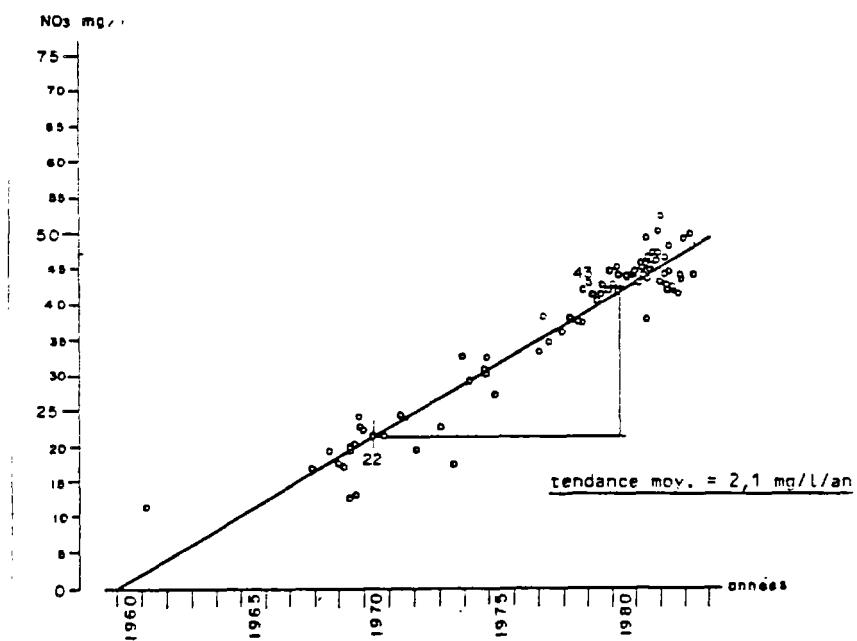
FIGURE 11

EVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES

Source de la petite Traconne, Calcaire de Brie.

FIGURE 12

Bailly-Carrois (77) Calcaires de Champigny

FIGURE 13

EVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES

Couvert (77)
Calcaires de Champigny

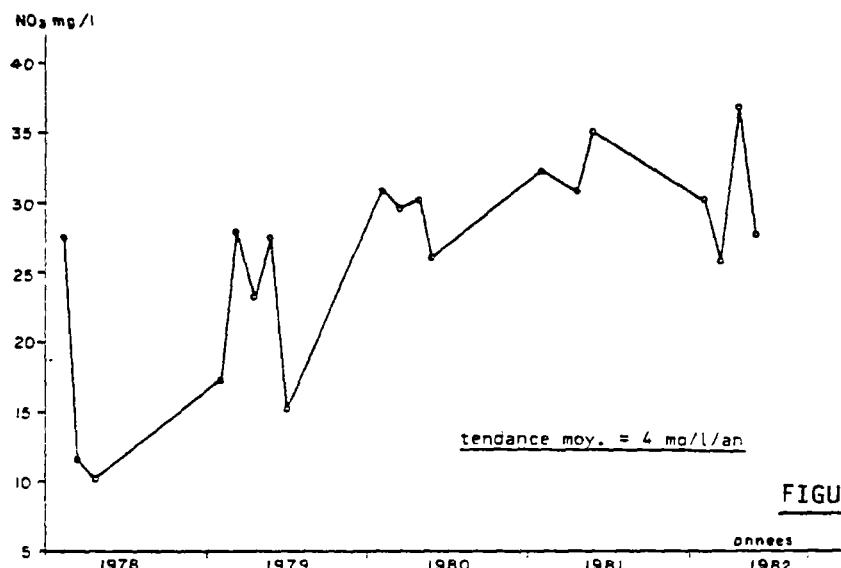


FIGURE 14

Captage communal de Villampuy (28) Calcaire de Beauce

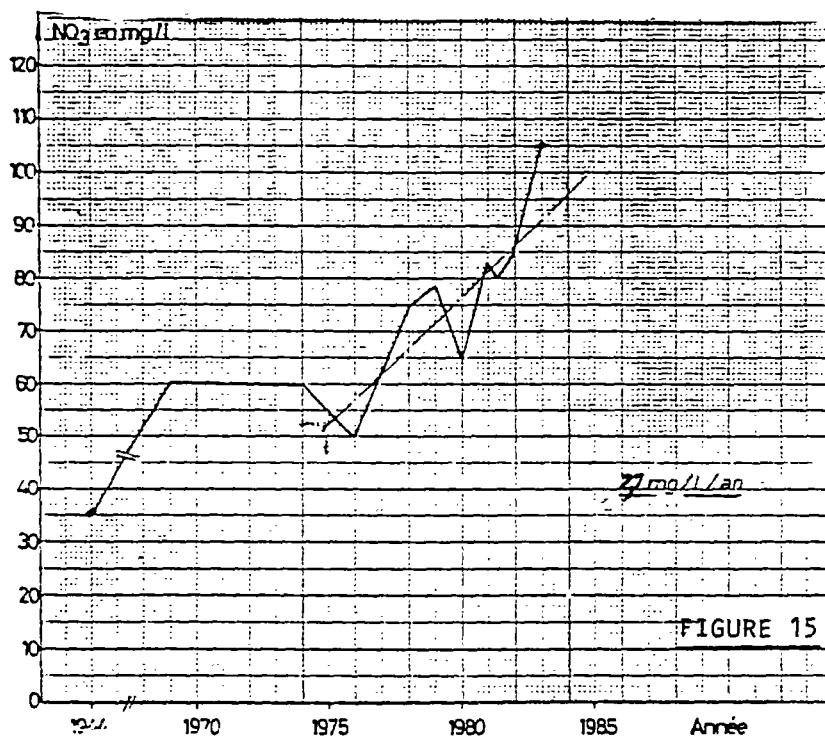


FIGURE 15

. Audeville (45), calcaire de Beauce (fig. 16)

Les valeurs moyennes ont doublé de 1955 à 1980, avec une moyenne annuelle de 1 mg/l.

. Seine-Maritime (76), Nappe de la Craie (fig. 17)

Quatre captages placés dans des situations hydrogéologiques différentes subissent une croissance moyenne de leur minéralisation en nitrates de 1,8 mg/l par an depuis 1970 et un décuplement des valeurs absolues. On remarquera les très faibles valeurs à l'origine des observations (0,2 à 0,8 mg/l).

. Eure (27), nappe de la Craie (fig. 18)

De même, dans le département voisin de l'Eure, cinq captages à la Craie accusent en moyenne un doublement des valeurs depuis 1975, soit une tendance de 3 mg/l par an.

. Lizio (56), granite (fig. 18 bis)

Ce puits capte l'eau circulant dans le granite altéré breton. Utilisé jusqu'à présent pour la mise en bouteille d'eau de table, il doit être abandonné du fait de la menace de contamination par les nitrates dont les valeurs moyennes sont passées de 5 à 30 mg/l depuis 1977, soit 6 mg/l/an.

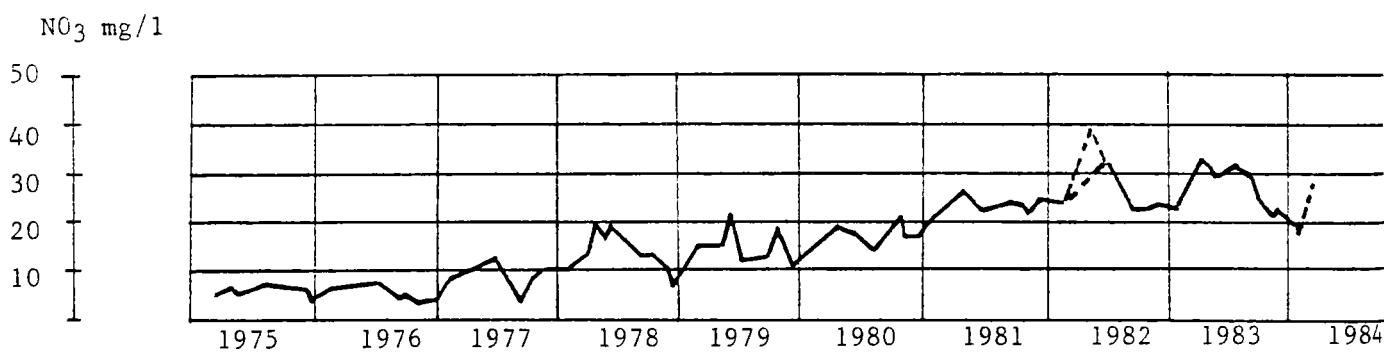


Fig. 18 bis - Evolution des teneurs en nitrates dans l'eau des granites de Lizio (56).

Un nouveau forage de 44 m réalisé récemment à une centaine de mètres, mieux protégé par un recouvrement d'argiles d'altération, a fourni une eau dont la teneur en nitrates n'excède pas 20 mg/l.

D'une manière générale, et quelque soit la nappe libre concernée, de nombreux captages ont vu leur minéralisation en nitrates doubler, tripler ou parfois plus depuis 10 à 30 ans, avec une progression moyenne annuelle de 1 à 4 mg/l.

Si l'on considère à présent non plus des points particuliers, mais l'évolution des valeurs médianes d'ensembles de captages d'une même nappe, on peut remarquer que le phénomène de minéralisation des nappes par les nitrates est bien d'ordre général, comme le montrent quelques autres exemples :

. Plaine alluviale d'Alsace, secteur Bâle-Mulhouse [68] (fig. 19)

Les teneurs médianes des captages A.E.P. ont doublé en 10 ans, l'augmentation moyenne étant de l'ordre de 2,5 mg/l par an.

. Seine maritime [76] (fig. 20)

Durant la période 1973-1979, l'évolution médiane a été de 0,5 mg/l par an.

. Eure [27] (fig. 21)

Dans ce département, la teneur médiane annuelle en nitrates des points du réseau qualité a progressé de 0,8 mg/l par an depuis 1974.

En dehors de la constance de la tendance générale, les graphiques font apparaître une forte variabilité interannuelle :

Dans la plaine d'Alsace et dans le département de l'Eure (fig. 19 et 21), l'ensemble des points d'observation marque une stabilisation, voire une diminution momentanée des teneurs respectivement en 73-74-75 et de 1975 à 1978. Ces variations interannuelles sont dues aux variations du régime pluviométrique ; les années de stabilisation ou de diminution de la minéralisation sont consécutives à des années de faible

