

pour — ~~1320~~ ou

1320

République du Sénégal  
Ministère de l'Hydraulique  
Division Hydrogéologique

ORSTOM  
L'Institut Français de  
Recherche Scientifique pour  
le Développement en Coopération  
BP 1386 DAKAR

Rapport de stage

Sonya CHAOUI

**Hydrogéologie et Hydrochimie  
de la presque île du Cap-Vert  
(nappe infrabasaltique et nappe de Thiaroye)  
Sénégal**

917196  
1320

Juin 1996

## **Remerciements**

*Au terme de ce travail il est de notre devoir d'exprimer nos vifs remerciements et notre sincère gratitude à toute personne qui a contribué à l'élaboration de cette étude.*

*Cette reconnaissance s'adresse particulièrement à :*

*- Mr P. Mathieu (représentant de l'ORSTOM au Sénégal) pour avoir accepté que notre stage se déroule au sein de son institution.*

*- Mr JF. Cogels (ORSTOM/FUL) pour sa confiance, ses conseils et l'aide qu'il m'a apporté pour le bon déroulement de ce travail. Je l'en remercie vivement pour son accueil au sein du laboratoire de géochimie.*

*- Mme Fall et Mr Coly (Ministère de l'hydraulique/SGPRE) d'avoir accepté que mon stage se déroule dans la section d'hydrogéologie. Je tiens à leur témoigner ma gratitude.*

*- Mr Thiam, Mr N'gom, Mr Doumbouya et Mr Boisy (Ministère de l'hydraulique/SGPRE) pour la vaste documentation qu'ils ont mis à ma disposition ainsi que toutes les données nécessaires pour la réalisation de ce travail. Je tiens à les remercier pour leur confiance, leur disponibilité et leur sympathie qu'ils ont toujours témoigné à mon égard.*

*- Mr Tandia (UCAD/Département de géologie) pour ses conseils et critiques notamment dans l'étude isotopique.*

*- Mr Baradiakhaté (SONEES) qui m'a permis l'accès aux documents de la SONEES. Je le remercie très sincèrement pour la confiance qu'il m'a témoignée.*

*- Mr Kodio (ORSTOM) pour sa bienveillance, ses critiques et ses multiples conseils, il a corrigé mon travail avec dévouement et sympathie. Je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance.*

*- Mr Esteve (ORSTOM) pour ses fructueux conseils et ses critiques. Malgré ses multiples occupations, il a bien voulu corrigé mon travail. Je tiens à lui témoigner toute ma gratitude.*

*- Mr Cissé (Dessinateur ORSTOM) pour ses multiples conseils quand à la mise en forme des cartes.*

*Je tiens à remercier également tous mes amis de la case pour leur soutien moral*

## *Table des matières*

<b>Introduction</b> .....	3
<b>I. Cadre géographique de la zone d'étude</b> .....	6
<b>II. Etude géologique</b> .....	6
II.1 La nappe infrabasaltique .....	9
II.2 La nappe des sables quaternaires .....	9
II.3 La tectonique .....	9
<b>III. Ensembles hydrogéologiques</b> .....	11
III.1 L'établissement des coupes hydrogéologiques et les principaux niveaux aquifères .....	11
III.2 L'interprétation .....	11
III.2.1 Les coupes longitudinales d'orientation Ouest-Est .....	11
III.2.2 Les coupes transversales d'orientation Nord-Sud .....	16
III. 3 L'inventaire et la reconnaissance des points d'eau .....	16
III. 4 La piézométrie .....	18
III.4.1 La carte piézométrique de la nappe infrabasaltique .....	18
III.4.2 La carte piézométrique de la nappe de Thiaroye .....	19
III.5 L'évolution de la piézométrie (1985-1995) .....	20
III. 5.1 La nappe infrabasaltique .....	20
III. 5.2 La nappe de Thiaroye .....	22
III.6 L'évolution des prélèvement dans les champs de captage de la nappe infrabasaltique, Thiaroye et BeerThialane (1985-1995) .....	25
III.6.1 Le champ de captage de la nappe infrabasaltique .....	25
III.6.2 Le champ de captage de la nappe de Thiaroye et BeerThialane .....	26
III.7 Conclusion à l'étude hydrogéologique .....	28

<b>IV. Etude hydrochimique des nappes infrabasaltique et Thiaroye</b> .....	29
IV. 1 Les paramètres physico-chimiques .....	29
IV.1.1 La nappe infrabasaltique .....	29
IV.1.2 La nappe de Thiaroye .....	31
IV.2 La pollution des eaux souterraines .....	32
IV.2.1 Les chlorures .....	32
IV.2.1.1 La nappe infrabasaltique .....	32
IV.2.1.2 La nappe de Thiaroye .....	34
IV.2.2 Les nitrates .....	34
IV.2.2.1 La nappe infrabasaltique .....	35
IV.2.2.2 La nappe de Thiaroye .....	36
IV.3 Conclusion à l'étude hydrochimique .....	38
<b>V. Conclusion générale</b> .....	39
<b>Références</b> .....	40

## Introduction

Le présent rapport a été réalisé lors d'un stage de quatre mois au sein du ministère de l'hydraulique/SGPRE (Service de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eaux) et du laboratoire de géochimie de l'ORSTOM.

