

N° 3  
Juillet 1997

## Qualité de l'eau de la nappe phréatique à Yeumbeul, Sénégal

Étude sur le terrain



**Autres titres dans la série *CSI info* :**

- 1 *Integrated framework for the management of beach resources within the smaller caribbean islands*. Workshop results. 1997 (en anglais)
- 2 *UNESCO on coastal regions and small islands*. Titles for management, research and capacity-building (1980-1995). 1997 (en anglais)

**Titres dans la série *CSI Documents sur les régions côtières et les petites îles* :**

- 1 *Managing beach resources in the smaller Caribbean islands*. Workshop Papers. Edited by Gillian Cambers. 1997 (en anglais)

**CSI info N° 3**

**Juillet 1997**

# **Qualité de l'eau de la nappe phréatique à Yeumbeul, Sénégal**

## **Étude sur le terrain**

Activité conjointe du CSI et du projet interdisciplinaire de l'UNESCO  
"Les villes : gestion des transformations sociales et de l'environnement"

**Coordination à l'UCAD (Dakar, Sénégal) par :**

E. S. Diop, Département de géographie

*avec la collaboration de*

A. A. Tandia, Laboratoire d'hydrogéologie



Les appellations employées et la présentation des données qui figurent dans ce document n'impliquent de la part du Secrétariat de l'UNESCO aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les idées et les opinions exprimées ici n'engagent que les personnes dont elles émanent et ne reflètent pas nécessairement celles de l'UNESCO.


Il est permis de reproduire des extraits, à condition d'en indiquer la source et d'envoyer des justificatifs à l'adresse ci-dessous. Ce document sera cité comme suit :

UNESCO, 1997. *Qualité de l'eau de la nappe phréatique à Yeumbeul, Sénégal*. Étude sur le terrain, *CSI info* N° 3, UNESCO, Paris, 27 pp.

La série *CSI info* a été lancée par l'Organisation en 1997. Pour toute information sur les activités du CSI, adressez-vous à :

Unité pour les régions côtières et les petites îles (CSI),  
UNESCO, 1 rue Miollis,  
75732 Paris Cedex 15, France.  
fax : +33-1 45 68 58 08  
*courrier électronique* : [csi@unesco.org](mailto:csi@unesco.org)  
*site web* : <http://www.unesco.org/csi>

Publié en 1997 par l'Organisation des Nations unies  
pour l'éducation, la science et la culture  
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP

Imprimé dans les ateliers de l'UNESCO  
À recycler 

© UNESCO 1997  
*Imprimé en France*

## PREFACE

On the eve of the 21st century, some 60% of the world's population lives within 60km of the sea, and this figure is likely to rise to 75% by the year 2025. Of the world's 23 megacities, 16 are in the coastal belt. Coasts have always served as crossroads for peoples of many origins, and as a result these areas harbour intricate social and cultural mosaics. As for their ecological systems, the latter are among the most diverse, complex and productive on Earth. Notwithstanding this enormous socio-cultural and ecological wealth, many coastal areas have become flashpoints for conflict as a result of an ever increasing demand for limited resources.

Addressing the variety of problems facing coastal regions and small islands requires transdisciplinary research and the careful formulation of policies for integrated action towards improved management of coastal resources. The UNESCO endeavour, 'Environment and Development in Coastal Regions and in Small Islands' (CSI), was launched in 1996 in response to these needs. Its goal is to serve as a platform for cross-sectoral action in order to assist Member States towards environmentally sound, socially equitable and culturally appropriate development in the regions concerned. The *CSI info* series offers an informal vehicle to disseminate pertinent information to managers and others in their search for solutions to coastal region and small island problems.

The present field study report is part of CSI's collaboration with other UNESCO units in support of a project entitled 'Cities: Management of Social Transformation and the Environment'. The 'Cities' project is co-sponsored by the Management of Social Transformations (MOST) and the Man and the Biosphere (MAB) programmes. In Africa, the project operates *inter alia* in the coastal community of Yeumbeul (region of Dakar, Senegal), where UNESCO, in co-operation with the the Dakar-based NGO 'Environmental Development Action in the Third World' (ENDA) and the local inhabitants, has adopted various measures to improve living conditions. Some practical activities include: the creation of a water purification infrastructure, the collection of wastes, urban environmental awareness etc. In this context, a survey on groundwater quality was carried out in 1996 by the University Cheikh Anta of Dakar (UCAD). The long-range goal of the ensemble of activities is to improve the hygiene and quality of the environment in this heavily polluted and over-populated coastal area. The following report presents the results of the survey.

## PRÉFACE

À la veille du 21ème siècle, quelque 60% de la population mondiale vit à moins de 60 km de la mer, et cette proportion passera probablement à 75% avant l'année 2025. Seize des vingt-trois mégapoles du monde sont situées dans la bande côtière. Les côtes ont toujours été des carrefours où se croisent des peuples de diverses origines, d'où les véritables mosaïques sociales et culturelles qu'elles abritent. Quant à leurs systèmes écologiques, ils figurent parmi les plus divers, les plus complexes et les plus productifs de la planète. En dépit de leur considérable richesse socio-culturelle et écologique, un grand nombre de zones côtières sont devenues des foyers de conflits potentiels en raison de la demande toujours plus forte d'accès à des ressources naturellement limitées.

Pour traiter les multiples problèmes auxquels les régions côtières et les petites îles doivent faire face, il faut recourir à la recherche interdisciplinaire et élaborer avec grand soin des politiques d'actions intégrées, seules capables d'améliorer la gestion des ressources côtières. L'initiative de l'UNESCO intitulée "Environnement et développement dans les régions côtières et les petites îles" (CSI) a été lancée en 1996 pour répondre à ces besoins. Son objectif est de servir de plate-forme pour une action intersectorielle visant à aider les États membres à réaliser un développement écologiquement rationnel, socialement équitable et culturellement approprié. La collection *CSI info* (publiée principalement en anglais) constitue un moyen simple et informel de diffuser, auprès des gestionnaires et autres responsables, des informations nécessaires lorsqu'ils recherchent des solutions aux problèmes de la région côtière et des petites îles.

La présente étude sur le terrain fait partie de la collaboration du CSI avec d'autres unités de l'UNESCO, dans le cadre du projet intitulé "Villes : gestion des transformations sociales et de l'environnement". Le projet "Villes" est coparrainé par les programmes Gestion des transformations sociales (MOST) et l'Homme et la biosphère (MAB). En Afrique, il concerne en particulier la communauté côtière de Yeumbeul (région de Dakar, au Sénégal) où l'UNESCO, en collaboration avec l'ONG "Environnement et Développement du Tiers-Monde" (ENDA) à Dakar, s'est associée aux populations locales pour améliorer leurs conditions de vie. Pratiquement, on met en place des stations d'épuration, la collecte des déchets, la sensibilisation à l'environnement urbain, etc. Dans ce contexte, l'Université Cheikh Anta de Dakar (UCAD) a effectué, en 1996, une analyse de la qualité des eaux souterraines. Le but à long terme de cet ensemble d'activités est d'améliorer les conditions d'hygiène et l'environnement de cette zone côtière fortement surpeuplée et polluée.

## TABLE DES MATIÈRES

1.	Introduction	1
2.	Contexte géologique et hydrogéologique de la zone de Yeumbeul	3
3.	Résultats des mesures effectuées sur la nappe phréatique	6
3.1	Études de la qualité chimique des eaux de la nappe : leur potabilité	6
3.2	Étude de la variation du niveau piézométrique : zones favorables à l'implantation de latrines et d'édicules publiques	14
3.3	Étude de la contamination bactériologique de la nappe	17
3.4	Évolution des teneurs en NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> dans la zone non saturée du sol	19
4.	Conclusion	22
5.	Références	23
Annexe I.	Propositions de stratégies sur la protection des eaux de la nappe phréatique contre la pollution par les nitrates et les coliformes fécaux	24
Annexe II.	Personnes rencontrées sur le terrain à Yeumbeul	26
Annexe III.	Équipe impliquée dans le projet "Amélioration de l'hygiène et de l'environnement de Yeumbeul, Sénégal"	27



## 1. INTRODUCTION

Dans les banlieues des villes de beaucoup de pays en voie de développement, dont Yeumbeul au Sénégal, il n'a pas été pris suffisamment de mesures pour contrôler l'urbanisation spontanée dans des zones sous couvert sableux; les populations, face à l'insuffisance ou à l'inexistence de réseaux d'assainissement rejettent directement des déchets dans la nature faisant courir un risque certain sur la qualité des eaux souterraines.

Ainsi, dans la localité côtière de Yeumbeul, située à environ 20 km de la capitale Dakar, la quasi-totalité de la population ne dispose pas de branchements privés au réseau d'eau potable. La minorité s'approvisionne aux quelques rares bornes fontaines de ruelle installées par la municipalité alors que la majorité puise directement dans les puits traditionnels captant la nappe phréatique.

De même, les ménages ne disposent pas de dispositifs d'assainissement satisfaisants. Les déchets ménagers solides et liquides sont rejetés directement sur ou dans le sol. Les lieux d'aisance sont constitués de latrines défectueuses dont les normes de construction n'ont pas été contrôlées pour la plupart.

Le présent programme a pour principaux objectifs :

- d'étudier les mécanismes et l'importance de la contamination de la nappe de Yeumbeul par les nitrates qui entraîneraient plusieurs pathologies chez les animaux (Olson *et al.* 1972 ; Blood et Henderson, 1971 ; Davison *et al.* 1964 ; Davison *et al.*, 1965 ; Bennet *et al.*, 1968) avec notamment la méthémoglobinémie chez les bébés et le cancer chez les adultes (Lijinski et Epstein, 1970 ; OMS, 1972).
- de proposer des solutions pour améliorer la qualité des eaux

Pour démarrer les travaux de terrain le 26 juillet 1996, le projet a bénéficié de l'aide des responsables de ENDA-ECOPOP ('Environnement et Développement du Tiers-Monde - Economie Populaire') qui nous ont mis en contact avec les délégués de quartiers de Yeumbeul. Les consignes données par ceux-ci ont été nécessaires pour accéder aux puits traditionnels des concessions afin d'y effectuer les mesures voulues.

La ***première phase de l'exécution*** s'est effectuée pendant le mois de juillet, qui correspond à la fin de la saison sèche. Nous avons entrepris les opérations suivantes :

- reconnaissance du terrain ;
- identification et choix des puits d'échantillonnage ;
- mesure des paramètres physico-chimiques de la nappe ;
- échantillonnage d'eau et analyse chimique ;
- mesure des niveaux de la nappe ;
- mesure des distances entre les puits et les latrines familiales.

La ***deuxième phase de l'exécution*** a eu lieu pendant le mois de novembre, correspondant à la fin de saison humide. Les actions ont concerné :

- la mesure des paramètres physico-chimiques de la nappe ;
- l'échantillonnage de la nappe ;
- les analyses chimiques et bactériologiques ;
- la mesure des niveaux de la nappe ;

- le prélèvement de sol ;
- la détermination de l'humidité pondérale du sol ;
- la lixiviation des sédiments ;
- les analyses chimiques de l'eau interstitielle.

Les diverses mesures effectuées sur la nappe phréatique de Yeumbeul ont concerné 47 puits situés dans des concessions ou dans les ruelles. Dans certains endroits, la rareté des puits a fortement limité le nombre d'échantillons prélevés. Les différentes phases de l'étude sont les suivantes:

- 1) **Recherches bibliographiques et mission sur le terrain** pour choisir les puits qui feront l'objet de prélèvements d'eau et d'analyses chimiques et physico-chimiques (début juillet 1996, correspondant au début de la saison des pluies de l'année 1996).
- 2) **Prélèvements d'échantillons** dans la zone non saturée du sol à l'aide d'une tarière manuelle suivant des profils verticaux entre la surface du sol et la nappe. Ceux-ci feront l'objet de lixiviation et l'eau extraite sur chaque échantillon sera analysée (chimie et bactériologie).
- 3) **Deuxième mission de chimie** sur certains puits afin d'étudier l'influence des précipitations sur l'évolution des paramètres physico-chimiques et des éléments chimiques de la nappe. A l'issue des premiers résultats, des analyses bactériologiques seront effectuées sur certains puits (novembre-décembre 1996, correspondant à la fin de la saison des pluies).
- 4) **Cartographie des nitrates** pour orienter les recommandations qui devraient déboucher sur les actions opérationnelles : la localisation de sites d'implantation de puits et de fosses septiques où les risques de contamination de la nappe seront minimisés, les mesures d'accompagnement à prendre pendant la construction de puits (dalles, couvercles, choix puisettes, distance puits/source de contamination), etc..