VARIATION DES TENEURS EN NITRATES DANS LES CALCAIRES DE BEAUCE

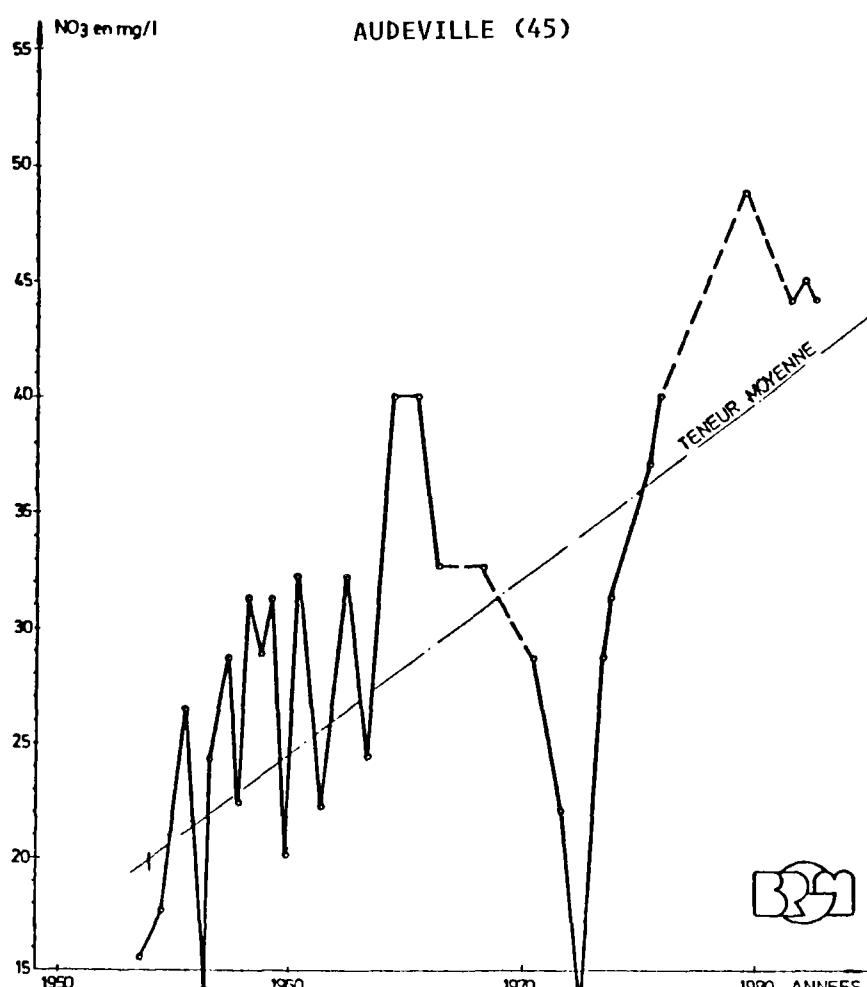


FIGURE 16

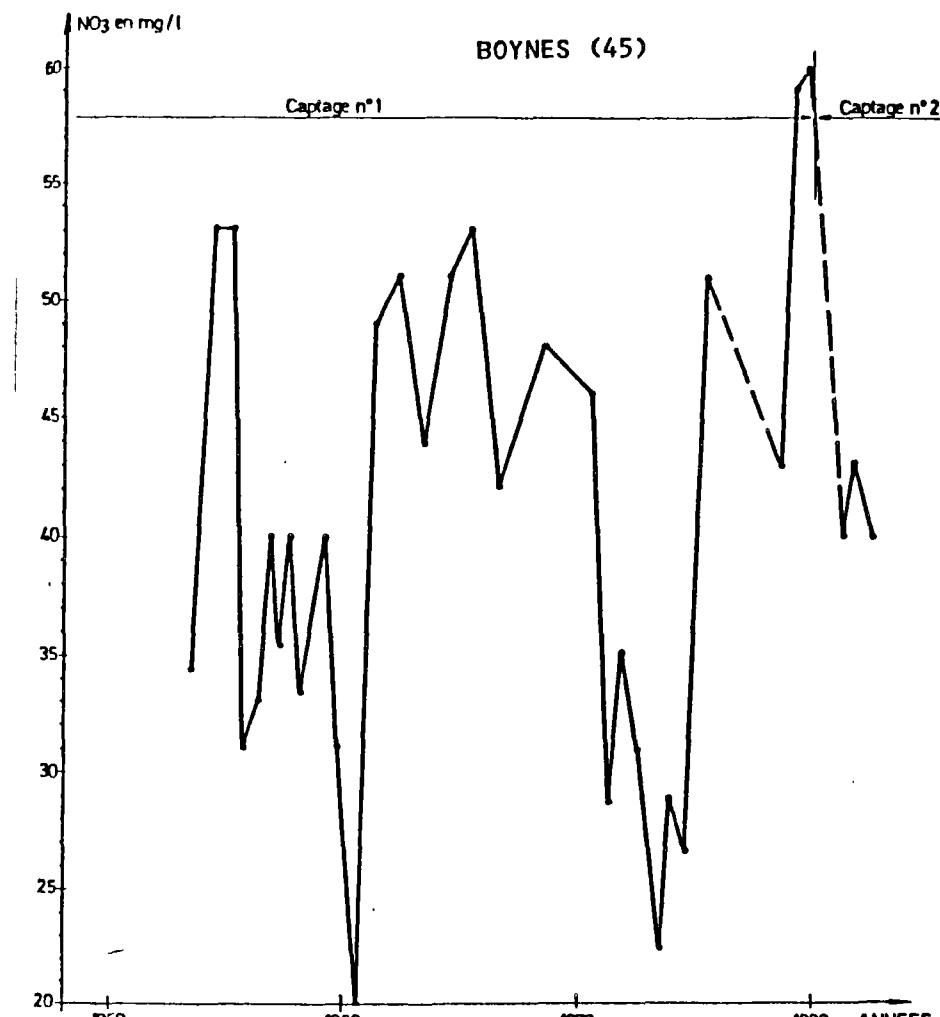


FIGURE 22

EVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES DANS LA NAPPE DE LA
CRAIE DE HAUTE-NORMANDIE

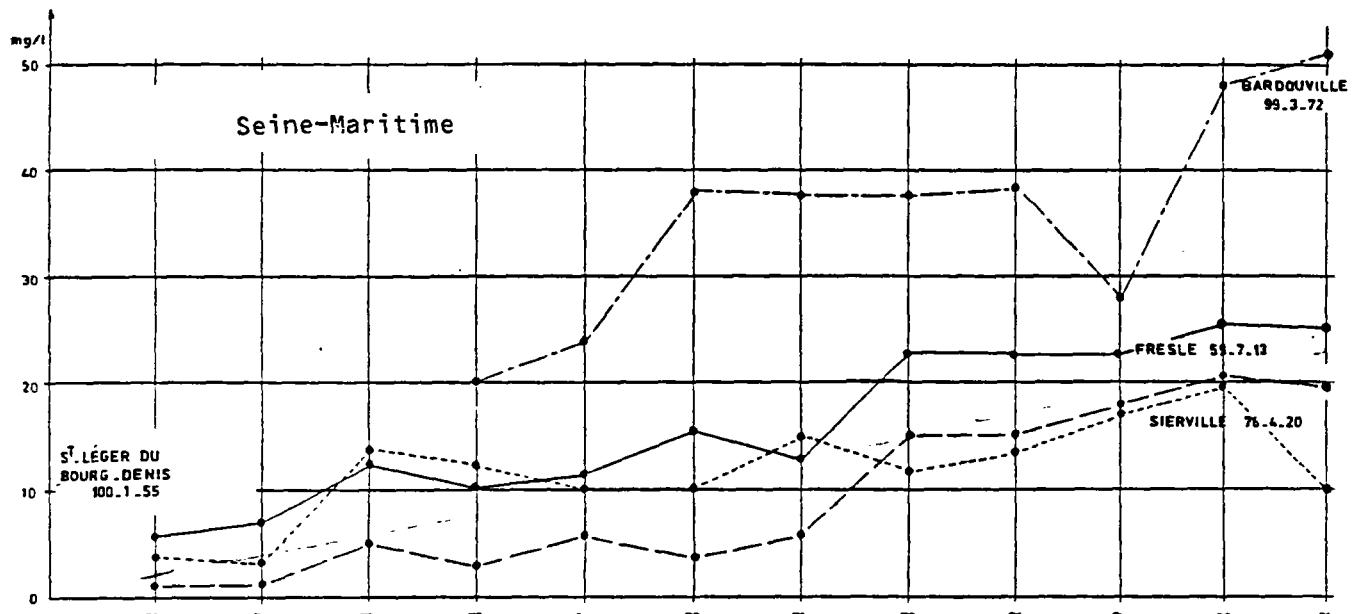


FIGURE 17

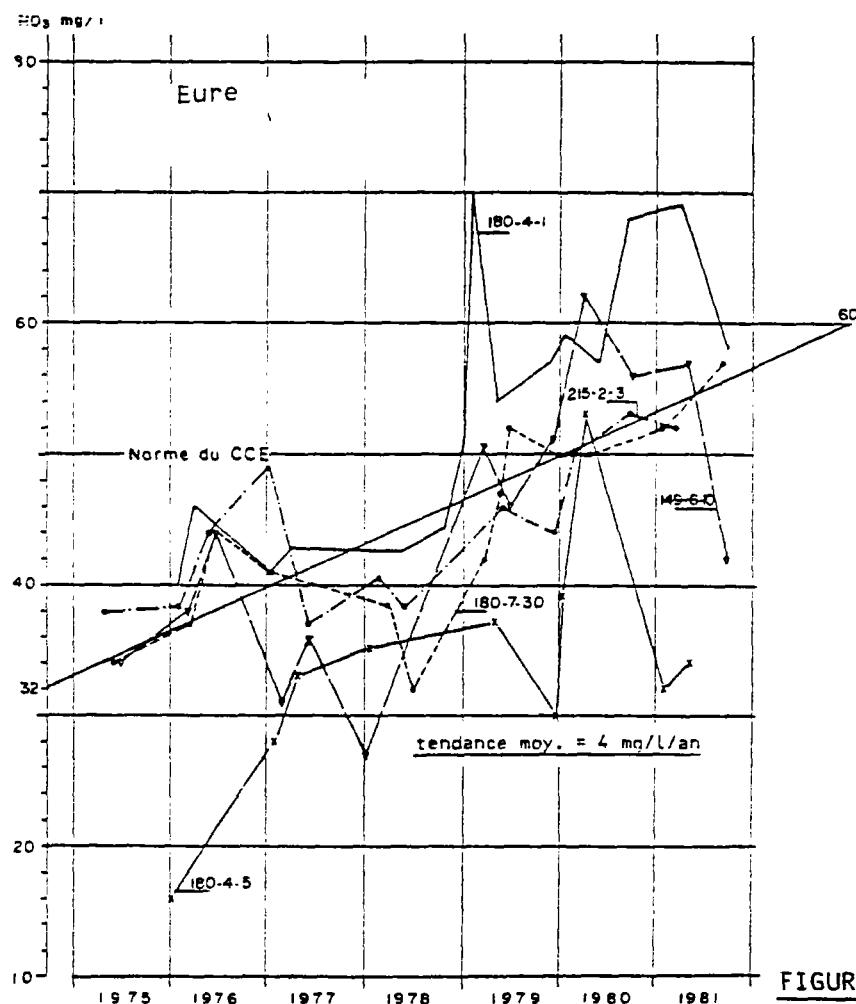
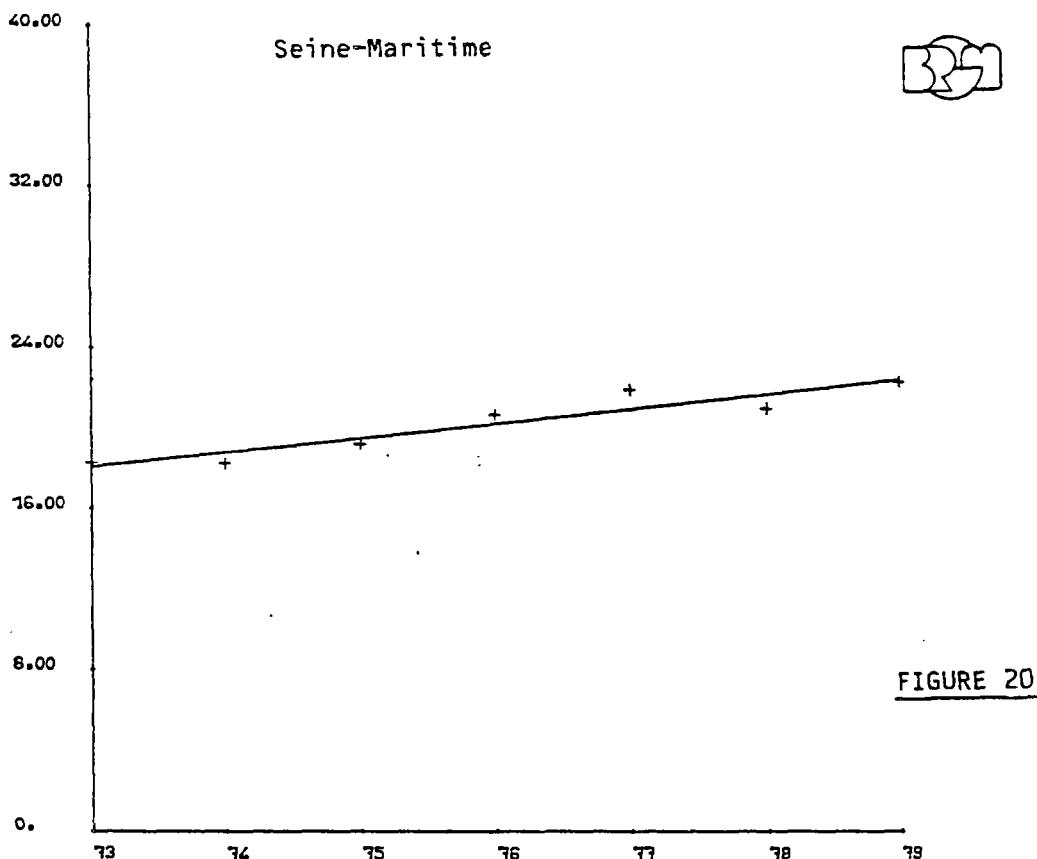
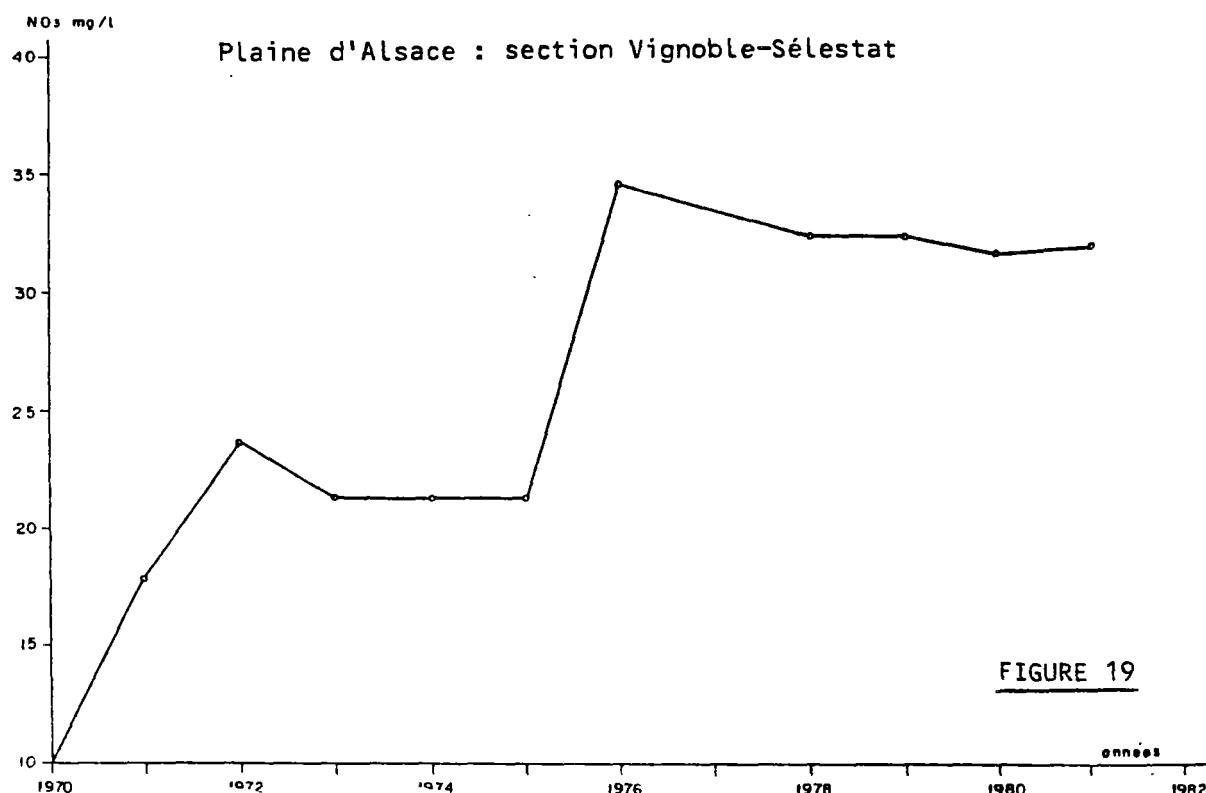
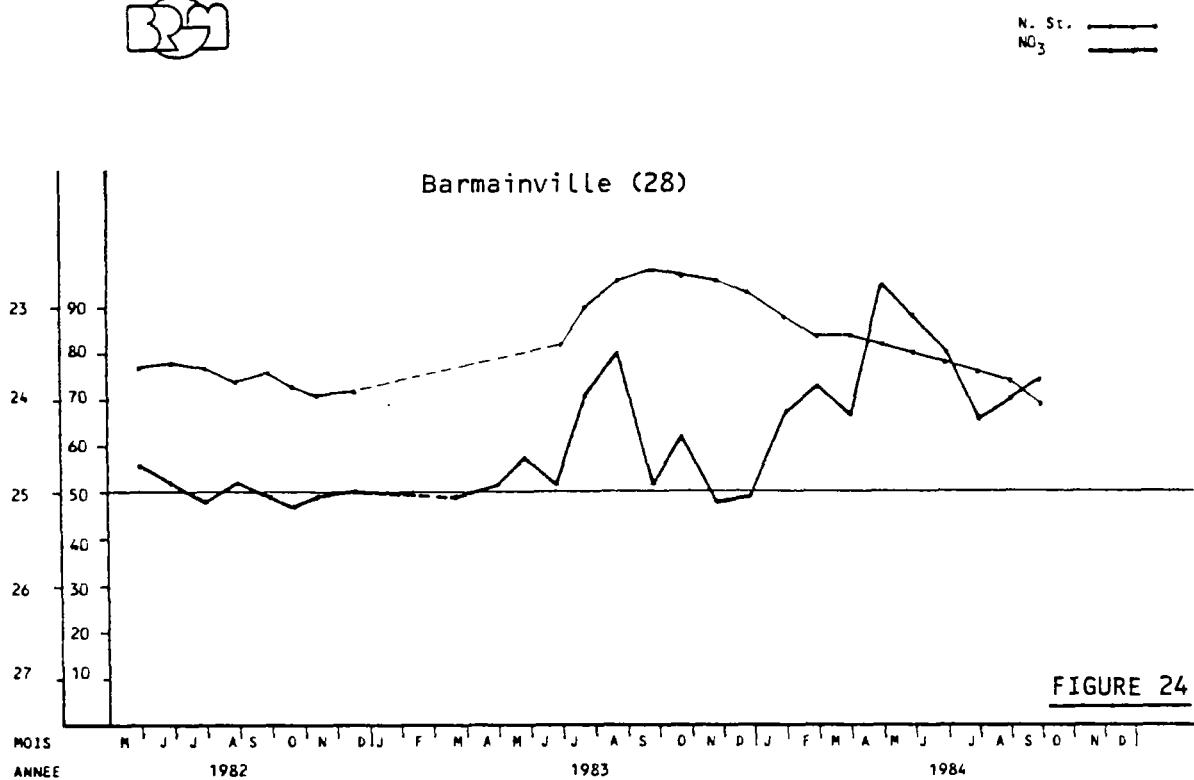
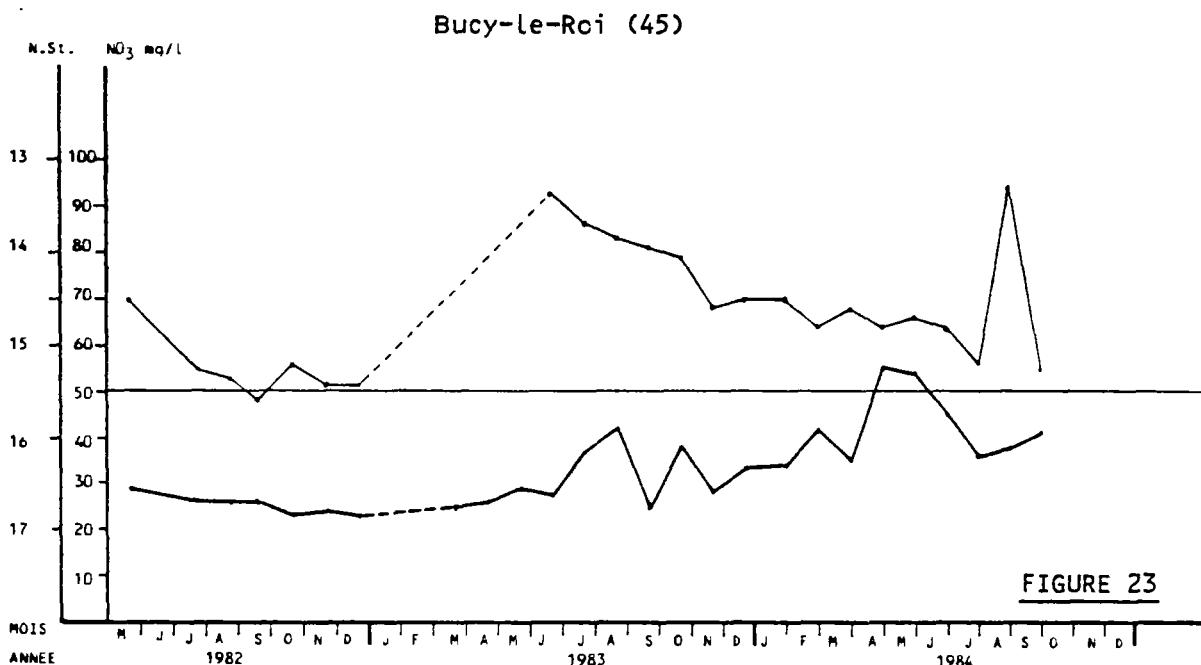


FIGURE 18

EVOLUTION DES TENEURS MEDIANES EN NITRATES



VARIATIONS DES TENEURS EN NITRATES DANS
LA NAPPE DU CALCAIRE DE BEAUCE



pluviométrie efficace, (le stock nitrate est drainé par la nappe mais n'est pas renouvelé par l'infiltation). Au contraire les remontées brutales des valeurs en nitrates correspondent à des périodes de recharge de nappe suite à des périodes pluviométriques excédentaires (plaine d'Alsace en 1972 et 1976).

Les variations interannuelles sont parfois très fortes pour un même forage : 116 % à Criquebeuf, dans l'Eure. L'évolution en dents de scie est particulièrement spectaculaire sur les captages d'Audeville et de Boynes dans la Beauce (fig. 16 et 22).

Les variabilités excessives sont le signe probable de pollutions localisées et épisodiques : phénomènes d'engouffrement naturel ou provoqués d'eau de ruissellement, ou de drainage, ou d'épandages de résidus hautement minéralisés en azote.

Enfin lorsque l'on dispose régulièrement d'analyses mensuelles comme c'est le cas avec le "réseau qualité" de la Beauce (exemple des captages de Barmainville et de Bucy-le-Roi, fig. 23 et 24), on remarque des variations de 15 à 30 mg/l au cours d'une même année. La corrélation avec la période de haute-eaux et d'étiage de la nappe -variation du niveau piézométrique- est d'ailleurs bien visible.

3. ORIGINE DES NITRATES

Plusieurs études ont eu lieu, notamment sur la Brie, la Beauce, le Nord de la France pour rechercher l'origine des nitrates dans les eaux souterraines ainsi que pour les dater. Les principales sources possibles d'azote (humus, engrains minéraux, engrains organiques, déchets, assainissement) ont des compositions isotopiques bien différenciées. La mesure du rapport $\frac{15}{14} \text{N}$ permet généralement de les différencier et d'en déterminer l'origine. Par ailleurs, le dosage du tritium permet la datation des eaux souterraines correspondantes.

Dans la craie du Nord de la France, on a mis en évidence que 25 ans étaient souvent nécessaires pour que l'eau de pluie parvienne à la nappe à 30 m de profondeur.

Dans la Brie et la Beauce, des eaux de plus de 30 ans d'âge ont été distinguées d'eaux plus récentes.

D'une façon générale, les études ont démontré que les nitrates pouvaient avoir des origines diverses :

- nitrates provenant de sols forestiers anciens,
- nitrates dus à l'intensification des cultures (défrichement, suppression des pâtures),
- nitrates apportés par les matières organiques humaines et animales ainsi que par les matières organiques végétales (amendements organiques),
- nitrates provenant des engrains de synthèse,

- nitrates liés aux activités humaines inhérentes à l'urbanisation, l'industrialisation et la pratique de l'élevage intensif.