L'hydrologie isotopique et la modélisation des aquifères de la presqu'île du Cap-Vert sont les principaux objectifs du projet modèle de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) Raf/8/022 intitulé "Utilisation des isotopes pour l'étude de la réalimentation des aquifères de la presqu'île du Cap-Vert". Au cours du stage et dans le cadre de ce projet un séminaire s'est déroulé du 10 au 20 avril 1996 dans lequel nous avons participé activement. Les problèmes posés lors de ce séminaire concernent la revue critique de l'état des connaissances sur les nappes et l'identification des éléments essentiels en vue de leur modélisation.

Il y a plus de 50 ans que la nappe infrabasaltique et celle de Thiaroye ont été mises en exploitation pour l'alimentation en eau potable (AEP) de Dakar. De nombreuses études réalisées sur les aquifères de la presqu'île du Cap-Vert ont montré une évolution de la pollution saline au niveau de certains piézomètres (Bad 5, Bad 6 et puitsB) et un abaissement de plus d'un mètre de la nappe infrabasaltique. De même au niveau de la nappe de Thiaroye, il a été observé une invasion saline et une pollution anthropique importante. Compte tenu des résultats produits par ces études et les données plus récentes recueillies sur le site dans le cadre du projet modèle de l'AIEA, nous examinerons l'hydrogéologie et l'hydrochimie des nappes infrabasaltique et Thiaroye.

L'utilisation des isotopes permettra une meilleure connaissance de l'origine de l'invasion saline et de la pollution anthropique, de la drainance et du mélange entre les eaux des deux aquifères, de l'origine des eaux des niveaux aquifères et de la localisation de la zone de recharge de la nappe infrabasaltique (nappe captive). Les résultats des données de terrain n'étant pas encore disponibles, l'analyse et l'interprétation de ces résultats isotopiques se fera ultérieurement par le ministère de l'Hydraulique/SGPRE.

Pour la réalisation de la présente étude, toutes les données utilisées ont été fournies par le ministère de l'hydraulique/SGPRE et la faculté des sciences de l'Université de Dakar (Département de géologie).

## Méthodologie de l'étude

Pour atteindre les objectifs préconisés, il s'est avéré nécessaire de faire un recueil bibliographique de toutes les études antérieures disponibles réalisées dans la presqu'île du Cap-Vert au niveau des organismes suivants : le ministère de l'hydraulique, l'université de Dakar, la SONEES<sup>1</sup> et le CRDO<sup>2</sup>.

La synthèse géologique a servi essentiellement à la description lithologique, ainsi qu'à la détermination des horizons aquifères à partir de nouvelles coupes hydrogéologiques établies avec les nouveaux piézomètres réalisés par le ministère de l'hydraulique/SGPRE (Bad1, Bad2, ...).

Les deux campagnes de mesures piézométriques réalisées par le ministère de l'hydraulique et le département de géologie (Université de Dakar), en basses eaux (mai 95) et en hautes eaux (décembre 95) ont permis la réalisation de nouvelles cartes piézométriques. Par ailleurs, la comparaison des variations des niveaux piézométriques actuelles avec celles des années précédentes a permis de suivre les variations des cotes d'eau. Ces mesures se sont déroulées sur une période de dix années (1985-1995). La pluviométrie ainsi que la production annuelle des deux nappes infrabasaltique et Thiaroye étudiés sur la même période, ont mis en évidence leurs influences sur les variations des niveaux des aquifères.

L'analyse chimique des échantillons d'eau prélevés aux mêmes périodes a été réalisée par le laboratoire du département de géologie. L'interprétation des données chimiques, essentiellement les chlorures et les nitrates, a permis de mettre en évidence les pollutions salines et anthropiques au niveau des deux nappes.

---

<sup>1</sup> SONEES : Société Nationale de l'Exploitation des eaux du Sénégal.

<sup>2</sup> CRDO : Centre Régional de la Documentation de l'ORSTOM.