Vu l'ampleur des travaux et la révision des moyens sollicités, les phases concernant l'enquête sur un échantillon de 100 habitants pour étudier les méthodes de gestion des ordures ménagères et la démultiplication des prélèvements de sédiments à la tarière ont été reporté pour la suite du programme.

Ce rapport présente les premiers résultats de l'étude sur la pollution de la nappe phréatique de Yeumbeul (Sénégal) par les nitrates, effectuée par une équipe de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar dans le cadre du plan d'action de l'UNESCO pour *l'environnement et le développement des régions côtières et des petites îles*. Le sujet contribue aussi au projet de l'UNESCO intitulé "*Les villes: gestion des transformations sociales et de l'environnement*".

## 2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DE LA ZONE DE YEUMBEUL

Les travaux de A. Martin, publiés en 1970, ont permis d'établir une bonne synthèse hydrogéologique du secteur de Yeumbeul (**Fig. 1 et Fig. 2**).

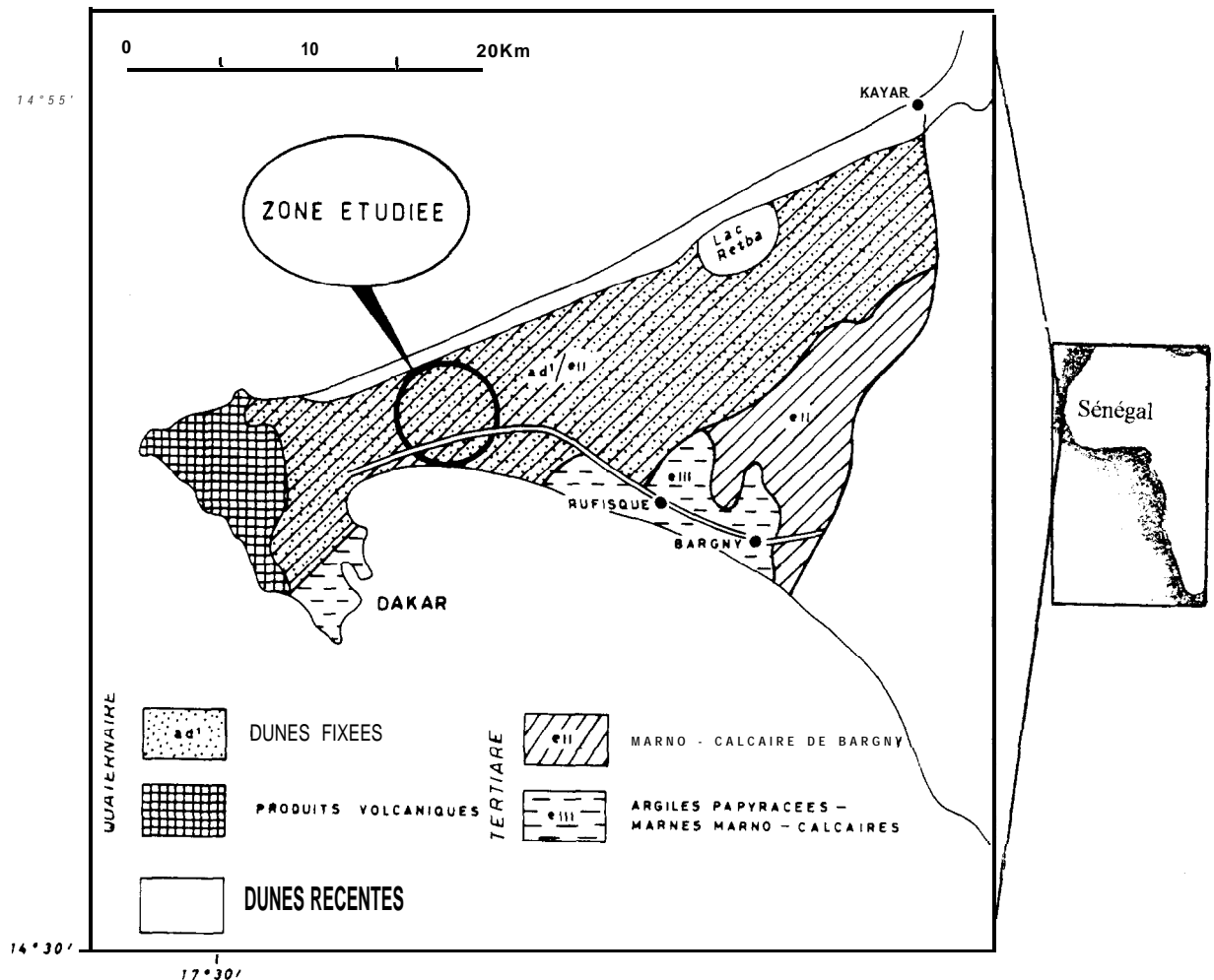
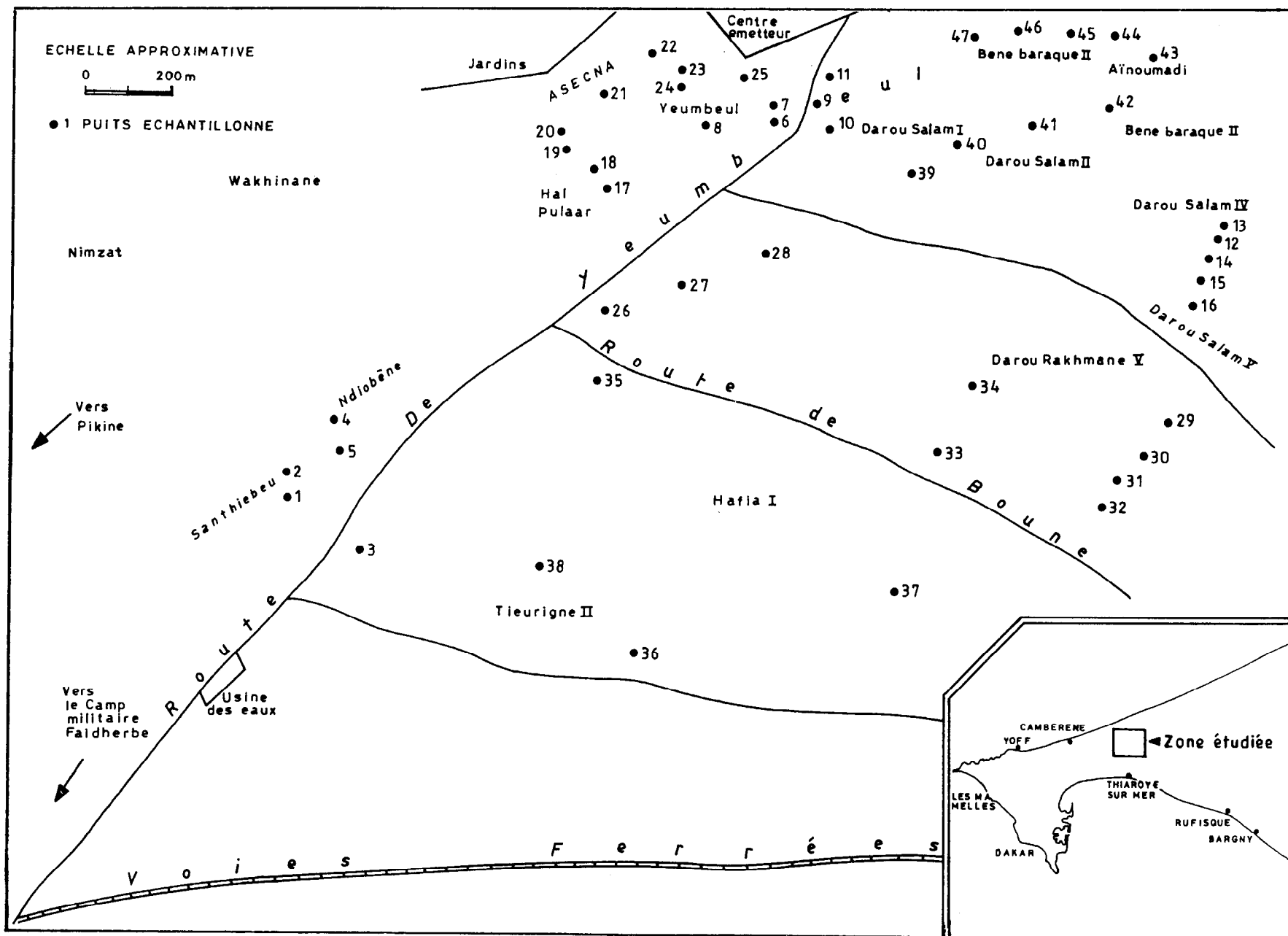


Figure 1. Localisation et géologie de la zone d'étude  
(Martin, 1970)

La nappe de Yeumbeul, qui est libre, présente une puissance qui varie entre 30 et 80 m. L'aquifère est exclusivement constitué de dépôts sableux quaternaires (**Fig. 3**). Les caractéristiques hydrodynamiques présentent les valeurs suivantes:

- coefficient d'emmagasinement = 1 à 14%
- transmissivité = 1,6 à  $6,7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Le matériau sableux présente des propriétés aquifères qui ont permis l'implantation de puits traditionnels dans les concessions de Yeumbeul et de forages d'exploitation dans ses environs (zone de Thiaroye).



4

Figure 2. Localisation des puits échantillonnés

Carte élaborée à partir du plan dressé en juillet 1993 par le bureau d'étude A.S.UR.TOP.

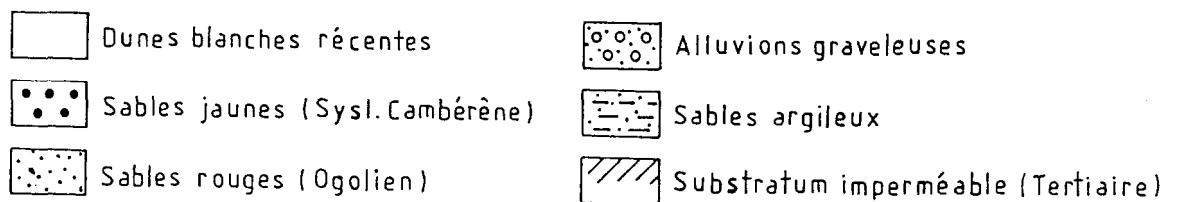
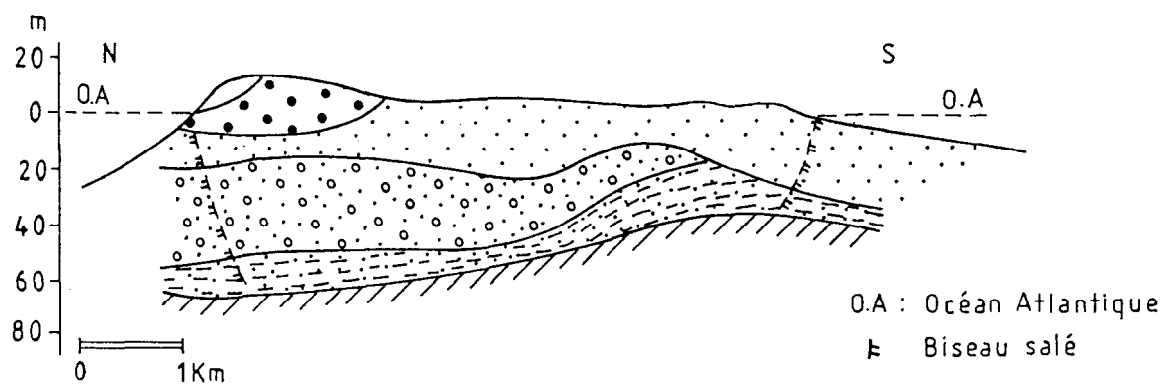
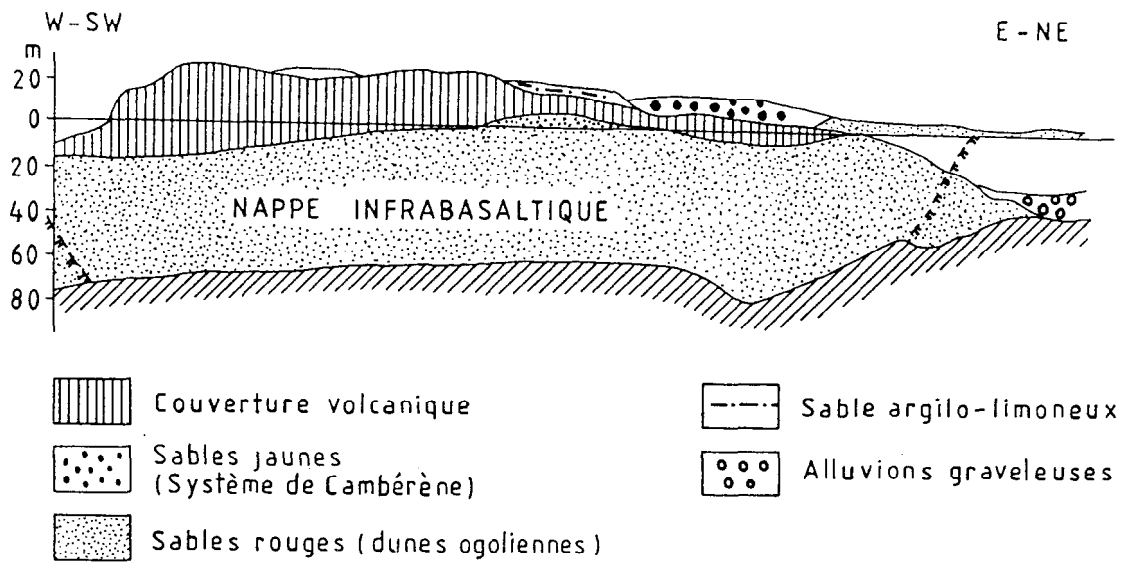