Mais il ressort de toutes ces causes que l'utilisation des engrains en agriculture est essentiellement responsable de la contamination des nappes souterraines par les nitrates.

3.3.1. NITRATES PROVENANT DES SOLS FORESTIERS OU SOLS CULTIVES ANCIENS

On les trouve généralement dans des eaux de plus de trente ans d'âge dans des nappes profondes bien protégées et peu minéralisées.

3.3.2. NITRATES PROVENANT DE L'AGRICULTURE MODERNE

Ils sont identifiés dans les eaux souterraines de moins de trente ans d'âge quelque soient la profondeur de la nappe (profonde ou sub-affleurante) et la vitesse d'alimentation (lente ou rapide). Leur proportion est d'autant plus grande que l'âge de la nappe est récent.

Dans la plaine d'Alsace, où l'infiltration est assez rapide, l'étude isotopique a mis en évidence l'origine multiple des nitrates dans les eaux souterraines, leur prédominance étant d'origine agricole, liée à la fois à l'épandage des engrains artificiels et des fumures naturelles. Un bilan des charges en nitrates a démontré qu'un quart des engrains du vignoble et un cinquième de ceux utilisés en labour s'infiltrent dans la nappe. Ainsi les fortes teneurs observées en février, mars, dans l'aquifère proviennent des engrains azotés utilisés lors du démarrage de la végétation, à la fin de l'hiver.

Dans les vallées où la nappe est subaffleurante et l'infiltration rapide, l'impact des pratiques culturales peut être très localisé. Ainsi à Breuilpont, dans la vallée de l'Eure, un captage situé au milieu des cultures contient des nitrates à raison de 60 mg/l. Par contre, sur l'autre rive du cours d'eau, un second captage implanté dans des herbages à l'aval d'une zone boisée ne renferme que 25 mg/l de nitrates dans ses eaux.

3.3.3. NITRATES D'ORIGINE DOMESTIQUE

Dans la craie du Nord, les études isotopiques ont montré que l'excès de nitrates semble souvent provenir de pollution d'origine domestique. Les causes peuvent en être des défauts d'étanchéité des collecteurs, mais surtout l'absence d'assainissement dans les quartiers anciens et l'utilisation de puits perdus.

Dans la Beauce on a constaté, sur les eaux des captages situés dans les bourgs, une superposition de pollutions d'origine domestique à la charge en nitrates d'origine agricole.

L'assainissement individuel, tant en habitat concentré, qu'en habitat dispersé peut également être responsable de la pollution azotée. Ainsi dans la nappe alluviale de la vallée de la Garonne sur la commune de St Jory, à 15 km au Nord de Toulouse, l'analyse isotopique de l'azote sur 50 puits a permis de distinguer la pollution d'origine strictement organique, de la pollution générale de la plaine, d'origine agricole (fig.25). Le panache de contamination organique s'étend sur près de 4 kms à l'aval hydraulique du village ; il résulte de l'impact sur les eaux souterraines de l'assainissement individuel. Celui-ci peut être responsable de teneurs en nitrates comprises entre 10 et 40 mg/l, et parfois 50 à 100 mg/l si le rejet est pratiquement direct dans la nappe, comme l'a démontré une seconde étude dans la vallée du Tarn à Villefranche-sur-Tarn (hameau de Sainte-Raffine).