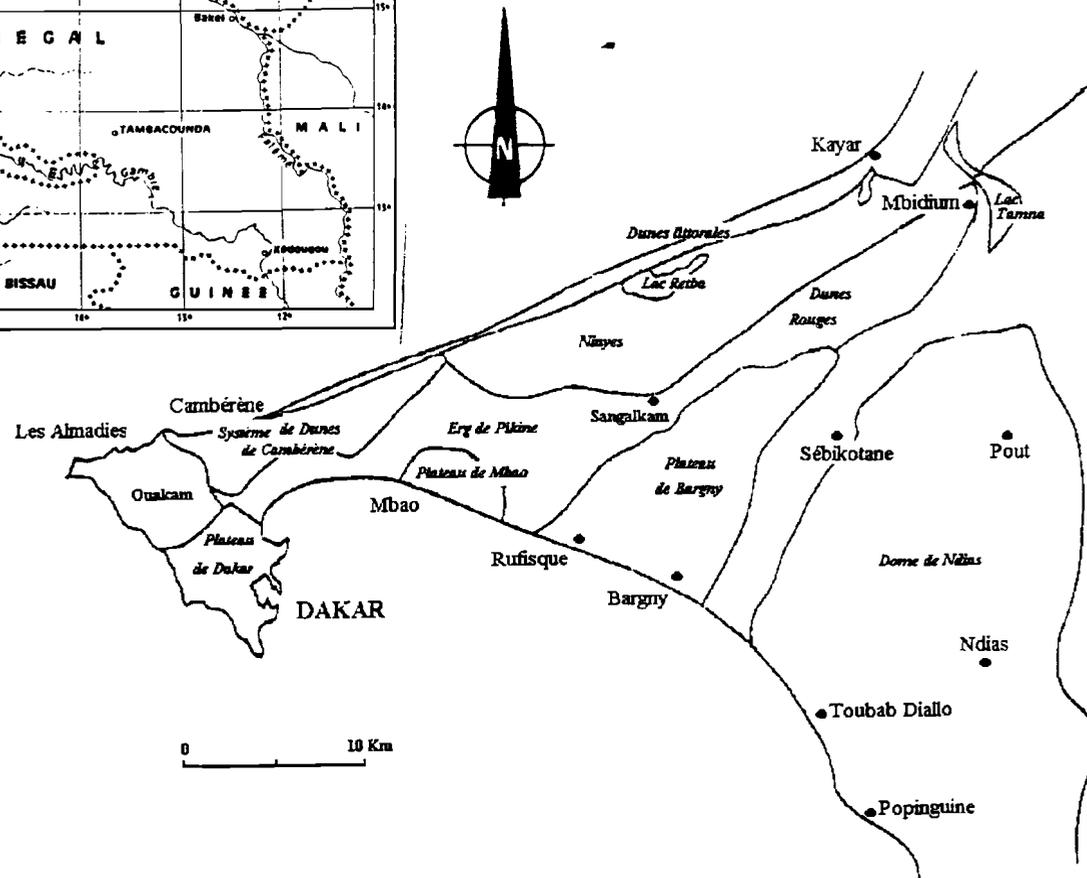
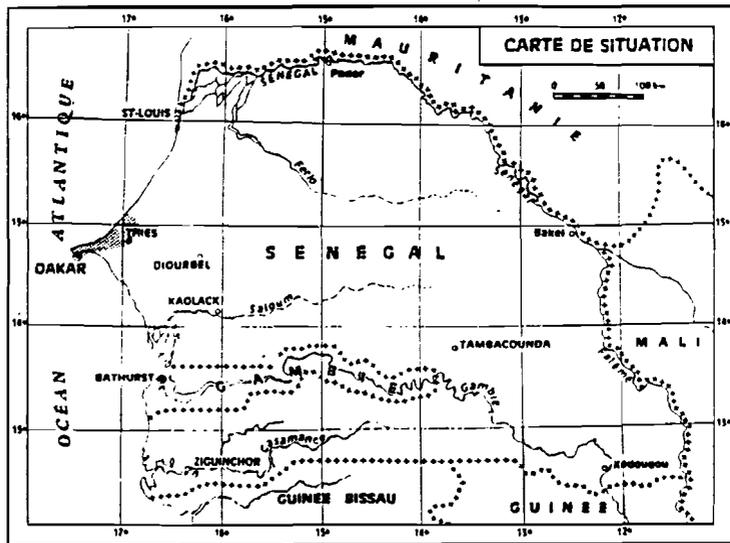


Fig.1 : Carte de situation de la presqu'île du Cap-Vert (d'après B.Gaye, 1980)

## I. Cadre géographique de la zone d'étude

La quasi totalité de la zone d'étude est située entre la pointe des Almadies et Kayar. Du Sud au Nord, on y distingue les ensembles morphologiques suivants : - le plateau de Dakar au Sud est formé essentiellement d'argiles silicifiées correspondant à la remontée du mur de la nappe ; - la tête de la presqu'île au Nord-Ouest est formé par les coulées basaltiques ; - l'Erg de Pikine à l'Est ; - le système de Niayes au Nord-Est ; et les dunes littorales au Nord (Fig. 1).

La nappe infrasalitique s'étend sous l'ensemble de la tête de la presqu'île du Cap-Vert. Elle se poursuit vers l'Est par les sables aquifères de Thiaroye. La nappe est en contact avec l'océan sur ces trois flancs (Nord, Sud-Ouest et Sud-Est).

La nappe du Quaternaire s'étend tout au long du littoral depuis Thiaroye jusqu'à Saint-Louis sur une dizaine de kilomètres de largeur. La plus grande partie des sables quaternaires est formée par le puissant massif dunaire.

La position géographique de la presqu'île du Cap-Vert lui confère un microclimat bien individualisé caractérisé par une longue saison sèche de novembre à mai, relativement fraîche, et par une courte saison des pluies, humide et chaude (mousson) de juin à octobre. Elle présente un régime climatique particulier dû aux influences à la fois sahariennes et océaniques.

## II. Etude géologique

Les faciès rencontrés dans la zone d'étude sont constitués par les formations sédimentaires du quaternaire commençant par une sédimentation marine à l'Inchirien (Fig.2 et Fig.3). Les sables de cette sédimentation non protégés vont être partiellement déblayés. Ils sont cependant conservés dans la zone de la presqu'île et dans les grandes dépressions des cuvettes lacustres ou des vallées fossiles. La mer recouvre la tête et le col de la presqu'île donnant lieu à des dépôts de sables coquilliers. Les coulées volcaniques des mamelles (point culminant de la région avec une altitude de 105 m) viendront fossiliser ces sables, formant ainsi la nappe dite infrabasaltique (Martin, 1970). La période d'accumulation est caractérisée par des sables-graviers des alluvions (Acheuléen), localisés essentiellement dans la zone de Thiaroye.