Figure 3. Structure de l'aquifère des sables quaternaires  
 (Martin, 1970)

### 3. RESULTATS DES MESURES EFFECTUEES SUR LA NAPPE PHREATIQUE

#### 3.1. Etude de la qualité chimique des eaux de la nappe : leur potabilité

Il faut rappeler que l'action de la qualité de l'eau sur la santé est déjà relativement bien connue. La composition de l'eau de boisson doit répondre à certaines normes de caractères physiques, organoleptiques, chimiques et bactériologiques. Notre étude concerne les deux derniers critères.

Les paramètres physico-chimiques de la nappe sont présentés dans le **Tableau 1**. Les valeurs de conductivité électrique des eaux de la nappe indiquent que celles-ci sont moyennement à fortement minéralisées avec des valeurs de conductivité électrique comprises entre 600 et 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Entre l'étiage, où la nappe atteint son niveau annuel le plus bas, et la période de crue, où la nappe atteint son maximum annuel de remplissage, on observe une augmentation des conductivités électriques de l'ordre de 100 à 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cette augmentation est très probablement liée à un apport de sels par lessivage du sol au cours de l'infiltration des eaux de pluie et par remobilisation de sels accumulés dans les sédiments, suite à l'élévation du niveau de la nappe qui a atteint jusqu'à 5 mètres dans certains endroits (cas du puits 40).

Lorsque les valeurs de la conductivité électrique dépassent 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , les eaux présentent des effets laxatifs chez les consommateurs (OMS, 1986). Les zones concernées par les conductivités élevées sont les suivantes : Santieubeu, Ndiobène, Madina Yeumbeul, Darou Rahmane I, Tieurigne, Darou Salam I (**Fig. 4**).

Le pH indique que les eaux sont légèrement acides, avec des valeurs comprises entre 4 et 7,5. Les valeurs moyennes de pH mesurées sont compatibles avec le milieu silicaté qui constitue l'aquifère.

Les températures mesurées sont comprises entre 28°C et 31°C avec une moyenne de 30°C. Elles correspondent aux températures atmosphériques ambiantes et indiquent l'ouverture du système aquifère, donc sa vulnérabilité vis-à-vis de la pollution.

Sur le plan hydrochimique, les eaux de la nappe phréatique sont moyennement minéralisées et présentent généralement un faciès chloruré sodique avec une forte tendance vers le pôle nitraté (**Fig. 5**). Tous les points d'eau sont affectés par une forte pollution en nitrates.

Par rapport aux précipitations dont elles sont issues, les eaux de la nappe montrent un enrichissement en ions majeurs dû très probablement au contact avec les sables sur lesquels se déposent les sels issus des embruns marins (**Tab. 2**). Les faciès chimiques sont donc acquis précocement lors de la percolation dans la zone non saturée du sol.

Lorsqu'on compare les concentrations des ions mesurées en fin de saison sèche et en fin de saison humide, on observe que, globalement, il n'y a pas de modification de la qualité des eaux, notamment pour les  $\text{NO}_3^-$ .

**Tableau 1. Paramètres physico-chimiques de la nappe de Thiaroye**  
 Sur certains points on peut comparer les mesures en périodes d'étiage (juillet) et de crue (novembre)

Sous-quartier	Points d'eau	Conductivité ( $\mu\text{S/cm}$ )		pH		T°C	
		juil.	nov.	juil.	nov.	juil.	nov.
Santieubeu	P1	2730	2830	4,3	4,2	29,7	28,7
	P2	2330	2650	5,0	5,4	30,2	28,5
Madina Yembeul	P3	2810	2640	4,6	5,2	31,4	29,1
Ndiobène	P4	2120	2240	5,6	5,7	31,6	30,2
	P5	2720	2390	7,5	7,2	29,7	27,0
Yeumbeul 52	P6	1490	1730	5,6	5,2	30,3	28,3
	P7	2050	-	5,7	-	29,7	-
	P8	1760	-	4,4	-	29,9	-
Darou Salam I	P9	1480	-	4,4	-	29,7	-
	P10	1520	-	5,9	-	29,6	-
	P11	1540	-	4,2	-	29,3	-
Darou Salam IV	P12	1280	1260	5,7	6,0	28,9	28,0
	P13	1220	1220	6,4	6,6	28,8	27,2
Darou Salam V	P14	640	880	6,2	6,6	28,4	27,5
	P15	1140	1220	5,4	6,1	28,9	28,8
	P16	1370	1440	6,6	6,2	28,7	29,5
	P17	1780	1590	6,0	5,9	33,5	27,9
	P18	2260	2490	5,3	5,8	32,8	26,0
Darou Rahmane I	P19	3190	3300	6,0	6,0	28,9	-
	P20	2820	-	7,1	-	27,9	-
	P21	2390	2580	5,7	6,0	32,2	27,9
Asecna	P22	1040	-	4,4	-	31,3	-
	P23	3080	-	4,5	-	30,8	-
	P24	920	1200	4,4	4,3	30,9	28,8
	P25	1070	1230	5,3	6,0	29,7	28,6
Darou Rahmane II	P26	1590	-	4,7	-	31,4	-
	P27	1780	-	6,2	-	31,9	-
	P28	1420	-	6,0	-	33,4	-
Darou Rahmane V	P29	1520	1770	5,8	6,2	31,8	27,1
	P30	1570	1610	5,4	6,0	30,5	28,5
	P31	770	-	4,6	-	31,3	-
	P32	2150	-	4,1	-	30,3	-
	P33	2120	2020	6,0	6,2	32,5	26,6
	P34	1700	1950	5,5	5,9	30,7	28,1
Hafia I	P35	1900	-	5,6	-	31,1	-
	P36	1080	-	5,8	-	33,1	-
	P37	1330	1430	5,4	5,6	31,6	28,4
Tieurigne II	P38	2530	-	5,5	-	31,2	-
Darou Salam I	P39	2140	-	5,1	-	30,6	-
Darou Salam II	P40	1020	1800	4,7	6,3	30,6	28,4
	P41	1670	1510	6,0	6,3	30,0	28,9
Bene Baraque I	P42	1300	-	6,0	-	31,0	-
Ainoumadi	P43	1810	-	6,3	-	30,4	-
	P44	680	-	5,2	-	30,1	-
Bene Baraque II	P45	1000	-	4,3	-	29,7	-
	P46	870	940	5,2	5,4	31,0	29,0
	P47	1620	1800	5,5	5,7	31,6	29,0

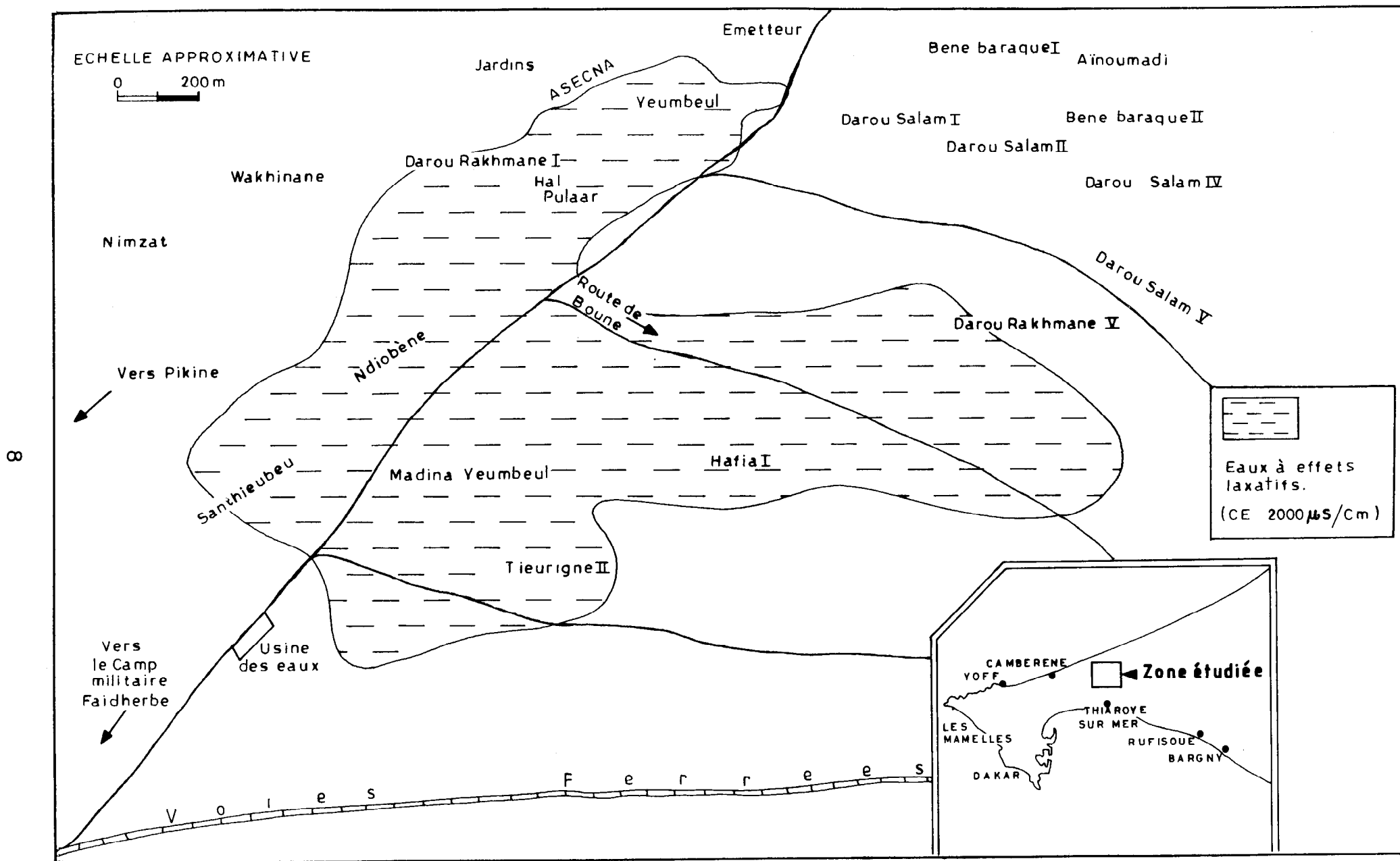


Figure 4. Carte du risque laxatif des eaux  
(lié aux fortes conductivités > 2000 µS/cm)