Ces conclusions sont appuyées par les fortes teneurs en potassium (4 à 9 mg/l) du panache de pollution.

Bien que localisées autour des agglomérations, les pollutions par les nitrates d'origine domestique peuvent avoir des conséquences fâcheuses pour les captages implantés en zone urbaine ou en périphérie de celles-ci.

Ainsi la ville de Compiègne a-t-elle dû réduire l'exploitation de ses captages du Clos des Roses, dans la vallée de l'Oise, les teneurs en nitrates ayant atteint 120 mg/l. De nouvelles ressources de meilleure qualité chimique ont été recherchées et captées à plus de 15 kms, dans la nappe de la craie de la vallée de l'Aronde.

3.3.4. NITRATES D'ORIGINE ANIMALE

Un cas intéressant est fourni par une étude concernant le département du Finistère.

Ce département figure parmi ceux dont la teneur en nitrates dans les eaux souterraines est la plus élevée (fig. 26). L'activité agricole de ce département est orientée vers l'élevage intensif qui produit des quantités importantes de fumiers et de lisiers qui sont utilisés en agriculture, et vers la production légumière dans le Nord-Est, qui nécessite une utilisation importante d'engrais chimique.

Une étude statistique de l'Agence de Bassin Loire-Bretagne, portant sur 160 communes, a démontré qu'il y avait une relation très significative entre la teneur en nitrates des captages, la production d'azote d'origine bovine par ha, la production d'azote d'origine porcine par ha et le rapport de la surface en culture fourragère. La teneur en nitrates des eaux souterraines s'accroît avec les charges de porcs et de bovins à l'hectare dont les contributions respectives sont pratiquement identiques.

3.3.5. NITRATES D'ORIGINE INDUSTRIELLE

Les exemples sont nombreux dans les régions industrialisées. Nous citerons celui des zones industrielles de la boucle rive gauche de la vallée de la Seine à Rouen.

La nappe est située dans les alluvions modernes de la vallée, sous les terrasses quaternaires et dans la craie fissurée sous-jacente. Les études réalisées par le B.R.G.M. de 1970 à 1980 ont mis en évidence trois pôles de contamination par les nitrates avec des teneurs supérieures à 50 mg/l (fig. 27).

Le principal, à Petit-Quevilly, au Nord du méandre, présente une contamination supérieure à 100 mg/l avec des valeurs maximales de 200 mg/l. Ce secteur industriel, également le plus ancien, comprend plusieurs industries chimiques, dont une usine d'engrais et d'anciennes gravières remblayées par des déchets industriels, dont des résidus de la fabrication des produits chimiques.

Les deux autres, Grand-Couronne (au Sud-Ouest) et Oissel (au Sud-Est) s'inscrivent exactement autour de deux usines de fabrication d'engrais.

L'un des captages d'alimentation en eau potable de la région, celui de Grand-Quevilly, était situé à la limite sud de la zone la plus polluée et à l'aval de l'écoulement de la nappe. Par suite de la réduction des prélèvements sur les forages industriels, fermeture d'usines, recyclages, la dépression de la nappe a diminué progressivement à partir de 1968 et la tâche de pollution s'est étendue vers l'aval.

Les valeurs en nitrates déjà élevées (70-80 mg/l) ont augmenté jusqu'à atteindre 140 mg/l en 1977. L'eau distribuée à la population qui était déjà mélangée avec 2/3 d'eau de sources de Moulineaux (sources de la ville de Rouen) a vu cette proportion passer à 4/5.

Devant cette situation la municipalité entreprit des recherches pour la création d'un nouveau point d'eau. Les essais réalisés en 1976 sur les forages du Chêne à Leu, implantés dans un vallon de la forêt des Essarts, à 1500 m au Sud-Est des forages du Calvaire, permirent de mettre en évidence une possibilité de prélèvement de 4.800 m³/jour d'eau de bonne qualité puisque les teneurs en nitrates n'étaient seulement que de 23 mg/l lors des pompages d'essai. A noter que depuis cette date, probablement sous l'effet de l'exploitation des ouvrages, les valeurs ont pratiquement doublé (46-49 mg/l en décembre 1983).

EVOLUTION DE LA TENEUR MEDIANE EN NITRATES DES
CAPTAGES DU DEPARTEMENT DE L'EURE

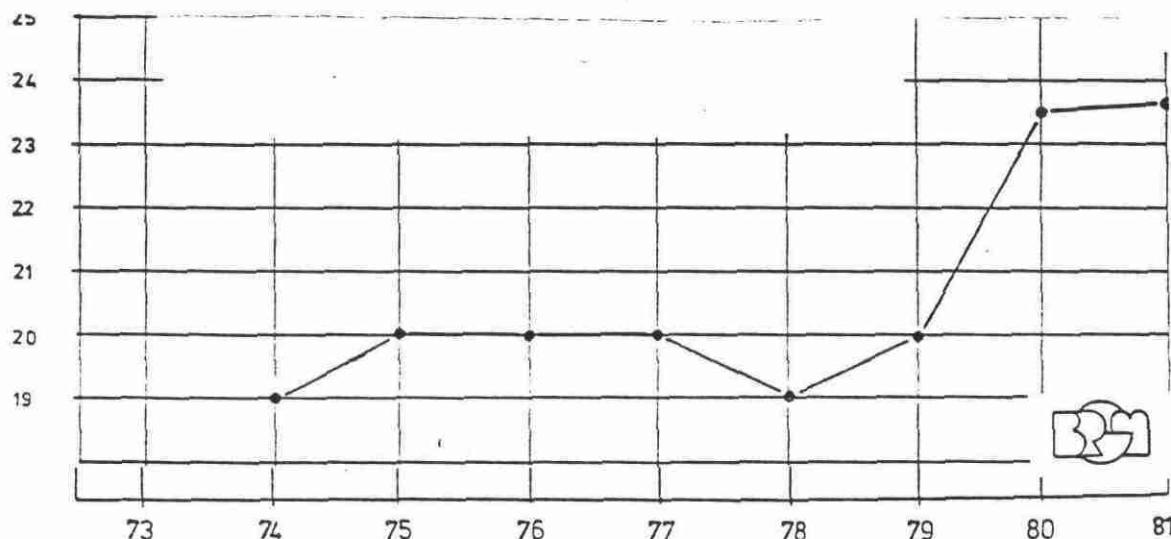


FIGURE 21

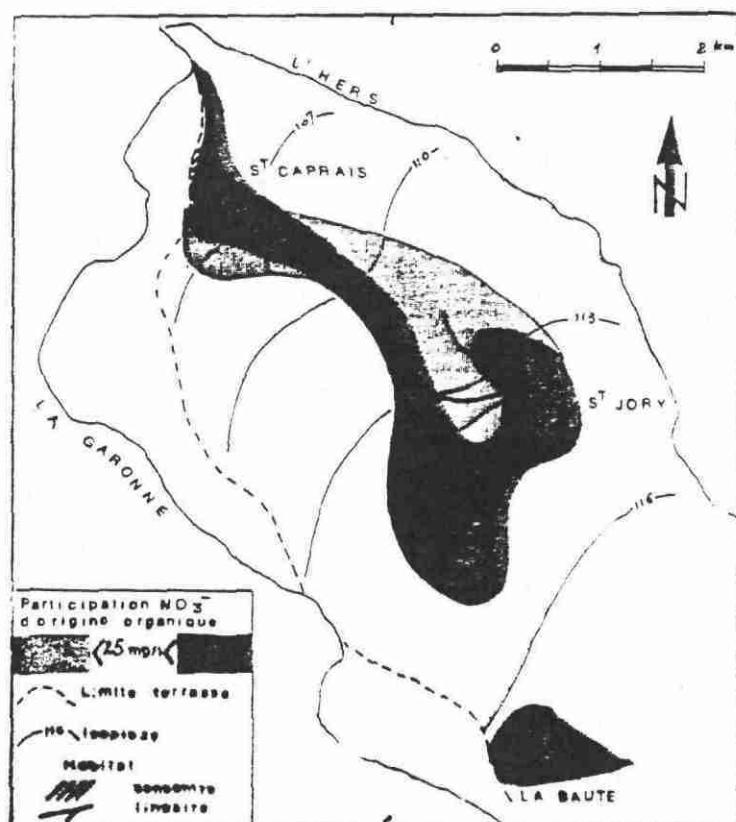


FIGURE 25

IMPACT DE L'ASSAINISSEMENT INDIVIDUEL SUR LA
MINERALISATION AZOTEE DE LA NAPPE ALLUVIALE DE LA GARONNE
(d'après Bergé Ph. Donville B.)

3.3.6. EFFET CUMULE DE DIFFERENTES SOURCES DE NITRATES

Dans les secteurs péri-urbains la contamination des nappes par les nitrates a souvent plusieurs origines qui se cumulent. C'est ce qu'illustre une étude récente réalisée dans les bassins d'alimentation de deux champs captants de la banlieue Lilloise, dans les environs des agglomérations de SECLIN et de WATTIGNIES, où la teneur en nitrates de la nappe de la craie est devenue telle que certains forages ont dû être arrêtés.

Sur ces bassins, d'une surface totale de 60 km², le calcul a établi que la valeur théorique des flux polluants d'azote étaient en moyenne de 77 t par an en milieu agricole et de 73 t par an en milieu urbain et industriel. La grande culture engendre un flux de 20 kg/ha soit une concentration théorique dans la nappe de 50 mg/l, les cultures maraîchères et les prairies retournées un flux de 70 kg/ha et une concentration théorique dans la nappe de 100 mg/l.

Les pollutions en zones urbanisées et industrielles engendrent un flux de 90 kg/ha/an et une concentration théorique de 200 mg/l dans la nappe ; les quartiers anciens, non raccordés, apporteraient 100-150 kg/ha et une concentration théorique de 300 mg/l.

Globalement l'azote extrait des captages proviendrait à 50 % de l'agriculture et à 50 % de l'urbanisation et de l'industrialisation.

La carte de la figure 27 bis met en évidence deux grandes zones :

- la zone à recouvrement tertiaire (argiles de Louvil) ou alluvial important (supérieur à 10 m), où la nappe de la craie devient semi-captive à captive, au sud du canal de Seclin et dans la vallée de la Deûle. Les teneurs sont toujours inférieures à 50 mg/l et deviennent même rapidement inférieures à 5 mg/l.
- la zone de nappe libre et mal protégée (craie subaffleurante sous limons ou alluvions peu épaisse, moins de 5 m), au nord-est, où les teneurs sont toujours supérieures à 50 mg/l à l'exception de quelques points.

En zone libre, on distingue plusieurs sous-zones :

- . les zones rurales où les teneurs oscillent la plupart du temps aux alentours de 50 mg/l,
- . la majorité des zones urbanisées anciennes avec des teneurs comprises entre 75 et 100 mg/l,
- . les zones urbanisées récentes avec des teneurs voisines de 50 mg/l (Nord de Wattignies),
- . les zones industrielles qui sont :
 - soit fortement polluées (100 à 135 mg/l) dans les zones à activités polluantes et assainissement déficient (sud de la Z.I. de Seclin),
 - soit relativement peu contaminées par suite de l'imperméabilisation de grandes surfaces et de l'infiltration d'eaux pluviales (nord de la Z.I. de Seclin).

L'étude de l'évolution des teneurs en nitrates en fonction du sens d'écoulement de la nappe a mis en évidence qu'à l'amont des bassins d'alimentation, occupés par des sols agricoles, la minéralisation des eaux souterraines est voisine de 50 mg/l de NO₃. Les eaux souterraines s'écoulent ensuite sous les secteurs industrialisés et urbanisés, où elle se charge encore en nitrates sous l'effet des fuites de collecteurs d'assainissement collectif partiel, lagunage d'effluents de sucrerie, pour atteindre 70 à 90 mg/l ; sous les quartiers anciens dépourvus d'assainissement, les valeurs maximales approchent les 135 mg/l.

En atteignant les zones maraîchères, la teneur moyenne de la nappe reste généralement de l'ordre de 60 à 90 mg/l, mais la dilution par des eaux peu minéralisées provenant du secteur protégé ou même d'eaux de surface ramène la teneur vers des valeurs moyennes de 50 à 70 mg/l sur les forages d'Houplin.

En ce qui concerne le champ captant d'Emmerin, l'interprétation des analyses a mis en évidence une source de pollution supplémentaire à proximité des forages, provenant de l'effet cumulé des prairies retournées, du passage d'un collecteur et de quartiers anciens. L'eau prélevée contient de 96 à 120 mg/l de nitrates.

A la suite de ces études, un certain nombre de mesures correctives seront proposées pour réduire les pollutions (vérification de l'étanchéité des collecteurs, assainissement des quartiers anciens, améliorations des pratiques culturales).