Pendant les principales phases arides du Quaternaire, un important cordon dunaire s'est mis en place (Ogolien) couvrant presque toute la tête et le corps de la presqu'île du Cap-vert. Cette sédimentation correspond à la glaciation de "Wurm" quand la régression de la mer atteint son maximum. Ce cordon dunaire interrompu seulement par quelques dépressions (lacs Retba, Temna, etc...) se poursuit le long du littoral nord jusqu'à St-Louis (Gaye, 1980). La dernière sédimentation a formé deux

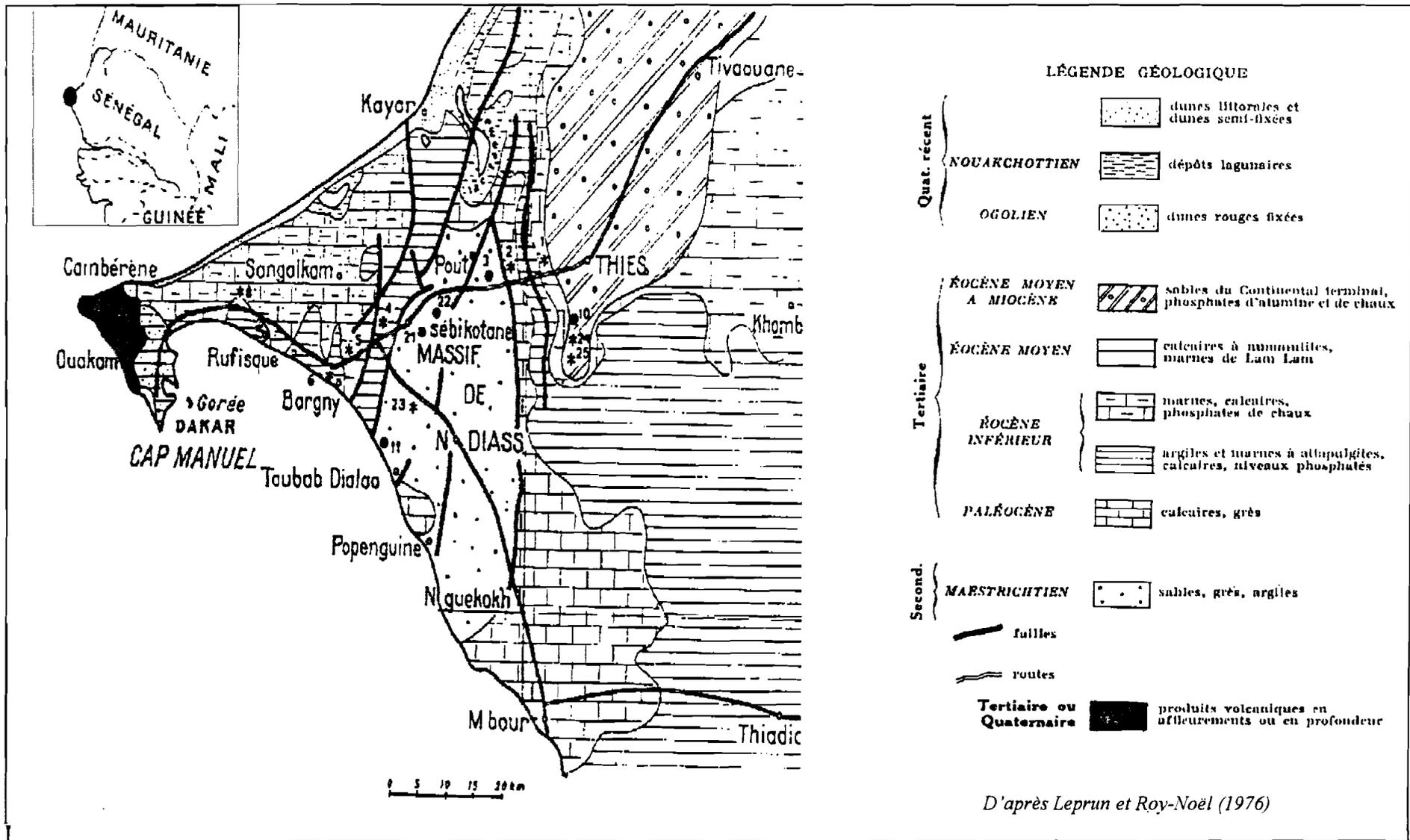


Fig.2 : Carte géologique de la presqu'île du Cap-Vert

cordons littoraux qui isolent les lacs cotiers de l'Océan. Ce sont :

- les sables fins orangés dunaires : système de Cambéréne.
- les sables fins blancs dunaires : le cordon actuel des dunes vives.

La zone étudiée correspond à la partie la plus occidentale du bassin sénégalo-mauritanien dont la stratigraphie est bien connue. Le bassin représente une série sédimentaire depuis le Jurassique supérieur et le Crétacé jusqu'au quaternaire. La subdivision et l'évolution des faciès du quaternaire sont représentés dans la Fig.3.