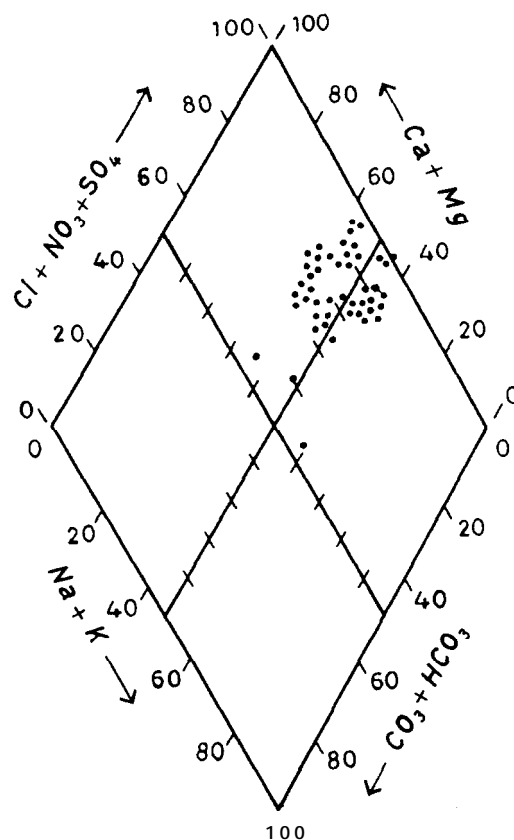


Figure 5. Diagramme de Piper des eaux de la nappe phréatique

Tableau 2. Teneurs en ions des eaux de pluie (Travi *et al*, 1987) et de la nappe phréatique de Yeumbeul

Teneurs moyennes des ions		dans les eaux de pluie	dans la nappe phréatique
Sodium	Na	3,36 (station Dakar)	104,0
Potassium	K	0,57 (station Dakar)	31,2
Calcium	Ca	1,70 (station Dakar)	71,5
Magnésium	Mg	0,39 (station Dakar)	28,5
Bicarbonates	HCO <sub>3</sub>	2,21 (station St-Louis)	136,7
Chlorures	Cl	2,26 (station St-Louis)	153,2
Sulfates	SO <sub>4</sub>	2,42 (station Dakar)	72,5
Nitrates	NO <sub>3</sub>	0,07 (station Dakar)	190,4

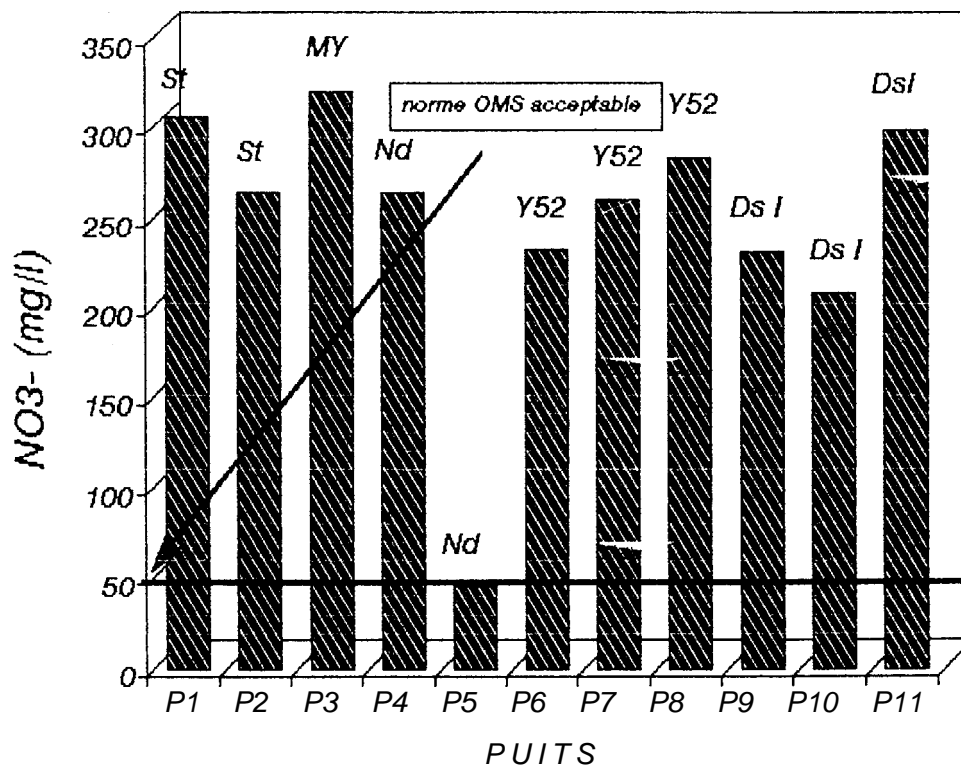
Concernant les critères de potabilité chimique, le **Tableau 3** donne la comparaison des teneurs des différents éléments de la nappe avec les normes internationales et françaises définies. Ce sont les teneurs excessives en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (supérieures à 50 mg/l)\* qui remettent en cause la bonne qualité chimique qu'on pourrait conférer à la nappe (**Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8 et Fig. 9**). En effet, elles constituent un risque pour la santé de ceux qui consomment directement l'eau de la nappe. La corrélation entre la profondeur de la nappe et les teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> indique qu'il n'y a pas de relation globale précise (**Fig. 10**). Cependant, dans les secteurs où la nappe est subaffleurante (Darou Rahmane I), les teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pourraient être influencées par la reprise évaporatoire qui provoque une concentration de sels.

\* Norme OMS acceptable

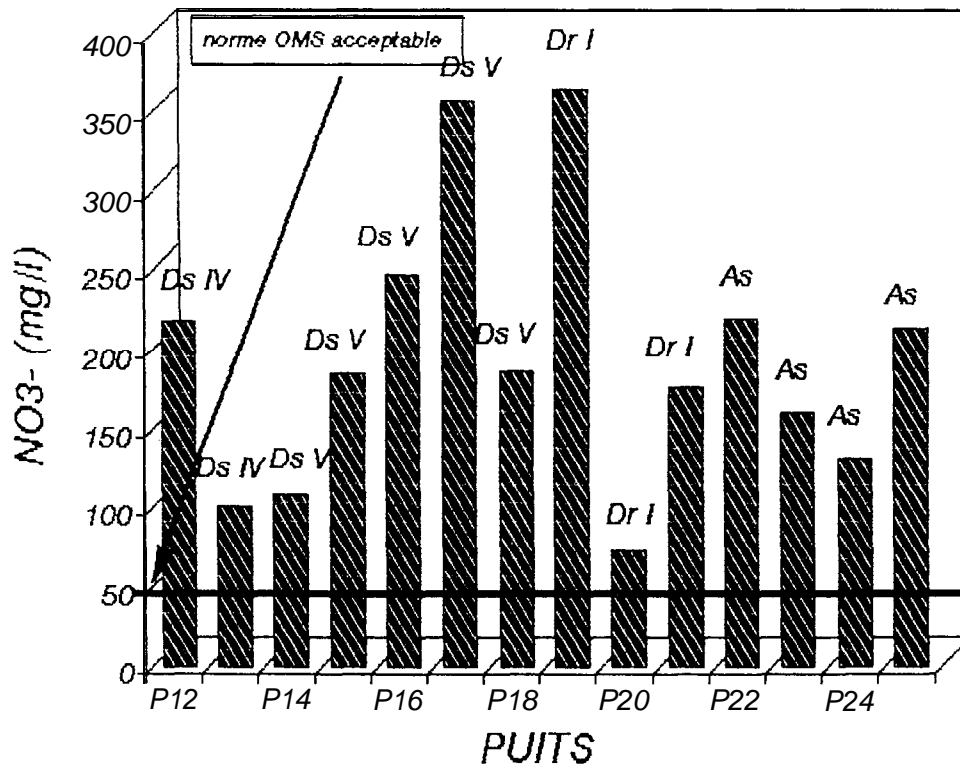
**Tableau 3. Normes de potabilité chimique (internationales et françaises) et concentrations dans la nappe**

Paramètres (mg/l)	Normes internationales		Normes françaises		Teneurs dans la nappe de Yeumbeul		
	Admis	Accepté	Admis	Accepté	Moyenne	Minimum	Maximum
T°C	25	15	12	25	30	28	31
pH	9,5	6,5	9,5	6	5	4	7
Cond.µS/cm			2000	400	1700	600	3000
Ca <sup>++</sup>			100		71	11	199
Mg <sup>++</sup>			50	30	29	13	81
Na <sup>+</sup>			100	<20	104	30	162
K <sup>+</sup>			12	<10	31	6	136
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	400	200	250	5	72	13	326
Cl <sup>-</sup>	250		600	250	147	45	258
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	45		100	50	189	43	359
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1	0	0,1				

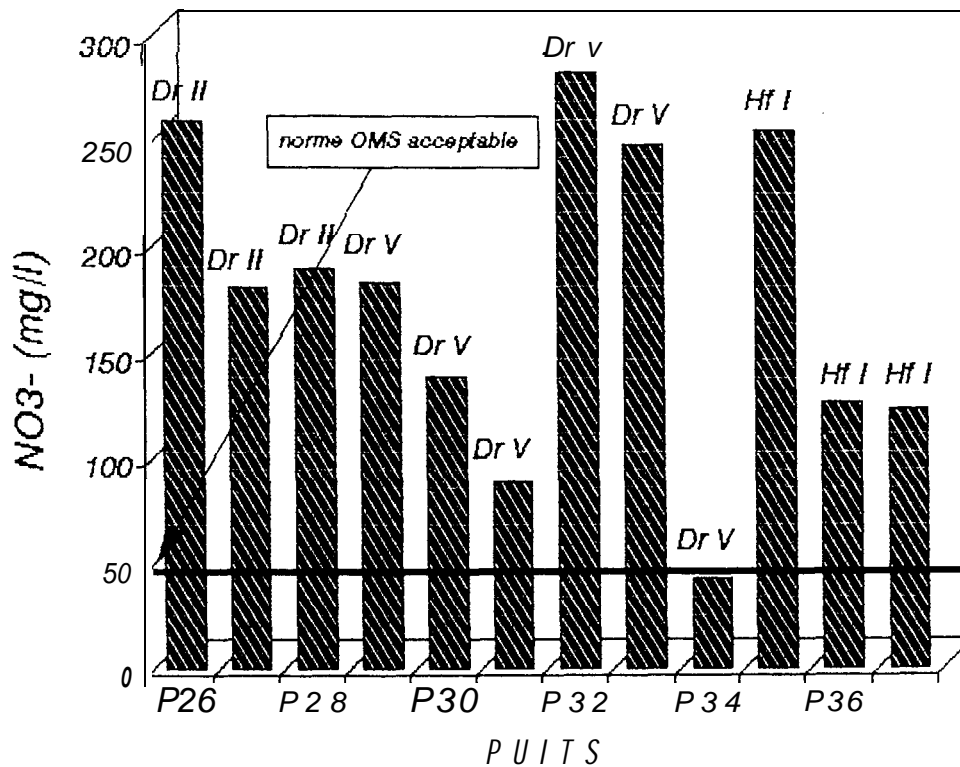
La répartition spatiale des teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> montre que la quasi-totalité de la nappe est touchée par la pollution azotée (**Fig. 11**). Face à cette situation, les producteurs distributeurs et les pouvoirs publics disposent de 3 solutions : (1) mélanger avant distribution les eaux chargées en nitrates avec des eaux à basses teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ; (2) dénitrifier les eaux par un traitement approprié ; (3) mener une politique efficace de prévention à l'égard des sources de pollutions azotées. Actuellement, c'est la première solution qui est appliquée par la société de distribution d'eau potable du pays. En conséquence, ce sont les résidents n'ayant pas les moyens de se brancher sur le réseau de distribution d'eau potable qui sont réellement concernés par les conséquences que peut entraîner la consommation directe des eaux très chargées en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.