TENEUR MOYENNE EN NITRATES DES CAPTAGES
D'EAU POTABLE DU FINISTÈRE. Année 1981.

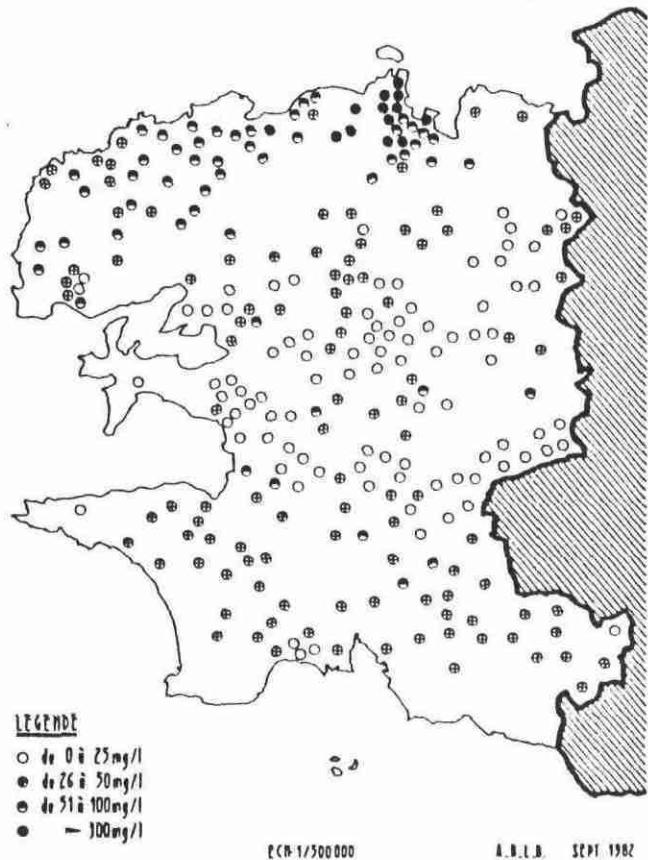


FIGURE 26

ZONES INDUSTRIELLES DE ROUEN
EXTENSION DE LA POLLUTION PAR LES NITRATES >50 mg/L
1970-1976

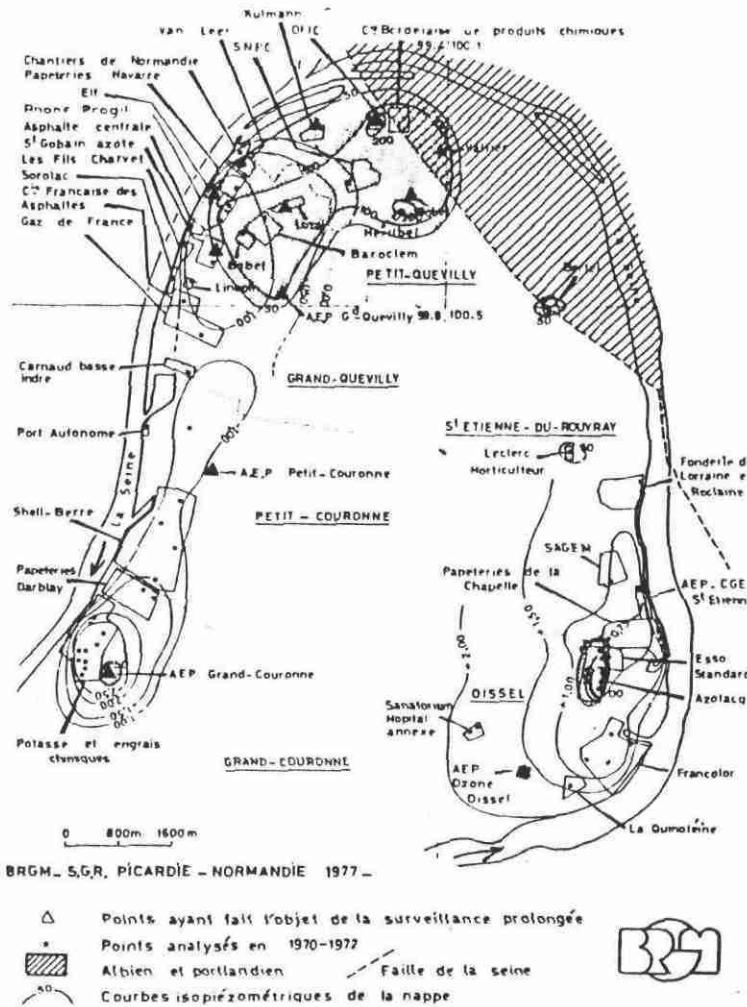


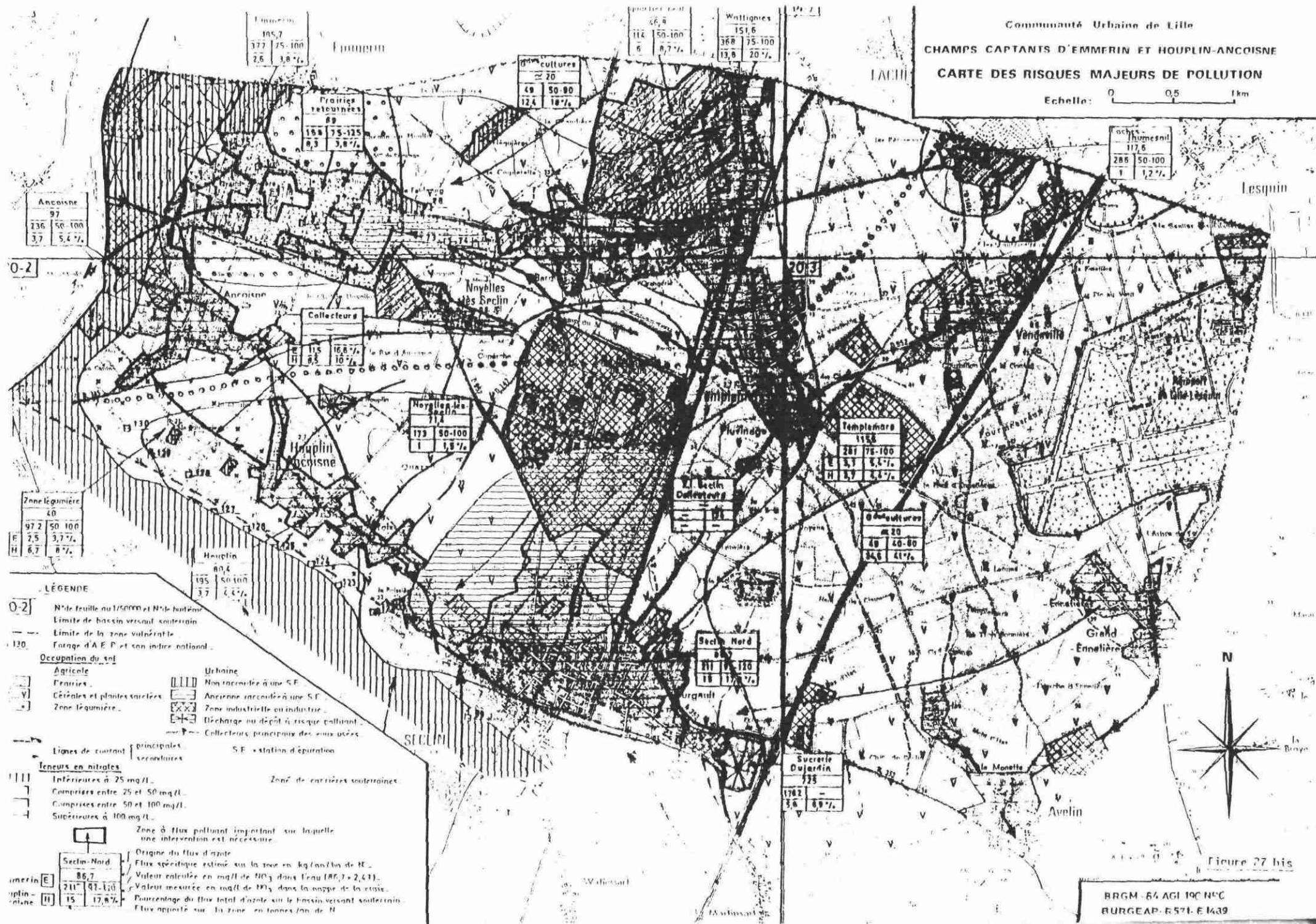
FIGURE 27

Communauté Urbaine de Lille

CHAMPS CAPTANTS D'EMMERIN ET HOUPLIN-ANCOISNE

CARTE DES RISQUES MAJEURS DE POLLUTION

Echelle: 0 0,5 1 kr



4. PROCESSUS DE CONTAMINATION DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE

4.1. Milieu physique dans lequel se propagent les nitrates

Pour une meilleure compréhension des mécanismes, on peut schématiquement découper le sous-sol en trois "compartiments" :

- une "zone superficielle" correspondant au sol dans laquelle l'activité biologique est généralement intense. Cette zone colonisée par le système racinaire des plantes comporte un stock d'azote d'origine diverse : azote naturel du sol (humus), azote provenant des résidus de récolte et des fumures organiques ou minérales apportées pour satisfaire aux besoins de la plante. Une partie de ce stock est exporté sous forme d'ions nitrates par les plantes. L'excédent d'azote nitrique (forme très mobile) qui se trouve disponible dans le sol est alors susceptible, après les récoltes, d'être lessivé par les eaux d'infiltration qui percolent à travers cette couche vers les horizons plus profonds. La période la plus propice au lessivage correspond à celle de l'alimentation des nappes d'eau souterraine, c'est-à-dire en général entre octobre et avril.
- une zone dite "non-saturée" située entre le sol et la nappe d'eau souterraine. Cette zone intermédiaire de nature physique très diverse suivant les types de roches concernés et d'épaisseur variable (de quelques mètres à plusieurs dizaines) conditionne en grande partie les temps de transferts vers la nappe : de quelque jours à plusieurs années. Suivant que la roche sera à porosité d'interstices (sables, grès ...) ou de fissures (calcaires ...), les circulations seront plus ou moins rapides.
- le "milieu saturé" qui constitue l'aquifère. Dans cette zone, les transferts d'eau et des composés présents dans celle-ci sont essentiellement latéraux par opposition aux transferts verticaux de la zone non-saturée.

4.2. Présentation de recherches récentes

Face à ce phénomène qu'est l'augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines, un certain nombre de questions se posent, notamment :

- la contamination mise en évidence dans un certain nombre de secteurs peut-elle s'étendre géographiquement dans les années à venir ?
- jusqu'à quel niveau de concentrations vont évoluer les teneurs dans les zones actuellement contaminées ?

Pour tenter de répondre à ces questions, le BRGM a lancé, en liaison avec le Comité "Eau" du Ministère de l'Environnement, un programme d'étude "in situ" de l'état nitrate du sous-sol sous divers contextes suffisamment typés tant du point de vue hydrogéologique qu'agricole. L'étude "in situ" lorsqu'elle est possible, est à notre sens la meilleure manière de cerner la réalité des phénomènes et de les quantifier.