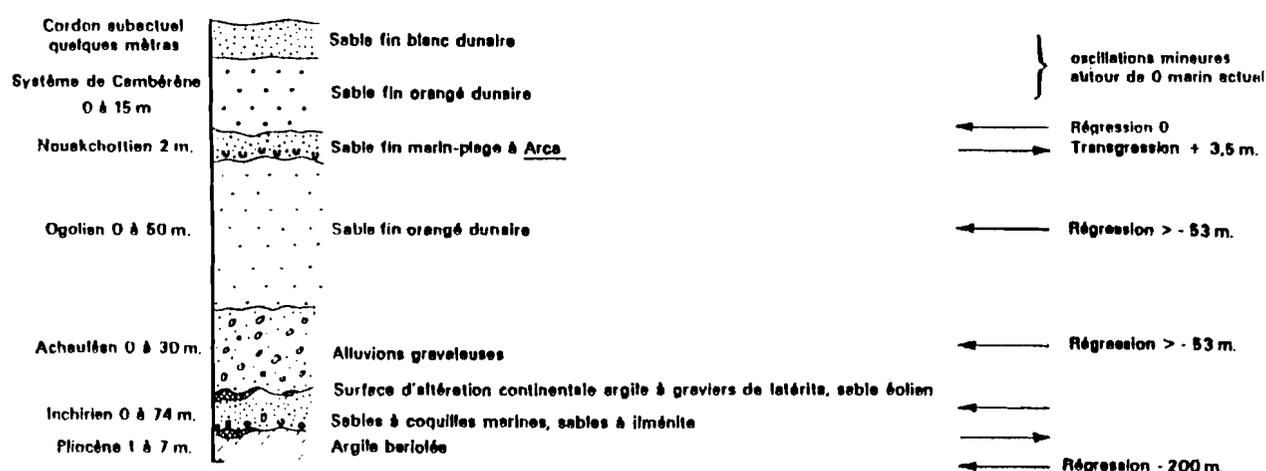


Fig.3 : Les formations quaternaires, selon la conception de L. Hébrard (Martin, 1970)

Les prospections géophysiques des études antérieures (BRGM, 1987 ; CPGF, 1978 et la CGG, 1970) ont mis en évidence les ensembles morphologiques suivants :

- une cuvette centrée sur le village de Pikine-Borgou (bassin de Thiaroye) où l'épaisseur des sables est supérieure à 50 m
- une formation sableuse allongée Ouest-Est, au sud du lac Mbeubeuse, où les sables sont épais de 30 m à 50 m
- une formation sableuse allongée Sud-Nord, près de Sangalkam, probablement sur l'emplacement d'un chenal. L'épaisseur des sables croît du Sud vers le Nord et atteint 70 m à 80 m près du littoral
- une cuvette à l'est du lac Retba (zone de Beerthialane) où l'épaisseur des sables est supérieure à 50 m

## II.1 La nappe infrabasaltique

Elle est constituée par les sables marins d'âge quaternaire, à puissance variable. A l'approche du plateau de Dakar, avec le relèvement du mur, les sables infrabasaltiques se biseautent pour disparaître finalement. Le toit de l'aquifère est formé par les coulées volcaniques de type basaltique, l'alternance des phases d'éruption et de repos fait que l'on n'a pas un toit homogène. Par endroit on distingue des alternances de niveaux volcaniques et sableux ainsi les variations de puissance du toit conditionnent les possibilités de réalimentation de la nappe.

Les sables reposent sur les argiles et les marnes de l'Eocène inférieur. Cet ensemble imperméable affleure seulement au Sud et se poursuit vers le Nord-Est. Au delà de la limite orientale d'extension du recouvrement basaltique, la nappe devient libre et se confond avec la nappe de Thiaroye.

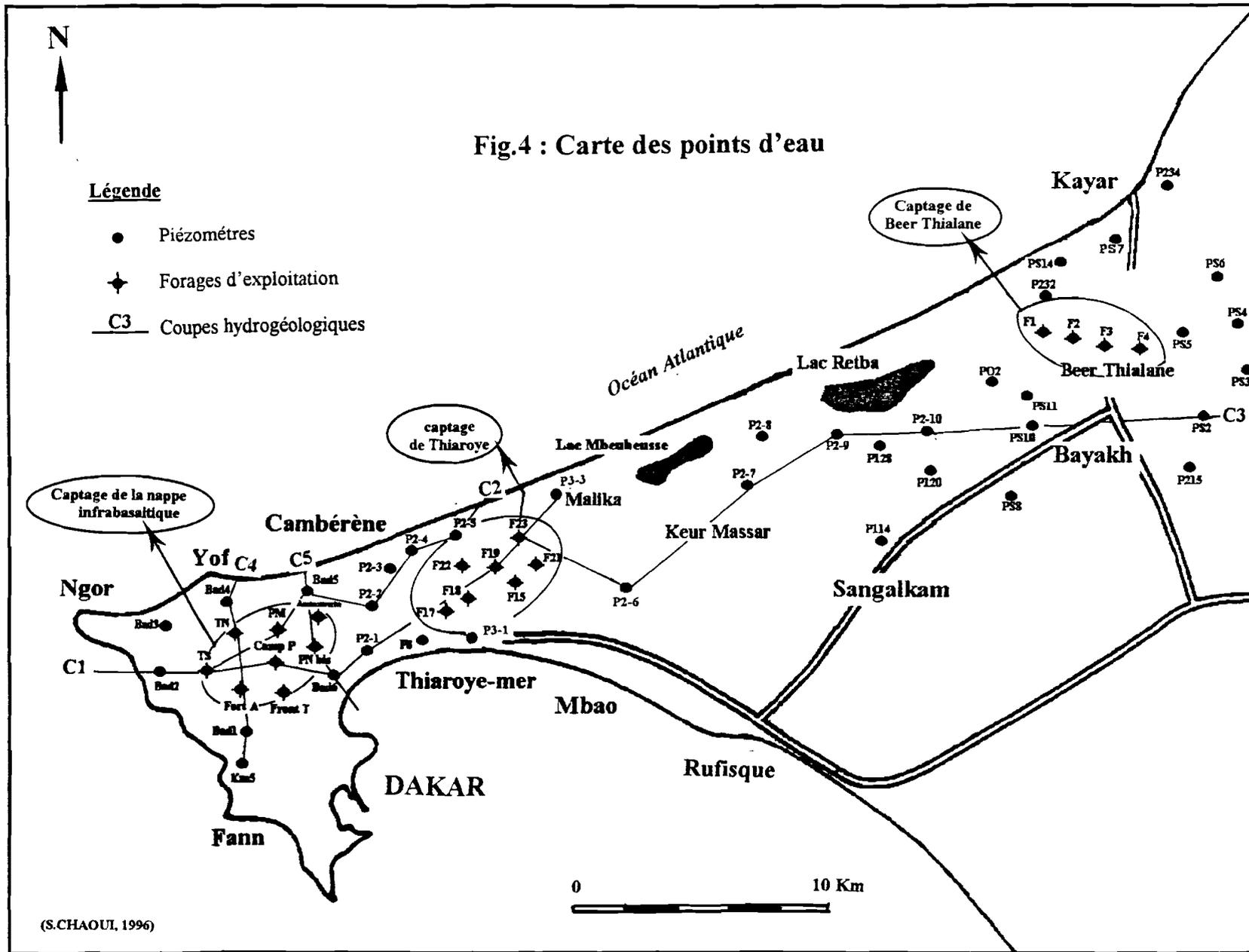
## II.2 La nappe des sables quaternaires