**Figure 6. Nitrates dans la nappe phréatique de Yeumbeul**  
 St : Santieubeu, MY : Médina Yeumbeul, Nd : Ndiobène, Y52 : Yeumbeul 52, Ds I : Darou Salam I



**Figure 7. Nitrates dans la nappe phréatique de Yeumbeul**  
 Ds IV : Darou Salam IV, Ds V : Darou Salam V, Dr I : Darou Rahmane I, As : Asecna



**Figure 8. Nitrates dans la nappe phréatique de Yeumbeul**  
 Dr II : Darou Rahmane II, Dr V : Darou Rahmane V, Hf I : Hafia I

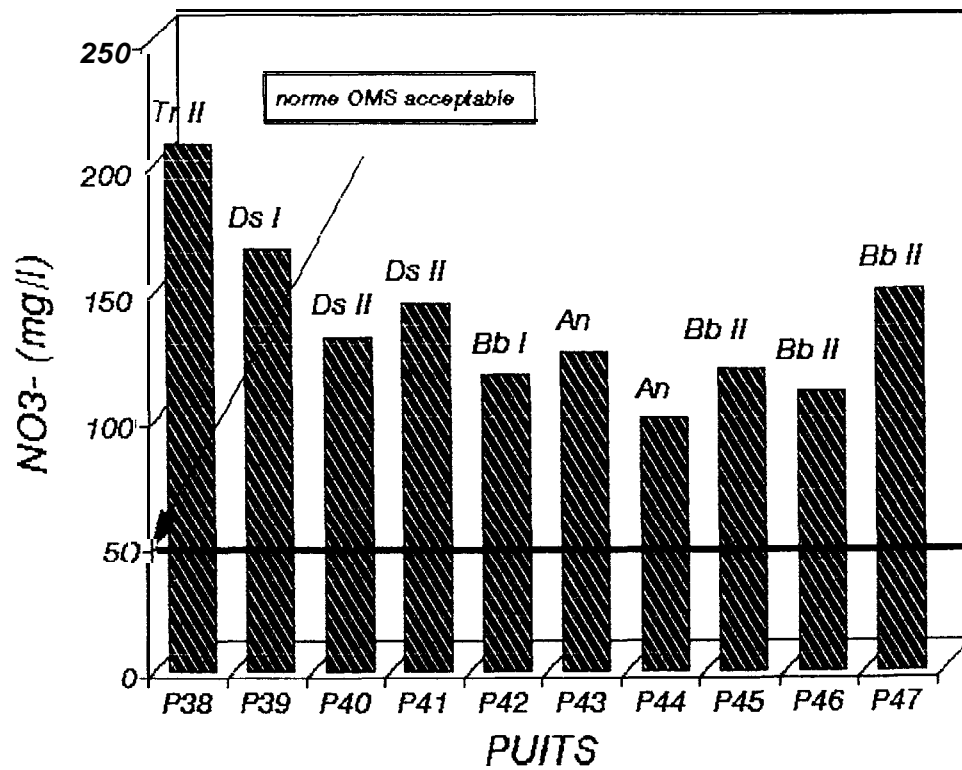


Figure 9. Nitrates dans la nappe phréatique de Yeumbeul  
 Tr II : Tieurigne II, Ds I : Darou Salam I, Ds II : Darou Salam II,  
 Bb I : Bene Baraque I An : Aïnoumadi, Bb II : Bene Baraque II

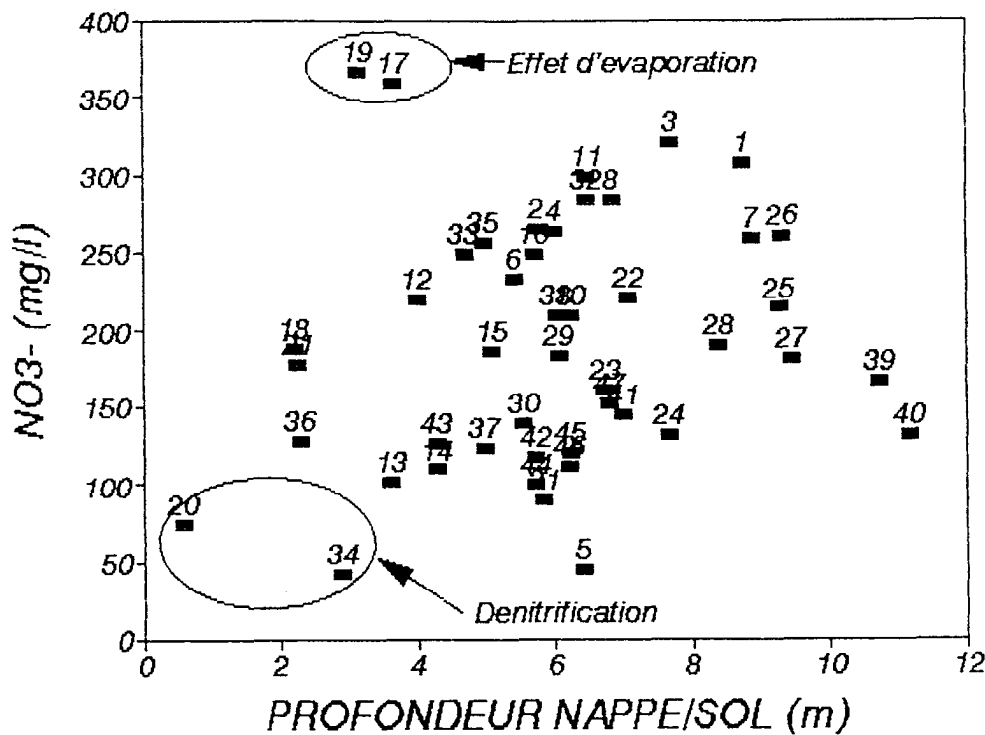


Figure 10. Evolution des teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en fonction de la profondeur de la nappe

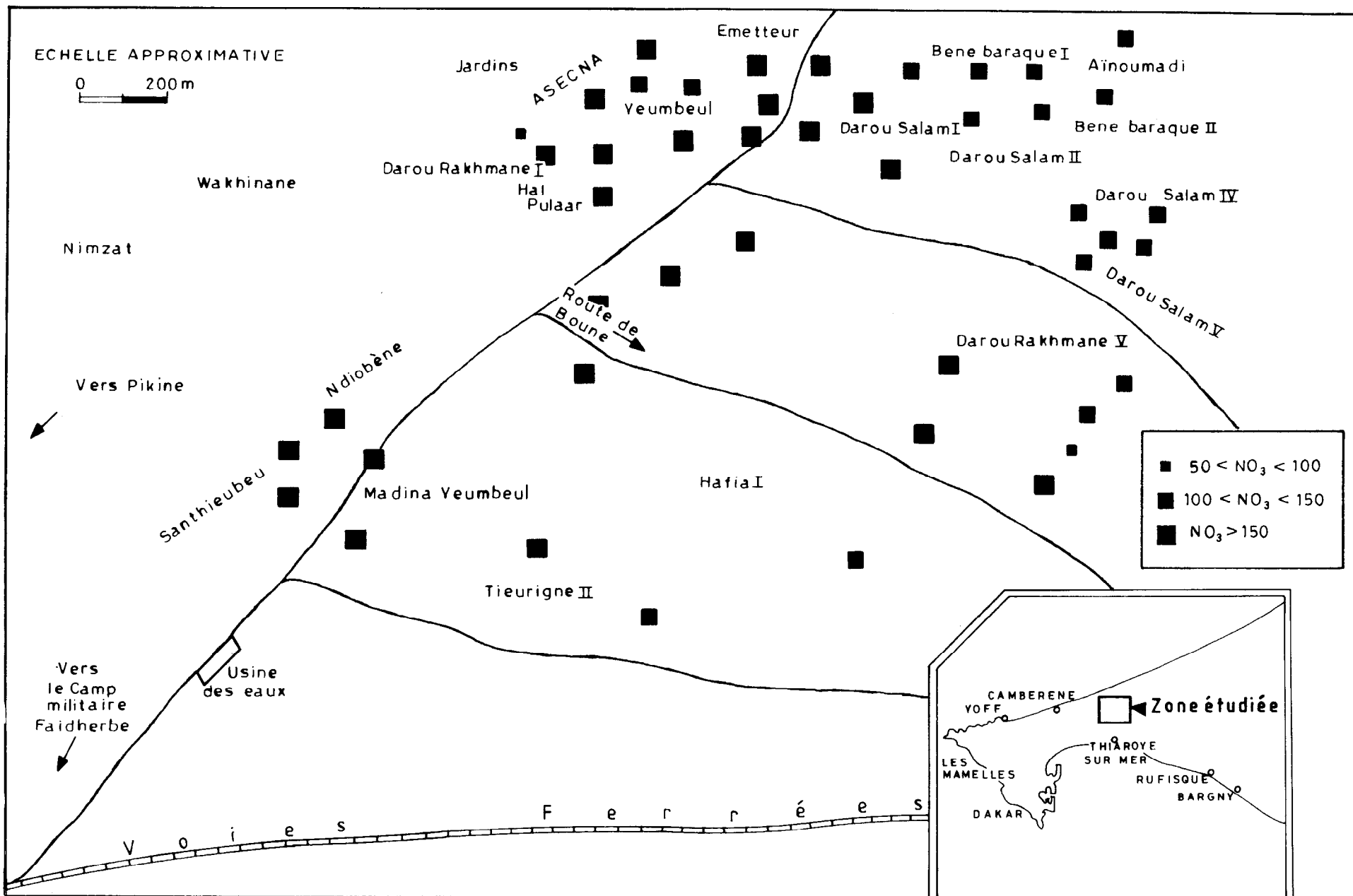


Figure 11. Carte de répartition des teneurs en  $\text{NO}_3$  - (mg/l) dans la nappe phréatique de Yeumbeul

### 3.2. Etude de la variation du niveau piézométrique : zones favorables à l'implantation de latrines et d'édicules publiques

Les mesures de la profondeur de la nappe ont été effectuées par une sonde piézométrique sonore à différentes périodes : à la fin de la saison sèche (juillet) où la nappe atteint son niveau le plus bas et à la fin de la saison humide (novembre) où la nappe présente l'élévation piézométrique la plus importante (**Fig. 12**).

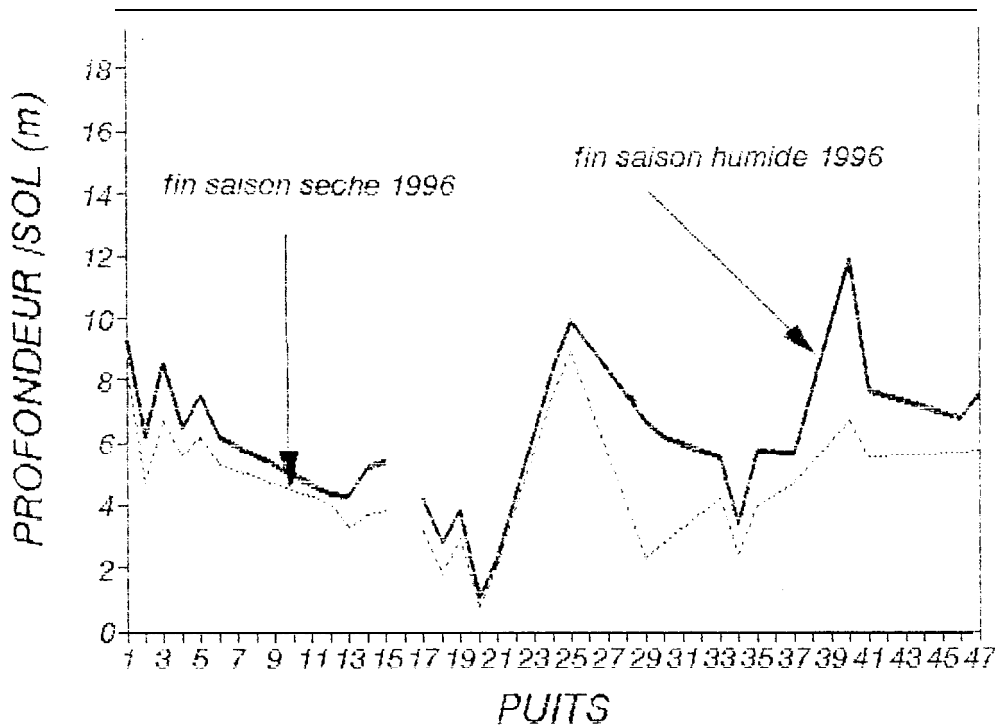


Figure 12. Profondeur de la nappe phréatique en périodes d'étiage et de crue

Le niveau de la nappe par rapport au sol montre que celui-ci est variable : il va de l'affleurement (Puits 20 à Darou Rahmane I) à la cote 11,16 m (Puits 40 à Darou Salam II). La comparaison entre les mesures piézométriques effectuées en fin de saison sèche et celles réalisées en fin de saison des pluies (**Tab. 4**) permet de déterminer des battements du niveau de la nappe de l'ordre de 1 à 4 m.

Ainsi, avec une certaine marge de sécurité, on peut définir différentes zones plus ou moins favorables pour la construction de fosses septiques (**Fig. 14**) :

- 1) **zones très favorables** correspondant à des endroits où la profondeur maximale de la nappe en période de crue (après recharge optimum par les précipitations) est supérieure ou égale à 5 m : ce sont les zones de Santieubeu, Madina Yeumbeul, Ndiobène, Yeumbeul 52, Asecna et Bene Baraque II
- 2) **zones favorables** où la profondeur de la nappe est supérieure à 2,5 m et inférieure à 5 m. Ce sont les secteurs de Darou Salam IV, Darou Salam V, Darou Rahmane V et Hafia UI. La profondeur généralement considérée pour la construction de latrines est de 2 m (**Fig. 13**).