MIGRATION DES NITRATES DANS LA CRAIE NON SATURÉE
DE CHAMPAGNE : SITE EXPÉRIMENTAL DE LA FERME DE
NOZET (Connantré)

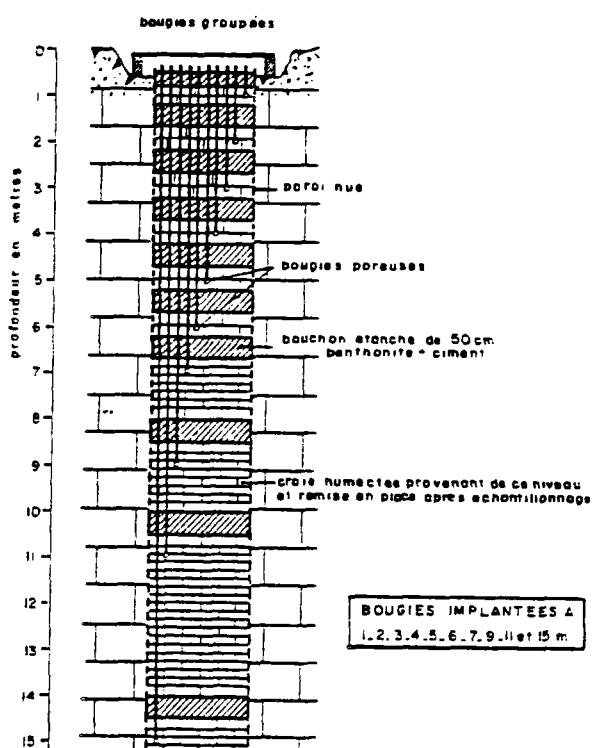


FIGURE 28a

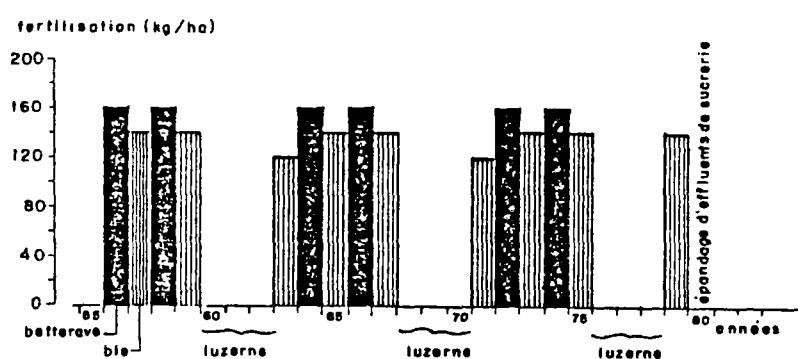
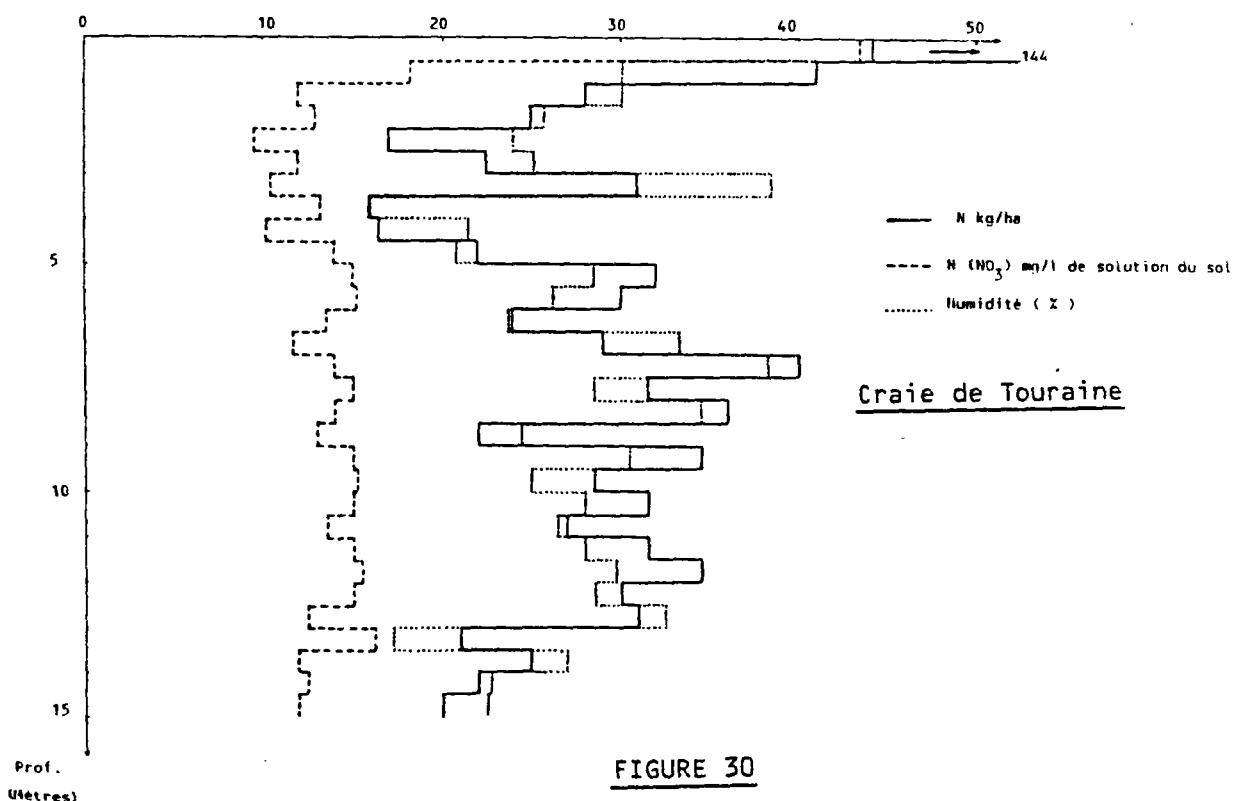
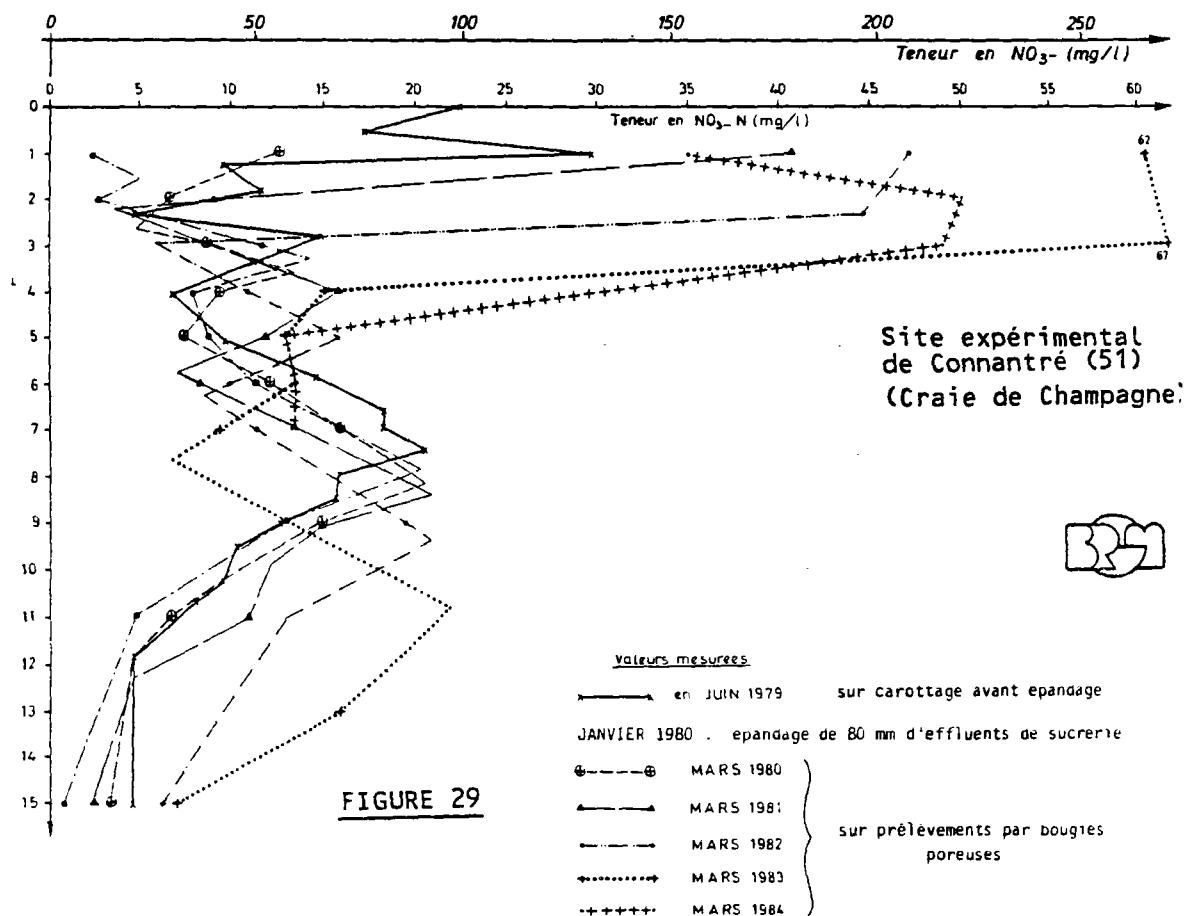


FIGURE 28b

MIGRATION DES NITRATES DANS LA ZONE NON SATUREE



C'est ainsi qu'une dizaine de sondages, d'environ 15 m, ont été réalisés sur toute l'épaisseur comprise entre le sol et la nappe, ceci afin d'établir des profils d'azote nitrique contenus dans les eaux interstitielles en fonction de la profondeur et de corrélér les résultats obtenus à l'historique des activités agricoles ayant eu lieu au cours des 10 ou 20 dernières années (types de cultures pratiquées et quantités de fertilisants utilisés). Cette démarche avait d'ailleurs été mise en oeuvre depuis 1976 en Angleterre par le Centre de Recherches sur l'eau et a apporté un certain nombre de résultats particulièrement intéressants.

4.2.1. CRAIE DE CHAMPAGNE

La Champagne crayeuse est une zone de grande culture où les assolements pratiqués sont en général deux années de betteraves-blé et trois ans de luzerne. Or, dans certains secteurs, on n'observe pas d'accroissement notable de la teneur en nitrates des eaux malgré l'importance de l'activité agricole. Afin d'en rechercher le pourquoi, des profils nitrates ont été réalisés sous un champ mis en culture depuis 1955 (fig. 28). Le premier sondage a été effectué par carottage en juin 1979. Les autres profils ont été obtenus grâce à l'installation d'un système permanent d'extraction "in situ" des eaux interstitielles des terrains par mise en dépression de bougies poreuses implantées à différentes profondeurs (fig. 28a).

- Profil de juin 1979

A l'aide d'un programme de simulation des transferts de solutés dans le sol mis au point par le Centre de Recherches sur l'Eau, une correspondance a pu être établie entre les teneurs trouvées dans la zone non-saturée et l'historique des cultures pratiquées depuis 1955 (fig. 28b).

Le premier "pic" rencontré à 8 m de profondeur présente une teneur de 85 mg/l en nitrates. Il correspond aux effets conjugués du déboisement et de la mise en culture qui lui a été consécutive.

Ce phénomène a été également observé par ailleurs : le déboisement, tout comme le retournement de friches ou de prairies permanentes, a pour effet de libérer d'importantes quantités d'azote dans les deux ou trois années qui suivent l'opération et parfois plus longtemps.

Les temps de transferts sont très lents (de l'ordre de 0,3 m/an). Si l'on ne considère que l'effet de l'activité agricole (pic situé à 2 m de profondeur) les concentrations dans les eaux interstitielles sont d'environ 65 mg/l.

Une simulation des quantités de nitrates arrivant à la nappe pour les 50 ans à venir a montré qu'à partir des années 2020, les concentrations pourraient se stabiliser aux alentours de 50 mg/l.

- Profils successifs (décembre 1979 - mars 1984) (fig. 29b).

Six profils ont été réalisés entre décembre 1979 et mars 1984. Leur position les uns par rapport aux autres met en évidence une progression en profondeur des pics nitrates vers la nappe et ceci sans diminution de leur intensité. Les déplacements seraient compris entre 0,6 et 1 m par an, c'est-à-dire supérieurs à ceux observés sur le profil initial. Cette différence s'explique par l'épandage d'effluents de sucrerie (environ 80 mm) qui s'est additionné entre 1979 et mars 1980 à l'infiltration naturelle et par les hauteurs d'eau infiltrées beaucoup plus importantes qu'à l'habitude pendant l'année hydrologique 1981-1982. Les épandages ont eu également pour effet d'augmenter le stock d'azote entre 1,5 et 3 m.

4.2.2. CRAIE EN TOURAINE (fig. 30)

Le profil réalisé concerne une parcelle sur laquelle sont pratiquées des cultures céréalières (blé-orge) avec intercalations de prairies temporaires, ceci depuis plus de 30 ans.

L'allure du profil est sensiblement différent du précédent puisqu'il montre une succession de pics sans que l'on note de différences notables d'amplitude les uns par rapport aux autres. Notre expérience nous laisse à penser que cette succession de pics n'est pas due à des "événements agricoles" précis, mais davantage à l'hétérogénéité du terrain (nombreux niveaux marneux de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur matérialisés sur le profil par des variations de teneur en eau). Sur ces hypothèses vraisemblables, on est amené à considérer que l'activité agricole telle qu'elle est menée sur cette parcelle produit un flux sensiblement constant de nitrates qui sont entraînés en profondeur. Les concentrations des eaux interstitielles varient entre 45 et 65 mg/l.

4.2.3. CRAIE EN HAUTE-NORMANDIE

Sous le plateau de St André de l'Eure (fig. 6), la minéralisation en nitrates de la nappe de la craie est supérieure à 50 mg/l lorsque celle-ci est peu profonde (10 à 20 m) alors qu'elle se limite à 25 mg/l lorsque le niveau piézométrique est beaucoup plus bas (60 à 80 m). En 1983 deux forages carottés, S1 et S2, de 22 et 70 m ont été réalisés jusqu'à la nappe dans chacune des catégories de zones et l'azote des eaux interstitielles a été analysé tous les 50 cm puis tous les mètres. L'étude avait pour objectif d'étudier d'une part la répartition verticale des flux nitrates en cours d'infiltration dans le milieu non saturé et d'effectuer, d'autre part, des prévisions de temps de transfert jusqu'à la nappe. En effet ces ouvrages sont placés dans des parcelles dont les pratiques culturales sont connues respectivement depuis 12 et 33 ans. L'examen du profil S1 (fig. 30bis a) met en évidence des valeurs de 62 à 80 mg/l sur les 4 premiers mètres, puis de 30 à 40 mg/l plus en profondeur, à l'exception de 3 pics vers 8-9 m, 11 m et 18 m ; la teneur en nitrates de la nappe étant de 32 mg/l.