L'ensemble hydrogéologique appelé nappe de Thiaroye, comprend le puissant massif dunaire caractérisé essentiellement par les Niayes, qui sont des dépressions interdunaires. Ces bas-fonds se transforment généralement en marécages pendant la saison des pluies ; l'eau disparaît en saison sèche. Toutes ces cuvettes sont en effet inondées temporairement par les fluctuations de la nappe phréatique (Michele, 1973). Le cordon littoral qui isole les lagunes de l'océan se prolonge en direction de l'océan et se termine par une plage basse.

Dans toute sa partie Nord, la nappe est en contact avec l'océan, la nature de l'aquifère est variée ; sables argileux à la base, sables grossiers puis sables éoliens bien classés au sommet. Le substratum de la nappe est formé par les marnes et argiles de l'Eocène inférieur. La nappe de Thiaroye est exploitée dans deux zones : Thiaroye et Beerthialane et dans tous les Niayes par les agriculteurs. L'aquifère est en totalité libre c'est un réservoir alimenté par l'infiltration directes des pluies.

## II.3 La tectonique

La région du Cap-vert, dans son ensemble est caractérisée par une grande instabilité tectonique. Sa position sur la partie la plus occidentale de la marge continentale de l'Afrique de l'Ouest, fait que l'origine de ces mouvements tectonique seraient à rechercher dans la tectonique de distention ; liée à l'ouverture et à l'expansion de l'océan Atlantique, plus particulièrement pendant la période allant du crétacé à la fin du tertiaire, voir au quaternaire (Gaye, 1980).



(S.CHAOUI, 1996)

### III. Ensembles hydrogéologiques

Les descriptions lithologiques et tectoniques permettent d'apprécier les caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations.

#### III.1 L'établissement des coupes hydrogéologiques et les principaux niveaux aquifères

A partir des données de forage cinq coupes hydrogéologiques ont été établies, trois longitudinales et deux transversales (Fig.4). Les coupes ont été choisies selon la disponibilité des logs de forage et de leur répartition.

##### \* Les coupes de direction Ouest-Est

**C1** : Bad2, Terme sud, Camp pénal, Bad6, P2-1, F19, F23, P3-3

**C2** : Bad2, Terme sud, PM, Bad5, P2-2, P2-3, P2-4, P2-5

**C3** : F19, F23, P2-6, P2-7, P2-9, P2-10, PS2

##### \* Les coupes de direction Nord-Sud

**C4** : KM5, Bad1, Fort A, Terme nord, Bad4

**C5** : PB, Bad6, PN, Bad5

#### III.2 L'interprétation

L'observation des coupes hydrogéologique indiquent que les corrélations lithologiques sont parfois difficiles, on admet l'existence d'une tectonique cassante ayant entraîné l'effondrement ou la surrection de compartiments par rapport à d'autres. Cette hypothèse est confirmée par l'étude des photos-satellites Landsat (MH/SGPRE, 1985) qui met en évidence les discontinuités et linéaments principaux.

##### a- Coupes longitudinales d'orientation Ouest-Est

**C1** : elle s'étend des mamelles au village de Malika (Fig.5) et montre deux niveaux aquifères : la nappe infrabasaltique et la nappe de Thiaroye. La couverture des basaltes présente des variations de puissance d'Ouest vers l'Est. A l'Ouest on y distingue de forte épaisseur variant entre 26m et 35m pour les forages Terme sud et Camp pénal. A l'Est les basaltes se biseautent au niveau du piézomètre P2-1, au delà de ce dernier la nappe infrabasaltique se confond avec la nappe des sables de Thiaroye; ainsi se contact fait profiter la nappe infrabasaltique de l'impluvium de la nappe superficielle. L'épaisseur des sables de Thiaroye et de la nappe infrabasaltique varie respectivement entre 14m (Bad6) et 45m (F19) et entre 60 m (Terme sud) et 45 m (Camp pénal). Le substratum imperméable des deux nappes est composé des marnes et argiles de l'Eocène inférieur.