3) *zones non favorables* où la profondeur de la nappe est inférieure à 2,5 m. C'est le cas pour Darou Rahmane I

Tableau 4. Variations de la profondeur de la nappe phréatique entre les périodes d'étiage et de crue

Puits et sous-quartier	Profondeur (m) étiage/sol	Profondeur (m) crue/sol	Variations
1 Santieubeu	9,3	8,4	0,9
2 Santieubeu	6,2	4,7	1,5
3 Madina Yeumbeul	8,5	6,7	1,8
4 Ndiobène	6,5	5,6	0,9
5 Ndiobène	7,5	6,2	1,3
6 Yeumbeul 52	6,2	5,3	0,9
12 Darou Salam IV	4,4	4,1	0,3
13 Darou Salam IV	4,3	3,3	1,0
14 Darou Salam V	5,2	3,7	1,5
15 Darou Salam V	5,4	3,9	1,5
16 Darou Salam V	6,1	-	-
17 Darou Salam V	4,2	3,2	1,0
18 Darou Salam V	2,8	1,8	1,0
19 Darou Rahmane I	3,9	3,0	0,9
20 Darou Rahmane I	1,1	0,8	0,3
21 Darou Rahmane I	2,3	2,1	0,2
24 Asecna	8,4	7,6	0,8
25 Asecna	9,9	8,9	1,0
29 Darou Rahmane V	6,7	2,3	4,4
30 Darou Rahmane V	6,2	2,8	3,4
33 Darou Rahmane V	5,5	4,2	1,3
34 Darou Rahmane V	3,4	2,5	0,9
35 Hafia I	5,8	4,0	1,8
37 Hafia I	5,7	4,7	1,0
40 Darou Salam II	11,9	6,7	5,2
41 Darou Salam II	7,7	5,5	2,2
46 Bene Baraquc II	6,8	5,7	1,1
47 Bene Baraque II	7,6	5,8	1,8

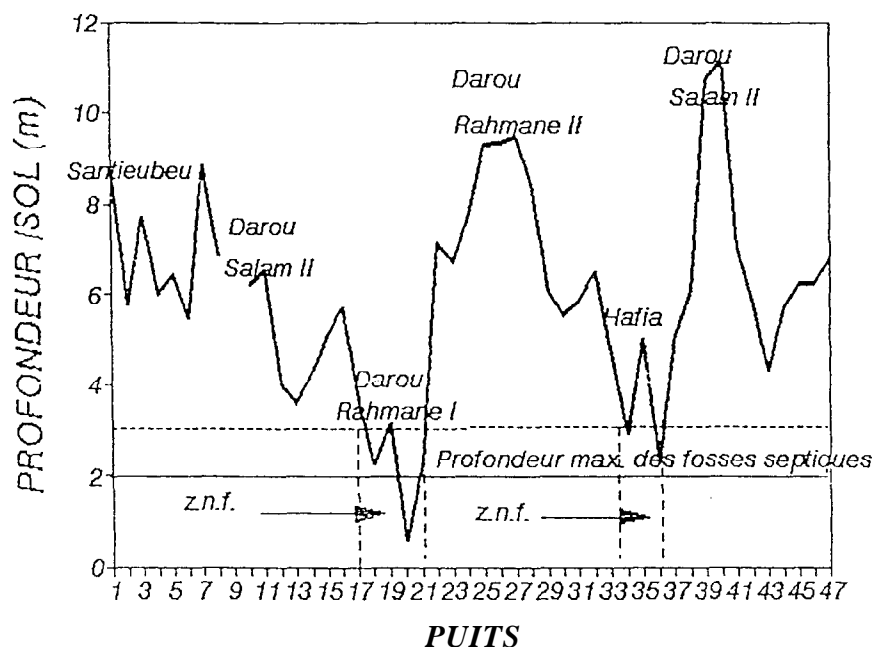


Figure 13. Variation de la profondeur de la nappe de Yeumbeul (juillet 1996)

z.n.f.. zone non favorable à la construction de fosses septiques à cause de l'élévation du niveau de la nappe qui risquerait de les noyer et de provoquer une contamination directe de la nappe.

16

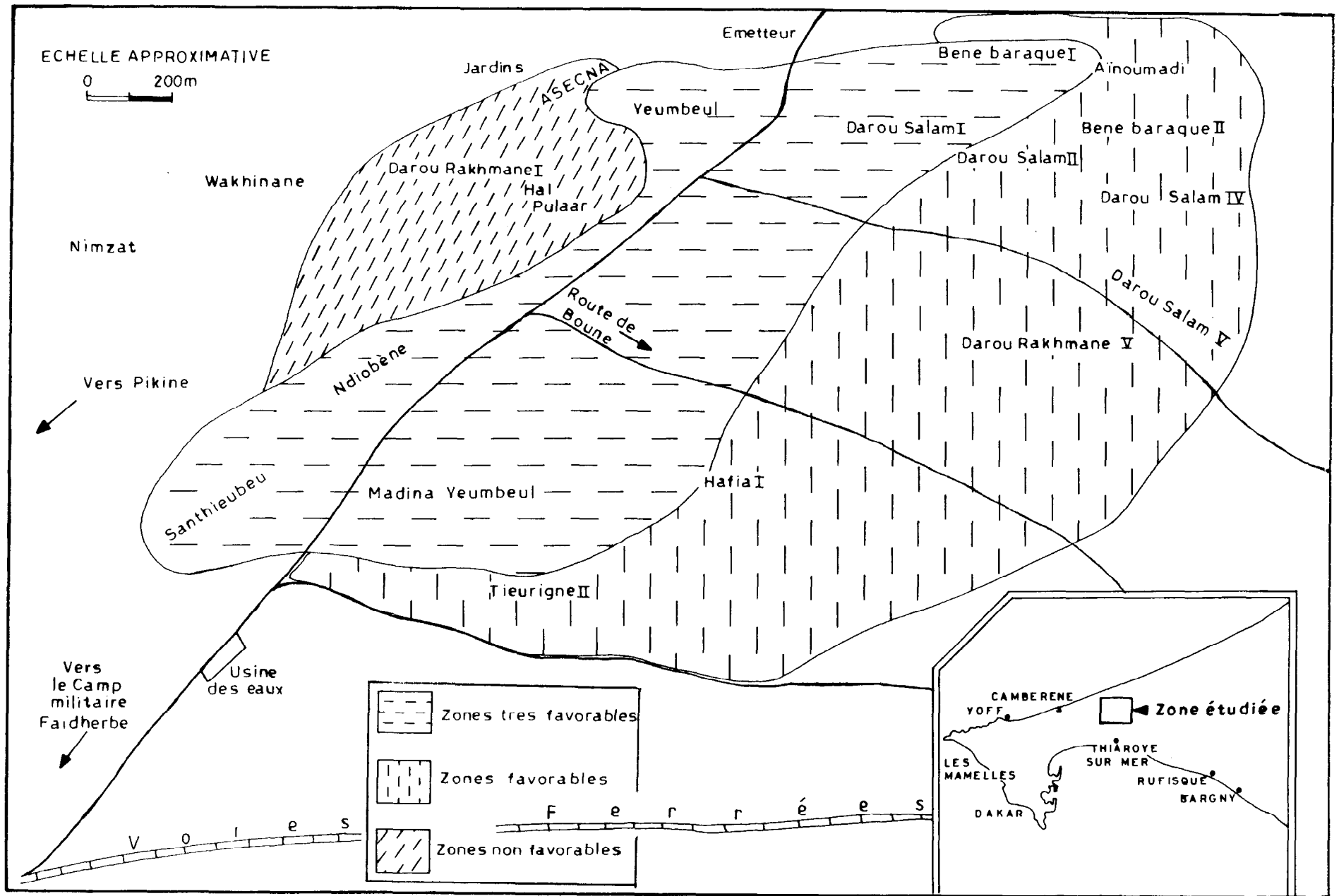


Figure 14. Carte des zones favorables à l'implantation de latrines ou d'édicules publiques

### 3.3 Etude de la contamination bactériologique de la nappe

Dans une nappe utilisée directement par les populations, l'existence de bactéries pathogènes n'est pas tolérée, car elles présentent des risques pour la santé. Lorsque les bactéries pathogènes pour l'homme sont présentes dans l'eau, leur nombre est souvent restreint et leur mise en évidence difficile. Ainsi, la contamination des eaux est mise en évidence par la présence de coliformes vivant dans les intestins de l'homme.

C'est au cours de la deuxième phase d'échantillonnage, qui a été réalisée à la fin de la saison humide (novembre 1996), que nous avons effectué des prélèvements de la nappe en vue d'analyser les coliformes fécaux. Vingt-cinq (25) puits répartis au mieux dans la zone de Yeumbeul ont été concernés. Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons stériles et transportés dans des boîtes isothermes sous une température d'environ 4°C. Les analyses (Tab. 5) ont été effectuées au laboratoire d'analyse des eaux de l'Ecole Supérieure Polytechnique (ESP) de Dakar.

Tableau 5. Mesures des coliformes fécaux dans la nappe phréatique

Puits	Coliformes fécaux/ml	Sous-quartier
1	0	1 Santieubeu
2	0	2 Santieubeu
3	0	3 Madina Yeumbeul
4	72	4 Ndiobène
5	398	5 Ndiobène
6	1	6 Yeumbeul 52
12	18	12 Darou Salam IV
13	63	13 Darou Salam IV
14	2	14 Darou Salam V
15	0	15 Darou Salam V
16	0	16 Darou Salam V
17	33	17 Darou Salam V
18	0	18 Darou Salam V
19	7	19 Darou Rahmane I
20	501	20 Darou Rahmane I
21	4	21 Darou Rahmane I
24	0	24 Asecna
25	2	25 Asecna
29	117	29 Darou Rahmane V
33	57	33 Darou Rahmane V
34	5	34 Darou Rahmane V
34 bis	46	34 bis Darou Rahmane V
37	2	37 Darou Rahmane V
41	0	41 Bene Baraque II
47	0	47 Bene Baraque II

Les résultats montrent que certains puits contiennent de l'eau bactériologiquement

La relation entre les coliformes fécaux et les teneurs en  $\text{NO}_3^-$ , qui ne montre pas une tendance significative, indique cependant que la pollution chimique prédomine sur la pollution bactériologique (**Fig. 17**).

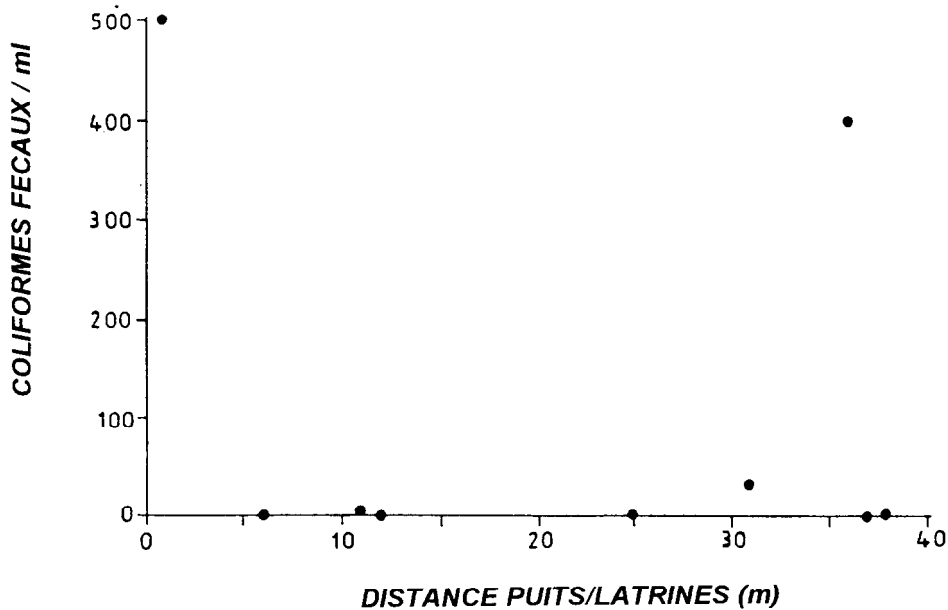


Figure 15. Corrélation entre les coliformes fécaux et les distances puits-latrines