REPARTITIONS VERTICALES DES TENEURS EN NITRATES SOUS LE PLATEAU DE ST ANDRE DE L'EURE (27)

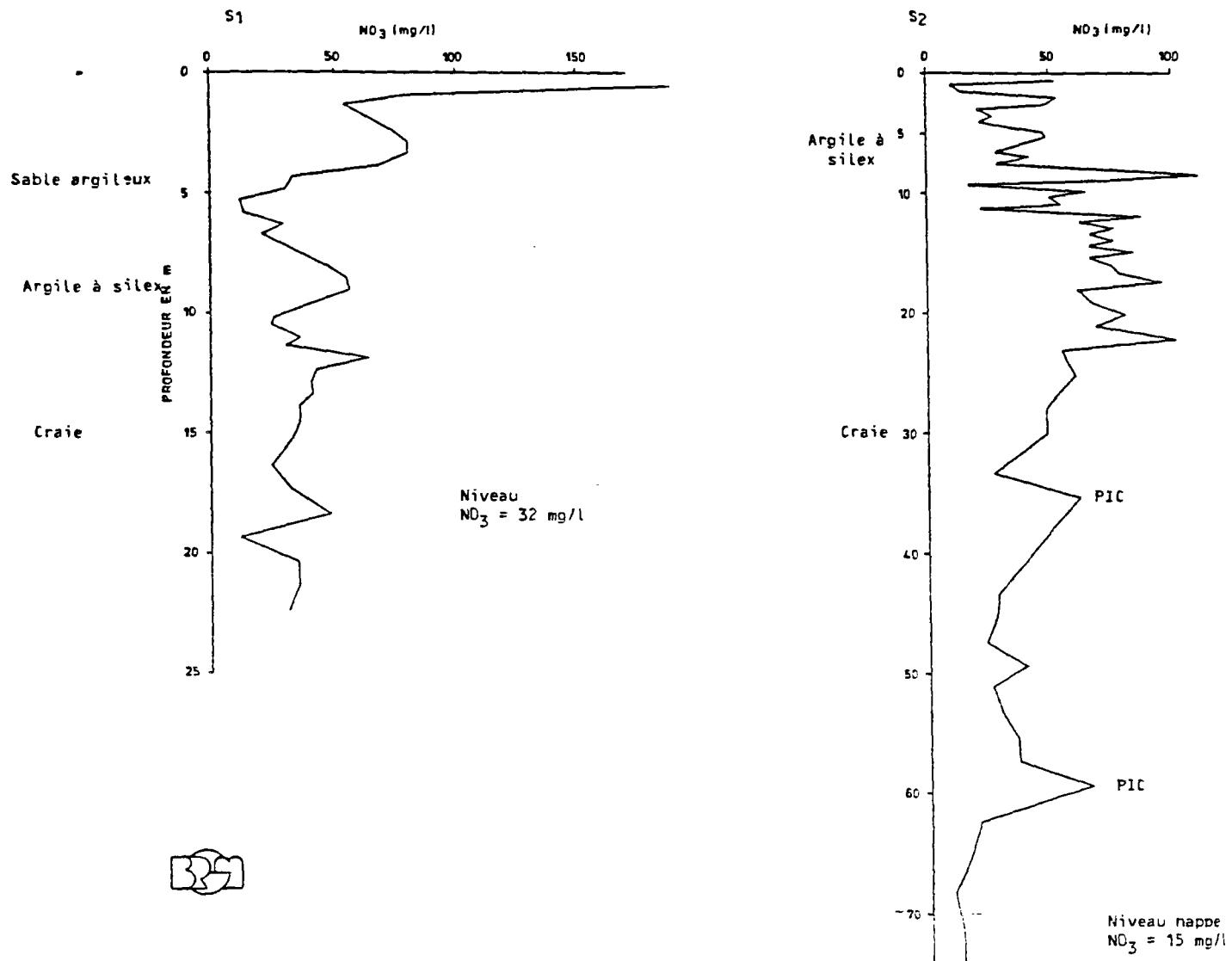


Fig. 30bis a - Profils des teneurs en nitrates dans l'eau intersticielle de la craie non saturée.

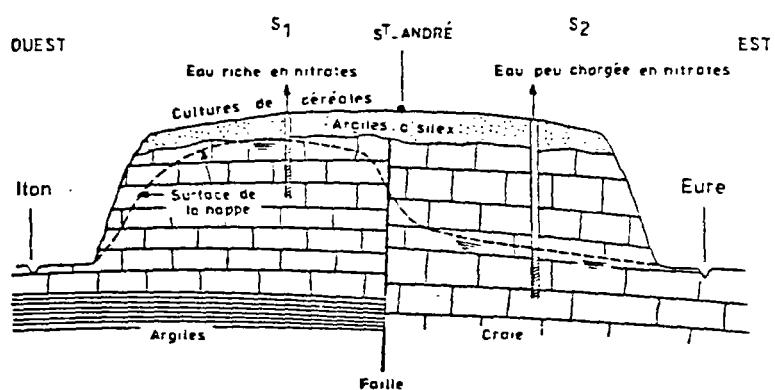


Fig. 30 bis b - Courant hydrogéologique schématique

Dans le forage S₂ les teneurs varient tout d'abord de 60 à 90 mg/l de 10 à 25 m, puis décroissent en moyenne de 60 à 10 mg/l jusqu'au niveau de la nappe. On note cependant 2 pics de 62 mg/l à 35 m et 68 mg/l à 50 m. La nappe contient 13 mg/l de NO₃.

La modélisation a permis de calculer une vitesse d'infiltration de 35 cm par an, ce qui équivaut à un délai de 120 ans avant que les fortes teneurs, au dessus de 28 m, n'atteignent le niveau de la nappe.

4.3. Synthèse des éléments apportés par l'ensemble des profils

Sous réserve que chacun des différents profils soit une image fidèle de l'impact de l'activité agricole sur les teneurs en nitrates des eaux du sous-sol, la synthèse de l'ensemble des résultats apporte quelques éléments intéressants.

- Sous toutes les parcelles cultivées, il a été mis en évidence un stock de nitrates qui migre vers les nappes et ceci sans qu'il soit relevé d'atténuation notable de son importance lors du déplacement en profondeur. La figure 29 illustre bien ce phénomène. La même observation a été faite en Angleterre par le Centre de Recherche sur l'Eau en comparant l'évolution de profils réalisés successivement dans le temps.

L'éventuelle diminution des teneurs en nitrates au cours du déplacement en profondeur qui a parfois été avancée, est fondée sur le fait que la concentration est susceptible de décroître par effets physiques (diffusion, dispersion) et/ou biochimiques (essentiellement perte de nitrates par dénitrification). En ce qui concerne les premiers, les résultats montrent que pour les cas de figures étudiés, les effets sont réduits ; il en est de même pour ce qui est des possibilités de dénitrification. Ceci d'ailleurs n'a rien de surprenant du fait que la zone non-saturée est le plus souvent un milieu oxydant (roche-eau-air) alors que les conditions de réalisation d'une dénitrification nécessitent d'être en milieu réducteur.

- Les teneurs en nitrates des eaux intersticielles sont très rarement inférieures à 45 mg/l en deça de 15 m de profondeur. Par contre les profils réalisés dans la craie de Haute-Normandie ont montré qu'en profondeur les teneurs pouvaient descendre jusqu'à 10 mg/l. Pour la craie de Touraine où les amplitudes de variations sont faibles, les concentrations se situent entre 45 et 65 mg/l. Un profil réalisé en Bretagne sous culture maraîchère dans la région du Léon, montre que les eaux contenues dans la zone non-saturée ont une teneur en moyenne de l'ordre de 130 mg/l.

Il semble donc que l'activité agricole pratiquée sur les sites observés soit difficilement compatible avec la sauvegarde de la qualité des eaux des nappes phréatiques.

- Un certain nombre de calculs effectués sur les différents profils ont permis de mieux approcher les effets de certains assolements ou pratiques agricoles. C'est ainsi qu'il a pu être estimé que :

- . dans les zones de grandes cultures, la fourchette des reliquats annuels de nitrates susceptibles d'être lessivés se situe entre 30 et 45 kg de N par hectare ;
- . sous les cultures maraîchères en Bretagne les reliquats calculés à partir d'un bilan agronomique sont tels qu'il s'ensuit pour les eaux de la nappe une teneur de l'ordre de 130 à 170 mg/l. Ce chiffre concorde avec les valeurs du profil et la teneur en nitrates des eaux de la nappe au droit de la parcelle étudiée qui est de 130 mg/l ;
- . les retournements de prairies permanentes ou de friches libèrent dans le sous-sol un stock important d'azote nitrique. Pour chacun des trois profils pour lesquels cette pratique a eu lieu, les quantités d'azote ainsi libérées ont été estimées à 200, 235 et 400 kg de N par hectare. Par contre ce phénomène ne semble pas être très marqué si le retournement concerne des prairies de quelques années (2 ou 3 ans) s'insérant dans un asselement.

Les chiffres mentionnés, notamment ceux relatifs aux zones de grandes cultures, doivent retenir notre attention. En effet, si l'on considère la limite inférieure de la fourchette (30 kg de N par ha) qui correspond au profil dans la craie en Touraine, on constate que cette perte a pour effet de produire des concentrations de l'ordre de 50 à 60 mg/l. Or les quantités totales d'azote mises annuellement en jeu sont de l'ordre de 200 à 250 kg/ha (azote du sol et apport en fertilisants). Cela tend à indiquer que les fuites d'azote vers les nappes devraient être inférieures à 15 % de l'ensemble du stock annuel contenu dans le sol pour assurer un maintien de la qualité de nos eaux souterraines. Ainsi il semble que même si l'on parvient à ajuster au mieux la fertilisation azotée aux besoins des cultures, les effets produits sur la qualité des eaux seront tels que les teneurs se situeront autour de la norme de 50 mg/l.

Il semble que l'origine de l'augmentation des teneurs en nitrates n'est pas uniquement due aux doses de fertilisations azotées pratiquées, mais tout autant aux modifications apportées aux assolements depuis quelques années et surtout à l'accroissement important des surfaces cultivées. En effet, les bois ou prairies correspondent à des zones où l'eau souterraine est de bonne qualité et peut diluer les eaux plus chargées provenant des secteurs agricoles situés en amont hydraulique. Or, l'accroissement des surfaces productives est tel que de nos jours, les volumes disponibles d'eau à faible teneur en nitrates sont insuffisants pour jouer leur rôle antérieur.

4.4. Points préférentiels de contamination des nappes

Quelque soit l'origine des nitrates, il faut rappeler, pour être complet, que les schémas présentés ci-dessus ne correspondent pas toujours à la réalité pour des raisons naturelles ou artificielles.

Les causes naturelles peuvent être l'infiltration d'eau de ruissellement ou de drainage, chargées en nitrates, dans des dépressions de fonds de vallées sèches, des bâtoires en formation, des failles géologiques. Ainsi dans le département de l'Oise, on a constaté que les valeurs en fonds de vallon (50 à 60 mg/l) étaient le double de la teneur moyenne régionale (25 à 30 mg/l).

Les causes artificielles, et souvent volontaires, sont le rejet direct dans le milieu non saturé, ou parfois même dans la nappe, d'eaux usées domestiques, industrielles, de drainage ou d'élevage, dans des puits absorbants, des bâtoires naturelles, des carrières souterraines, des puits désaffectés, ou des forages d'aspersion en période de hautes-eaux.

Il va sans dire que ces rejets illicites, mais malheureusement assez répandus, accélèrent la contamination des eaux souterraines en nitrates et sont à l'origine de pôles de pollution excessive. Dans les nappes à perméabilité de fissure (calcaires, craie fissurée, roches éruptives ...) ils sont fréquemment directement responsables de la contamination massive des captages d'eau potable.

5. SOLUTIONS ENVISAGEABLES ET CONCLUSIONS

Les études réalisées depuis une dizaine d'années, sur la répartition et l'évolution des teneurs en nitrates des eaux souterraines en France, ont montré que :

- la contamination est principalement d'origine agricole ; il s'agit d'une *pollution diffuse* difficilement contrôlable ;
- il existe une seconde catégorie de *pollutions ponctuelles* ou de *pollutions circonscrites* d'origine industrielle ou domestique (usines, décharges, dépôts, assainissement ...) vis-à-vis de laquelle il est plus facile d'agir.
- Seules les nappes libres sont contaminées et leur degré de vulnérabilité est plus ou moins élevé selon la nature de leur recouvrement et leur type de perméabilité ; il en découle que la répartition spatiale des teneurs en nitrates peut être extrêmement variable pour une même nappe.
- Les nitrates rencontrés dans les nappes sont souvent d'origine ancienne supérieure à 25-30 ans, car le processus d'infiltration à travers la partie supérieure non saturée de l'aquifère est habituellement très lent, de l'ordre de 50 cm à 1 m par an, ce qui explique l'accroissement progressif des valeurs dans les captages, à raison de 1 à 4 mg/l par an. Il existe cependant des zones d'infiltration préférentielles : naturelles (failles, gouffres, bâtoires, dépressions, fonds de vallées) ou artificielles (puits, puits absorbants) qui accélèrent le phénomène et augmentent localement les teneurs en nitrates.