Fig.5 : Coupe hydrogéologique C1

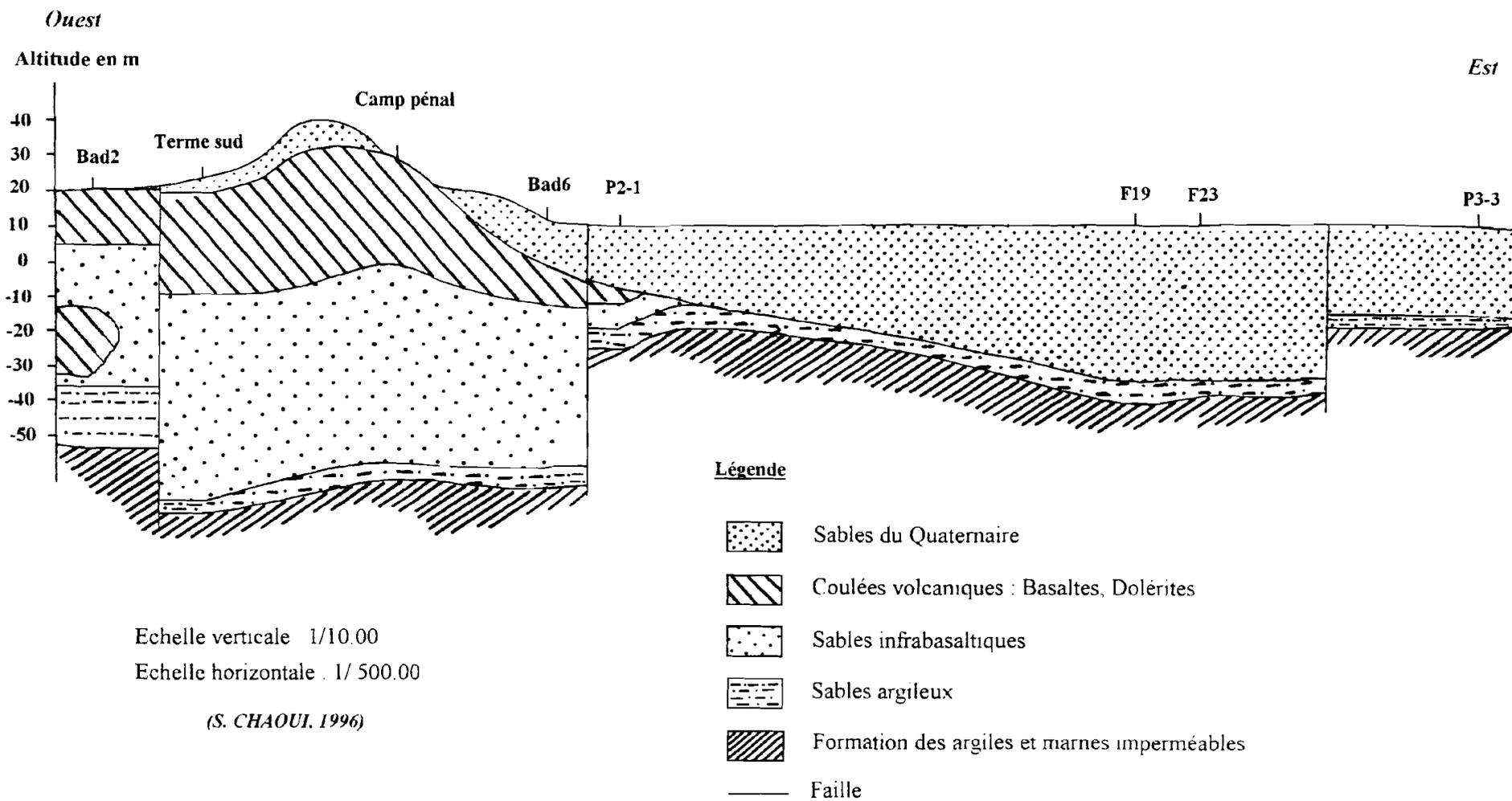


Fig.6 ; Coupe hydrogéologique C2

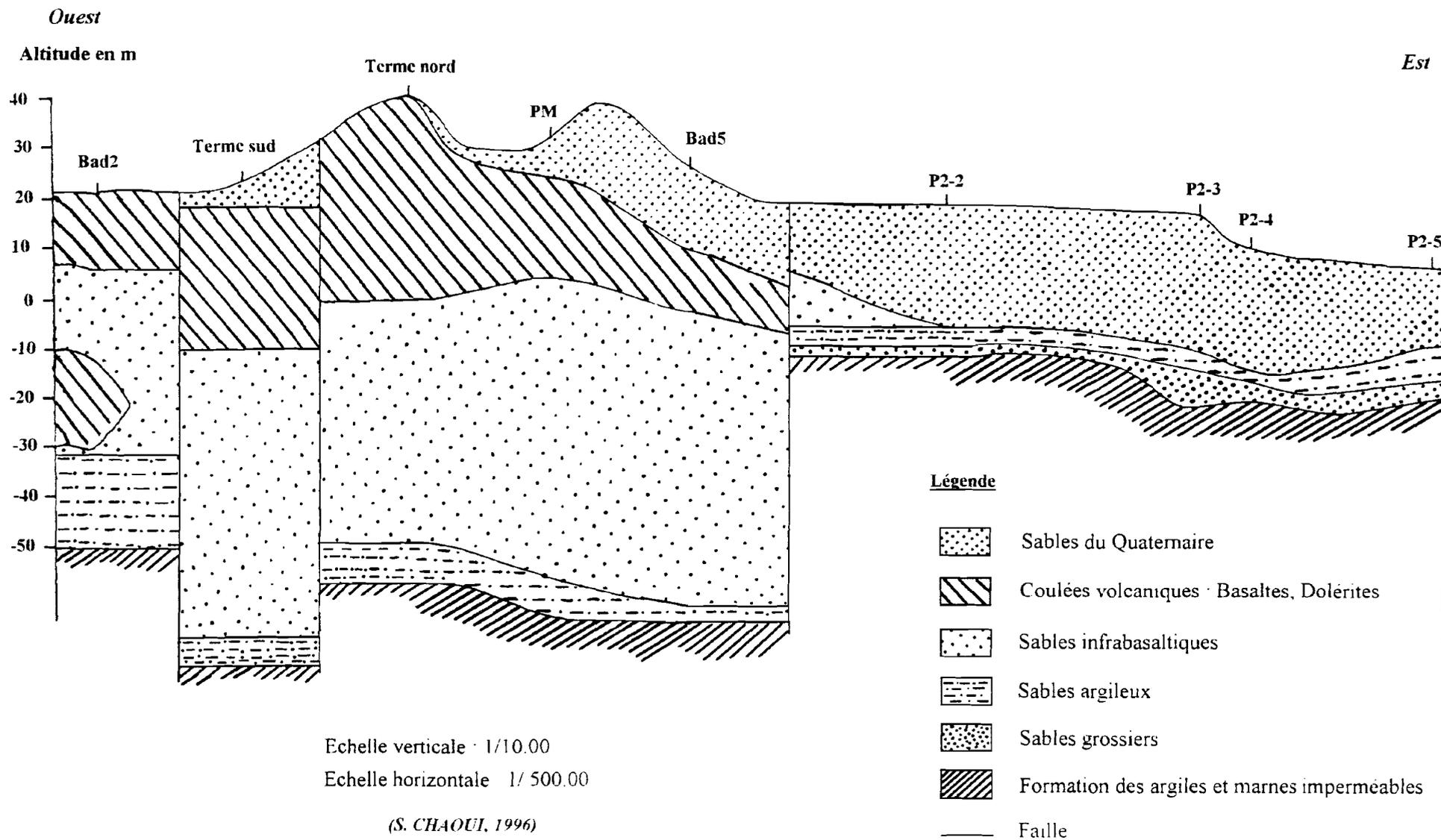