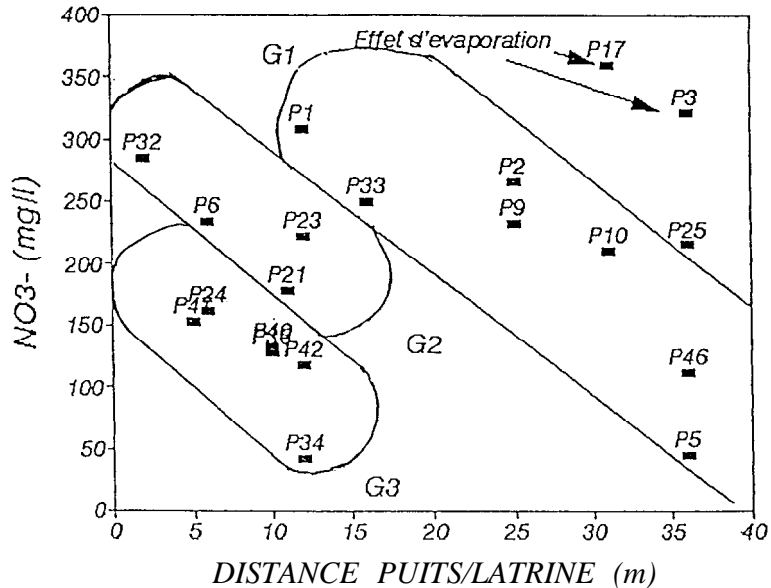


Figure 16. Corrélation entre les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  des puits et les distances puits-latrines

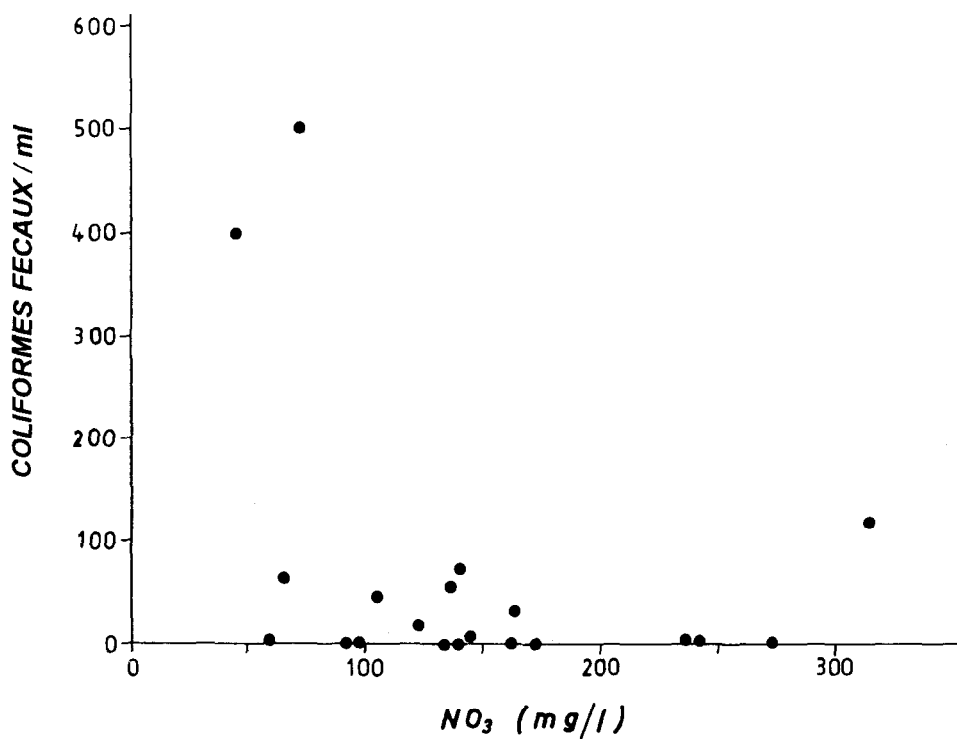


Figure 17. Corrélation entre les coliformes et les teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> des puits

#### 3.4. Evolution des teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans la zone non saturée du sol

Lorsque l'azote existe dans le sol, il est essentiellement intégré à des molécules organiques (Schenck, 1991) avec environ 95% d'azote organique pour 5% d'azote minérale. Au cours de son cycle biogéochimique, l'azote subit une série de transformations au cours desquelles apparaissent les nitrates pendant la phase de nitrification selon la réaction suivante :



Sur le profil vertical réalisé à Darou Rahmane V (Fig. 18) l'évolution des teneurs en nitrates de l'eau du sol, depuis la surface jusqu'à la nappe, montre d'importantes variations (Tab. 6). Les concentrations moyennes dans le sol sont de l'ordre de 2300mg/l, valeurs qui sont largement supérieures à celles généralement mesurées dans les ouvrages les plus touchés par les nitrates. Cette observation suggère que les rejets de déchets organiques dans le sol participent à la contamination de la nappe. Dans ce cas, les sédiments, avec une humidité pondérale moyenne de 3% de sol, jouent un rôle de réservoir à NO<sub>3</sub><sup>-</sup> qui entretient la contamination des nappes pour encore une longue période même si les rejets des déchets organiques sont stoppés.

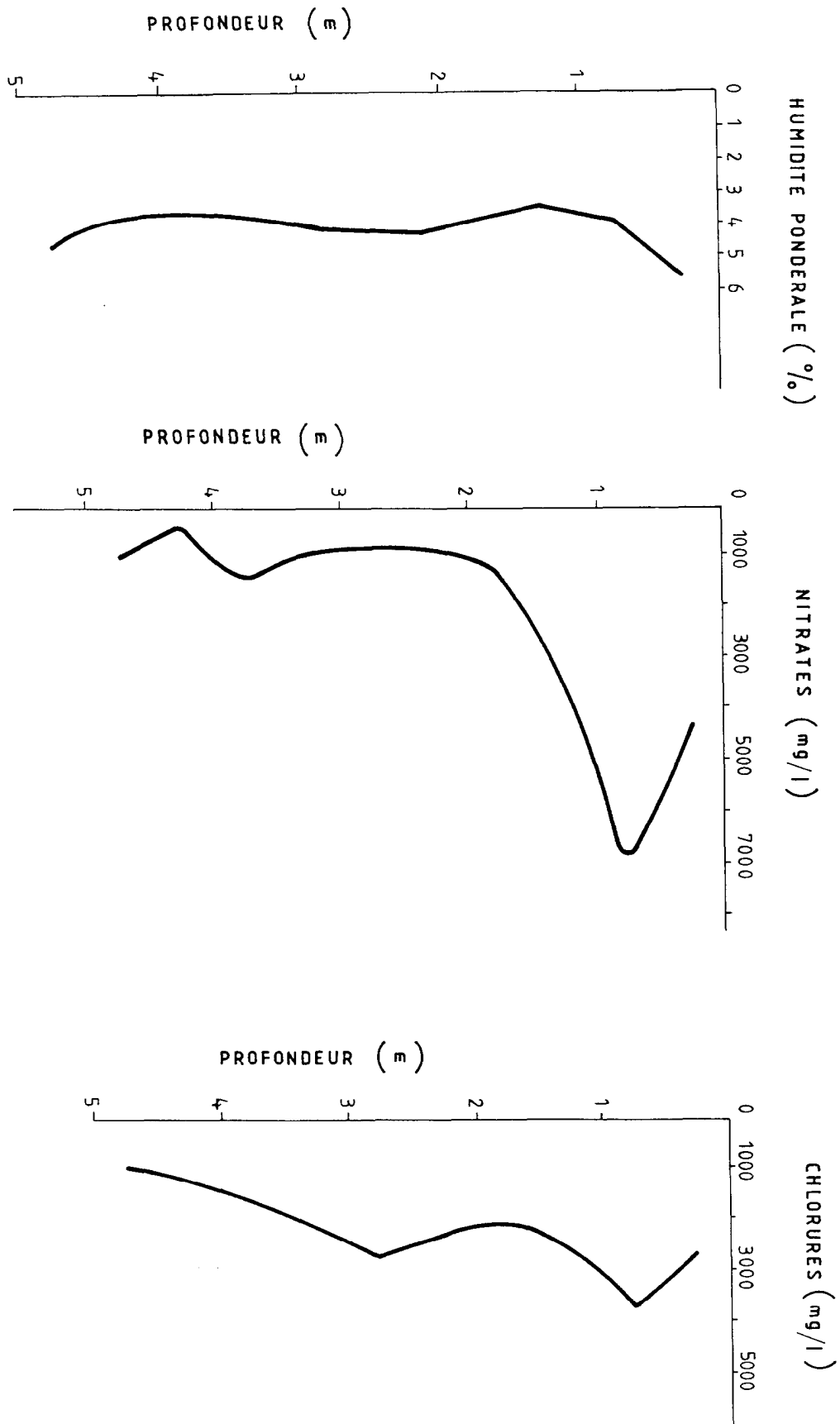


Figure 18. Profils des  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  et d'humidité pondérale du sol

Tableau 6. Humidité pondérale et teneurs en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et Cl<sup>-</sup> du sol

Profondeur (cm) Echantillon	Humidité pond.(%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
0-50	5.3	4395	2574
50-100	3.8	6955	3588
100-150	3.4	3401	2494
150-200	3.8	-	-
200-250	4.2	819	2320
250-300	4.1	840	2665
300-350	3.7	769	2075
350-400	3.5	-	-
400-450	3.7	414	1167
450-500	4.5	918	874

Malgré l'influence des points évaporés, la corrélation établie entre les teneurs en nitrates et les chlorures de l'eau interstitielle du sol implique une contamination des eaux par les nitrates d'origine organique anthropique (**Fig.19**).

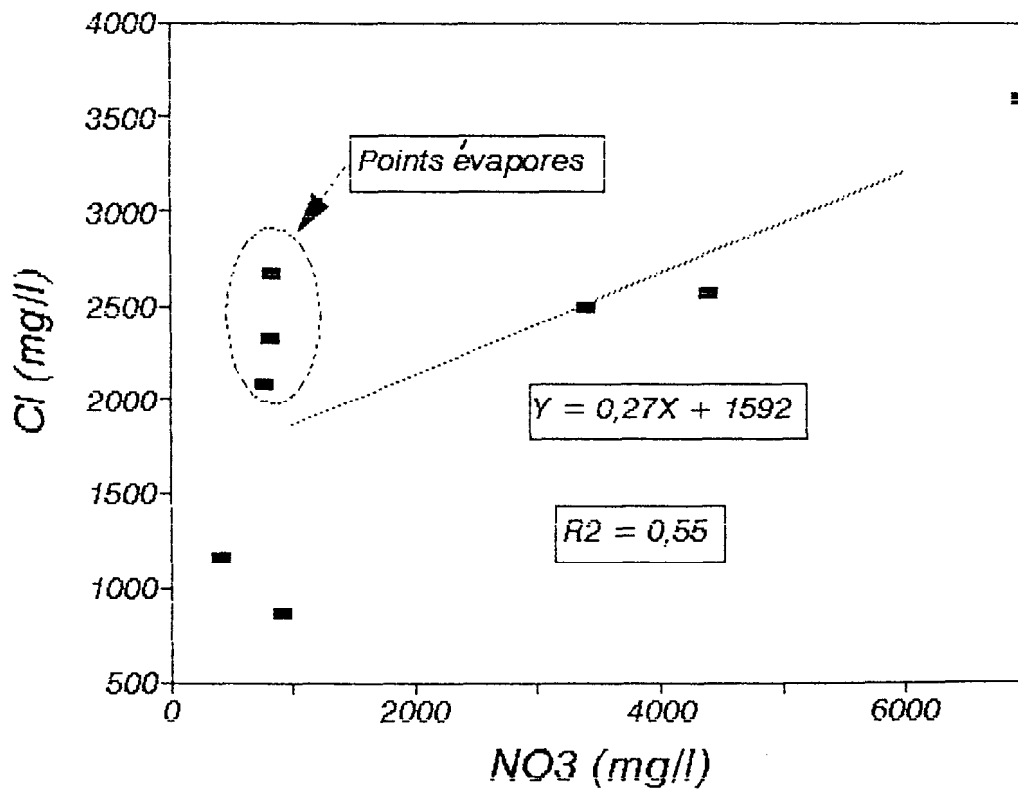


Figure 19. Corrélation entre les NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et Cl<sup>-</sup> du sol

#### 4. CONCLUSION

Bien que la notion de moyenne soit très limitée dans le contexte de notre étude, il apparaît que la pollution nitratée de la nappe de Yeumbeul s'établit autour de 200 mg/l.