Si l'on veut pouvoir continuer à alimenter les populations à partir des eaux souterraines, qui par ailleurs sont moins vulnérables aux autres pollutions que les eaux de surface, différentes mesures doivent être prises. Elles sont de deux ordres : préventives et curatives.

Les mesures les plus faciles à mettre en œuvre sont :

- la suppression des causes de *pollutions ponctuelles* (décharges, rejets directs dans le sous-sol d'eaux résiduaires et de drainage, amélioration des installations d'assainissement) mais leur coût doit être pris en considération.

- la protection des captages publics par des études détaillées de leur environnement et des causes de pollutions potentielles et réelles, puis définition des périmètres de protection rapprochée et éloignée nécessaires.

Ici encore l'incidence économique des servitudes et des travaux doit être prise en compte et l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique devra éventuellement conseiller le déclassement des captages trop vulnérables.

L'action sur les pollutions diffuses est beaucoup plus difficile à mettre en oeuvre, car l'azote est nécessaire aux cultures, mais il faut cependant rechercher des "solutions agronomiques" par une modification des pratiques culturales, notamment en agissant sur les apports et les assoulements afin que les stocks d'azote mis annuellement à la disposition d'une culture soient le moins excédentaire possible par rapport aux besoins, et que les quantités de nitrates disponibles soient minimales aux périodes où les risques d'entrainement sont les plus grands.

Il faut toutefois considérer que d'une part les effets ne seront souvent sensibles qu'à long terme du fait de l'inertie du "système géologique" et que d'autre part il ne faut pas s'attendre à priori à un retour à une situation équivalente à celle d'il y a 20 ou 30 ans.

Dans les cas où les teneurs en nitrates sont excessives par rapport à la norme et que les mesures de protection s'avèrent aléatoires ou coûteuses, il faut envisager l'amélioration du point d'eau, ou son remplacement.

Des démarches dont l'objectif est de mieux connaître les mécanismes de l'influence des diverses pratiques culturales dans l'environnement rapproché des captages publics sont en cours sous l'incitation des Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement. Certaines d'entre elles ont un caractère de recherche telle l'étude expérimentale du bassin d'alimentation du forage de St-Hilaire-le-Petit (51) dans lequel l'INRA et le BRGM effectueront d'une part l'étude pédologique et le suivi agronomique du bassin, l'évolution des profils chimiques du réservoir crayeux non saturé, ainsi que le suivi hydrodynamique et chimique de la nappe sur plusieurs piézomètres et le captage.

D'autres, par contre, ont un objectif économique visant à définir les règles de pratiques culturales les mieux adaptées pour les terres situées dans les zones d'alimentation directe des captages, ainsi que les moyens nécessaires à leur mise en oeuvre, afin d'éviter chaque fois que possible l'application de contraintes et servitudes excessives (ex. Agence de Bassin Loire-Bretagne).

Il s'agit d'une véritable concertation des Agences de Bassin avec les collectivités et la profession concrétisées par des protocoles d'accord fixant les modalités de mise en oeuvre de modification des pratiques culturales, de leur suivi, la durée éventuelle des essais, les indemnités à verser aux exploitants au titre des pertes de récolte ou de la mise en conformité des installations agricoles etc ... Dans le cas où les interdictions envisagées ne permettraient plus la viabilité de l'exploitation, l'acquisition foncière du périmètre rapproché devra être effectué par la collectivité.

. L'amélioration de la qualité de l'eau prélevée peut être obtenue par un approfondissement du forage ou du puits existant en se basant sur le principe que seule la partie supérieure de la nappe est contaminée.

Il faut cependant être prudent car les expériences sont actuellement insuffisantes pour savoir s'il ne s'agit pas d'un état transitoire qui tendrait à disparaître avec le temps sous l'effet de pompages prolongés. S'agit-il d'une solution définitive au problème ou, au contraire, que d'un répit momentané ?

L'implantation de captages de substitution doit être guidée par la recherche de zones où la nappe est de bonne qualité et susceptible de la conserver compte tenu d'une bonne protection de l'aquifère. Les cartes de vulnérabilité des nappes aux pollutions établies depuis quelques années dans certaines régions étaient déjà un bon indicateur des zones sensibles. Une expérience a été réalisée plus récemment dans le département de l'Indre et Loire à la demande du Ministère de l'Environnement, où, par superposition de la carte d'occupation des sols et de la carte de vulnérabilité au 1/100.000, il a été possible de déterminer les secteurs où l'eau souterraine devrait conserver ses faibles teneurs en nitrates si l'affection des sols n'est pas modifiée dans les années à venir (fig. 31).

D'une façon générale, il reste encore beaucoup à faire pour appréhender les mécanismes d'infiltration et de migration des nitrates dans les eaux souterraines ainsi que les proportions respectives des diverses sources de contamination.

Les Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement sont très attentifs à l'évolution du phénomène ainsi qu'à la progression des connaissances. Un Comité interministériel, le CORPEN⁽¹⁾, a été créé spécialement en 1984 pour coordonner les actions au niveau national et régional et promouvoir les recherches et les études.

A la fin de la même année, il a adopté un programme d'action en 6 points :

- . promouvoir les recherches et les études,
- . améliorer la connaissance de la qualité des eaux superficielles et surtout souterraines,
- . améliorer les pratiques agricoles,
- . mieux protéger les nappes des infiltrations ponctuelles,
- . mieux former (formation initiale et continue)
- . mieux informer les divers agents concernés par la pollution par les nitrates.

⁽¹⁾ Comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates provenant des activités agricoles)

**PROBABILITÉ D'UNE MINÉRALISATION
DES AQUIFÈRES LIBRES
PAR L'AZOTE NITRIQUE D'ORIGINE AGRICOLE**



LEGENDE

- Cultures à "risque" sur alluvions
- Cultures à "risque" sur calcaires lacustres
- Cultures à "risque" sur craie
- Cultures à "risque" sur formations peu perméables



FIGURE 31

Une évaluation des risques à l'échelle de la France (cartographie au 1/2000.000) a fait ressortir que les 3/4 des nappes libres du territoire national sont susceptibles d'être contaminés par les nitrates.

Dans les zones plus vulnérables, les captages devront être situés à l'amont des villages, en dehors des vallées recueillant des eaux de drainage, et dans des secteurs dépourvus de drainages agricoles et de points d'absorption naturelles. Dans tous les cas une étude détaillée de l'environnement et de la vulnérabilité s'impose.

Enfin s'il s'avère impossible de faire appel à la nappe libre, car les conditions requises n'existent pas, la dernière ressource sera de rechercher un aquifère captif, plus profond, sachant que si les conditions hydrogéologiques sont favorables, de nombreux exemples ont montré que les teneurs en nitrates y étaient faibles ou nulles. Mais la qualité technique des ouvrages (tubages, cimentations) doit être parfaite pour interdire toute communications avec les nappes supérieures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDRE P., DUBOIS de la SABLONIERE F., (1983).- Elevage intensif et qualité des eaux souterraines dans un département breton.- in T.S.M. l'EAU, mai 1983, p. 251-258.
- ANONYME, (1982).- Teneur en nitrates des eaux destinées à la consommation humaine.- Ministère de la Santé.
- BENOIST P., TARRADE E., Ben HAMZA C., (1978).- Inventaire de la qualité des eaux de nappes dans le Bassin Seine-Normandie.- A.F.B. Seine-Normandie.
- BERGÉ Ph., (1983).- Détection par traçage isotopique de l'origine des pollutions azotées dans l'aquifère alluvial de la vallée de la Garonne. Thèse de 3ème cycle sous la direction du Pr. DONVILLE B.- Université Paul Sabatier, Toulouse.
- BERGER G., ROUSSEL Ph., (1977).- Etude hydrochimique de la nappe des calcaires de Champigny, en Brie. Constitution d'un réseau de surveillance. (Rapport BRGM 77 SGN 546 BDP)
- BERGER G., BOSCH B., DESPREZ N., LETOLLE R., MARCE A., MARIOTTI A., MEGNIEN Cl., (1978).- Recherche de l'origine des nitrates dans les eaux souterraines de la Brie et de la Beauce. (Rapport BRGM, 78 SGN BDP).
- BRGM - BURGEAP, (1984).- Champs captants d'Emmerin et Houplin-Ancoisne ; proposition d'amélioration de la qualité de l'eau (rapport BRGM 84 AGI 190 NPC).
- BERNARD B., BOSCH B., MARCE A., (1979).- Diagnostic des pollutions agricoles dans les eaux souterraines par les isotopes du milieu. Rapport BRGM 795 SGN 141 NPC/MGA.
- BERNARD D., CAULIER P., GAGEONNET M., (1979).- Evaluation de la qualité des eaux dans le Cambresis. Examen de la qualité des eaux. Rapport BRGM, 79 SGN 658 NPC.
- CHEMIN J., (1981).- Contrôle de la qualité des eaux souterraines dans le département de l'Eure. 2ème année de surveillance. Rapport BRGM, 82 SGN 392 HNO.
- CHIGOT D., (1984).- Etude hydrogéologique relative à la lutte contre les nitrates. Secteur du SIVOM de Chatillon-Coligny (45). Rapport BRGM, 84 SGN 018 CEN.
- DESPREZ N., MEGNIEN Cl., (1975).- Atlas hydrogéologique de la Beauce. BRGM.

- DESPREZ N., (1982).- Etude pour l'amélioration des eaux distribuées aux populations des communes du Loiret. Rapport BRGM, 82 SGN 905 CEN.
- DESPREZ N., (1983).- Etude de la stratification chimique dans la partie libre de la nappe des calcaires de Beauce. Rapport BRGM, 83 SGN 115 CEN.
- DESPREZ N., (1984).- Nappe du calcaire de Beauce. Evolution de la teneur en nitrates sur quelques AEP en région Centre. Rapport BRGM, 84 SGN 038 CEN.
- EBERENTZ P., ROUX J.C., (1978).- Implantation d'un réseau de contrôle de la qualité chimique des eaux souterraines. Application à la nappe de la craie du Caux-Vexin ; Seine-Maritime. in "Hydrogéologie de la craie du Bassin de Paris, coll. régional" Rouen mai 1978" ; documents du BRGM n° 1.
- EBERENTZ P., ROUX J.C., (1979).- Contrôle de la qualité de la nappe de la craie en Seine-Maritime. -1ère année de surveillance- Rapport BRGM, 79 SGN 085 HNO.
- EBERENTZ P., ROUX J.C., (1982).- Contrôle de la qualité de la nappe de la craie en Seine-Maritime. 5ème année de surveillance. Rapport BRGM, 82 SGN 525 HNO.
- GOUISSET M., RISLER J.J., (1982).- Origine des eaux souterraines de la plaine d'Alsace. Secteur Bâle-Mulhouse. Rapport BRGM, 82 SGN 83 ALS.
- HENIN S., (1980).- Activités agricoles et qualité des eaux - Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement 30p.
- KREBS G., RISLER J.J., (1980).- Recherche de l'origine des nitrates dans la nappe phréatique de la plaine d'Alsace. Secteur vignoble-Sélestat - Rapport BRGM, 80 SGN 024 ALS.
- LANDREAU A., (1983).- Les nitrates dans les eaux souterraines. in l'Eau, l'Industrie, les nuisances n° 71. Janvier, février 1983, p. 45 à 51.
- MARIOTTI A., Ben HALIMA A., BERGER G., (1976).- In Rev. géogr. phys. et géol. dyn., 18-375-384.
- MARTIN G., (1979).- Le problème de l'azote dans les eaux. - Tech. et Doc., 279 p.

JAUFFRET D., SEGUIN J.J., (1984).- Prévision des teneurs en nitrates dans les régions de grandes cultures du département de l'Eure - Rapport BRGM 84 AGI 347 HNO.

PANEL R., (1982).- Contrôle de la qualité des eaux souterraines dans le département de l'Eure. 3ème année de surveillance. Rapport BRGM, 83 SGN 286 HNO.

PICARD J., (1983).- La protection des captages d'eau potable contre la pollution. in rev. Génie Rural, déc. 83, p. 7 à 13.

ROUX J.C., (1977).- Pollution de la nappe de la craie sous les zones industrielles de la région rouennaise. in : proc. symp. Amsterdam, Publ. A.I.H.S. n° 123, p. 408-420.

ROUX J.C., (1979).- Accroissement des besoins en eau potable des agglomérations urbaines de la basse-Seine. Problèmes posés pour la recherche et la protection à long terme des ressources en eau souterraine de bonne qualité in "Connaître le sous-sol un atout pour l'aménagement urbain" Coll. national. Documents du BRGM, n° 8, t 2, p. 1005-1020.

TALBO H., 1984).- Observations à propos de la teneur en nitrates des eaux souterraines dans le Nord-Finistère. Note BRGM inédite.