La bonne corrélation obtenue entre les  $\text{Cl}^-$  et les  $\text{NO}_3^-$  de l'eau interstitielle du sol semble indiquer (en attendant la réalisation de plusieurs autres profils) que celle-ci provient de la matière organique d'origine anthropique.

L'étude de l'origine des fortes teneurs  $\text{NO}_3^-$  basée sur l'échantillonnage des puits (et du sol) suggère a priori que la contamination résulte essentiellement de flux horizontaux et verticaux. Ceux-ci seraient liés respectivement aux latrines familiales non étanches qui sont pratiquement noyées dans la nappe dans certaines zones et à la minéralisation de la matière organique du sol.

Par ailleurs, il est fréquent de constater qu'aucune précaution préalable n'est prise lors du prélèvement de l'eau dans les puits. Les prélèvements s'effectuent de façon très précaire avec des récipients constitués de toutes sortes de matériaux posés à même le sol (métal, caoutchouc, etc...) souvent recouvert d'excréments ou d'ordures. De telles pratiques, sont évidemment à proscrire.

La suite du programme devrait nous permettre, d'une part, d'engager l'étude sur la composition des différents types de déchets domestiques et leur mode de gestion, et d'autre part, de réaliser des prélèvements complémentaires de sol afin d'analyser l'eau interstitielle.

Pour les populations qui disposent de bornes fontaines, la pollution de la nappe par les  $\text{NO}_3^-$  n'est pas réellement une contrainte, car la société de distribution d'eau (SONES-SDE) dispose d'autres ressources en eau, ce qui lui offre la possibilité d'effectuer des dilutions susceptibles de ramener les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  à des valeurs acceptables pour la consommation.

Par ailleurs, l'existence de coliformes fécaux dans certains puits est très inquiétante et impose une réaction urgente pour rechercher et appliquer les solutions adéquates afin de stériliser les eaux de puits utilisées directement comme eau de boisson.

## 5. REFERENCES

- Bennet, R.C., Seath, D.M. et Olds, D.** (1968). Relationships between nitrate content of forages and dairy herd fertility. *J. Dairy Sci.*, 51: 629.
- Blood, D.C. et Henderson, J.A.** (1971). Médecine Vétérinaire. vol. 1, 1017 pp. Vigot, Paris.
- Davison, K.L., Hansel, W., Groom, L., Mc Entee, K. et Wright, M.J.** (1964). Nitrate toxicity in dairy heifers. Vol.1 : Effects on reproduction, growth, lactation and vitamin A nutrition. *J. Dairy Sci.*, 47: 1065-1073.
- Davison, K.L., Mc Entee, K. et Wright, M.J.** (1965). Responses in pregnant ewes fed forages containing various levels of nitrate. *J. Dairy Sci.*, 48: 969-977.
- Lijinski, W. et Epstein, S.S** (1970). Nitrosamines as environmental carcinogens. *Nature*, London. pp. 21-23.
- Martin, A.** (1970). Les nappes de la presqu'île du Cap-Vert. Leur utilisation pour l'alimentation en eau de Dakar. Pub. BRGM, 50 pp.
- Olson, J.R. Oehme, F.W. et Carneham, D.L.** (1972). Nitrate level in water and livestock feeds. *Vet.Proc./Small Animal Clinician*, 67: 257.
- OMS** (1972). Approvisionnement en eau et assainissement de Dakar et ses environs. Rapport Projet SEN 3201. Tome I. 104 pp + annexes.
- Schenck, Ch.** (1991). L'azote : nécessité, risques et remèdes. APRIA, Annales du colloque "L'azote en question", Paris, 29-30 janvier 1991. pp. 17-25.
- Travi Y., Gac J.Y., Fontes J.C. et Fritz, B.** (1987). Reconnaissance chimique et isotopique des eaux de pluie au Sénégal. *Géodynamique*, 2: 45-53.

## PROPOSITIONS DE STRATEGIES SUR LA PROTECTION DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE CONTRE LA POLLUTION PAR LES NITRATES ET LES COLIFORMES FECAUX

### 1. ASPECTS HYDROCHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES

Ces propositions visent à établir des mesures dans la zone de Yeumbeul où les  $\text{NO}_3^-$  sont largement au-dessus des normes OMS de potabilité de 50mg/l et où certains puits sont contaminés par des bactéries d'origine fécale. Les solutions préconisées seront mieux valorisées lorsque des résultats complémentaires seront obtenus pendant la suite du programme.

La qualité des eaux de la nappe phréatique dans la zone péri-urbaine de Dakar doit faire l'objet d'une attention particulièrement sévère pour éviter une généralisation des pollutions ponctuelles et. en conséquence. une condamnation de la nappe phréatique.

#### 1.1. Contre la pollution de la nappe par les $\text{NO}_3^-$

Dans ce cas, trois solutions peuvent être envisagées:

##### a) *Mélanger, avant distribution, les eaux à teneurs excessives en $\text{NO}_3^-$ avec les eaux à basses teneurs en $\text{NO}_3^-$*

**Objectif** : réaliser un guide pour l'amélioration de la qualité chimique de l'eau des puits, par rapport aux  $\text{NO}_3^-$ . pour la consommation humaine.

**Actions pratiques** : des essais de mélanges entre l'eau à basses teneurs en nitrates du réseau de distribution (borne fontaine) et l'eau à teneurs excessives en  $\text{NO}_3^-$  des puits locaux seront effectués, afin de rabattre les concentrations à des valeurs acceptables. Les proportions de mélange seront également définies. Puisque les populations utilisent des bassines et des seaux pour recueillir l'eau de robinet, nous allons :

- évaluer les volumes d'eau de borne fontaine d'une bassine et d'un seau. A chaque fois, **des** prélèvements et des analyses chimiques seront effectués :
- prélever des volumes connus d'eau de puits contaminés sur lesquels seront effectués des analyses chimiques :
- effectuer des mélanges à différentes proportions qui seront analysés au fur et à mesure ;
- élaborer un guide spécifiant : zone étudiée ; volume d'eau du réseau (%) : volume d'eau de puits (%) : et observations.

##### b) *Dénitrification des eaux par un traitement approprié*

**Objectif** : réaliser (et/ou concevoir) des modules de dénitrification (membranes de séparation, résines échangeuses d'ions etc...) qui seront fixés en série avec un robinet sur des canaris (récipients fabriqués localement avec de l'argile cuite) ou des fûts pour retenir les  $\text{NO}_3^-$  à la sortie de l'eau.

**Actions pratiques** : il sera encouragé une collaboration avec le laboratoire de séparation par membrane de l'ESP (Ecole Polytechnique Supérieure de L'Université Cheikh Anta Diop) pour la réalisation ou la conception des modules de dénitrification.

D'autre part, avec le CCTAS de Yeumbeul (Centre Communautaire de Technologie Appropriée pour la Santé) qui est une structure mise en place et gérée par les populations elles-même (jeunes médecins. techniciens et conseil de sages). on pourra réaliser la conception des récipients sur lesquels seront fixés des robinets et des nodules. Dans ce centre également, on effectuera les tests requis par les essais de mélange.

### **c) Elaboration de politiques efficaces de protection et de prévention**

**Objectif** : implication par consensus des populations à la définition des mesures réglementaires visant à minimiser la pollution de la nappe.

**Actions pratiques** : il faudra encourager le partenariat avec l'autorité municipale et les associations communautaires que nous avons rencontrées sur le terrain (ou qui offriront leur disponibilité) pour élaborer des programmes d'actions concernant :

- l'identification de zones d'installation d'édicules publiques étanches et susceptibles d'être vidés au besoin. Ces zones seront choisies là où la profondeur de la nappe est à plus de 2,5m même en période de crue ;
- l'amélioration de la protection et de la maintenance des puits. On cherchera les moyens nécessaires pour la construction de dalles étanches en ciment, de couvercles en matières inoxydables, etc... Au moment opportun, il sera possible d'élaborer des programmes d'évaluations financières pour leurs réalisations sélectives ;
- la proposition de systèmes de gestion des ordures. On pourra réaliser une gestion organisée coordonnée par les différents partenaires (de préférence les associations de jeunes garçons et jeunes filles des sous-quartiers). Il faut rappeler à ce titre que lors de nos campagnes de prélèvement, nous avons rencontré une association, l'ANBEP (Association Nationale pour le Bien-Etre de la Population), qui a une bonne expérience de la collecte et du ramassage des ordures ménagères avec des charrettes tirées par des chevaux et des ânes. A travers le projet CITIES, l'UNESCO mettra des moyens supplémentaires à disposition de la population locale ;
- la création d'un réseau d'informations et de sensibilisation des populations sur le péril nitraté. Ce réseau, qui restera ouvert, pourrait être piloté dans un premier temps par des universitaires (l'équipe en cours, la faculté de médecine et de pharmacie, le département de bactériologie etc..) en association avec le CCTAS et les directeurs des écoles de Yeumbeul.

### **1.2. Contre la pollution par les coliformes fécaux**

**Objectifs** : éliminer les bactéries de l'eau des puits par des traitements appropriés (filtrations et produits antiseptiques).

**Actions pratiques** : on cherchera à collaborer avec l'ESP et les facultés de médecine et de pharmacie pour des propositions concrètes de traitement des eaux contaminées.

## **2. ASPECTS PARASITOLOGIQUES**

Ces aspects seront étudiés en collaboration avec le Département de Parasitologie de la Faculté de Médecine de l'Université Cheikh Anta DIOP de Dakar.

### **Objectifs :**

- effectuer des prélèvements des selles et des urines chez les habitants résidents qui consomment directement l'eau des puits en vue d'analyses parasitologiques ;
- étudier la prévalence des parasitoses susceptibles d'être en rapport avec une pollution de la nappe phréatique ;
- réaliser une cartographie de synthèse sur les zones infestées.

## Annexe II

### PERSONNES RENCONTREES SUR LE TERRAIN A YEUMBEUL

<b>Délégués (nom et prénom)</b>	<b>Structures</b>
Alioune Keita	Président des jeunes CCTAS/ENDA
Ndiaga Yade	Délégué de quartier
El Hadji Ibrahima Diop	Chef religieux des Lebous
Ahmed Ndiaye	ASC Deggo
Aziz Gueye	ASC Santhieuba
Baba Diallo	Délégué de quartier
Mabaye Gaye Thioune	Délégué de quartier
Moussa Ndiaye	ANBEP
Mme Awa Diallo	Groupement féminin
Mme Awa Ka	Groupement féminin
Massamba Gueye	ASC Deggo
Ahmadou Sow	Notable
Cheikh Diop	ASC Neexle
Adama Wade	ANBEP
Adama Thiombane	Délégué de El Samba Yoro
Pape Ndiaye	Président du Conseil des Sages
Oumar Bâ	Délégué de quartier
El Hadji Boye	Délégué de quartier Conseil des Sages du CCTAS

---

CCTAS Centre Communautaire de Technologie Appropriée pour la Santé  
ASC Association Sportive et Culturelle  
ANBEP Association Nationale pour le Bien Etre de la Population

## **Annexe III**

### **EQUIPE IMPLIQUEE DANS LE PROJET "AMELIORATION DE L'HYGIENE ET DE L'ENVIRONNEMENT DE YEUMBEUL, SENEGAL"**

#### ***EQUIPE SCIENTIFIQUE***

Salif Diop (coordonnateur), Laboratoire de géographie, Université CAD, Dakar

Abdou I Aziz Tandia, Laboratoire d'hydrogéologie, Université CAD, Dakar

Cheikh Bécaye Gaye, Laboratoire d'hydrogéologie, Université CAD, Dakar

Ibrahima Cissé, Laboratoire de géographie, Université CAD, Dakar

#### ***TECHNICIENS***

Moussa Sow, Laboratoire d'hydrogéologie, Université CAD, Dakar

Khalifa Cissé, Laboratoire de sédimentologie, Université CAD, Dakar

#### ***POPULATIONS VILLAGEOISES IMPLIQUEES SUR LE TERRAIN***

N'diaga Yade, délégué de quartier, face police municipale de Yeumbeul

Alioune Keïta, coordonnateur-adjoint au CCTAS (Centre Communautaire de Technologie Appropriée pour la Santé) et président du Mouvement des Jeunes de Yeumbeul

Bernard Mendy, délégué de quartier, Darou Salam 5

Mr. Badji, délégué de quartier, Darou Salam 4B

Sara Diop, délégué de quartier, Darou Salam

Mamadou Dia, instituteur, quartier Abdoul Bass

#### ***PERSONNE CONSULTEE***

Mohamed Soumaré. ENDA-ECOPOP. Dakar