Fig.7 : Coupe hydrogéologique C3

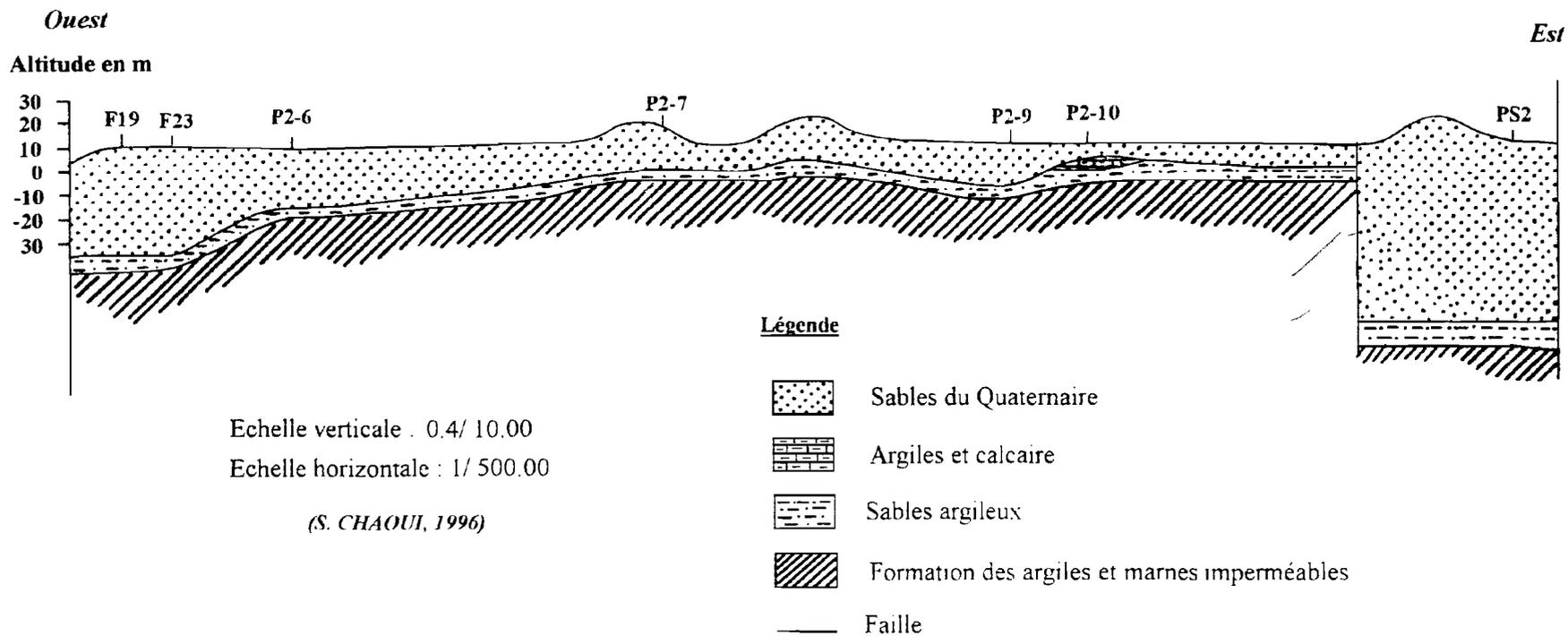


Fig.8 : Coupe hydrogéologique C4

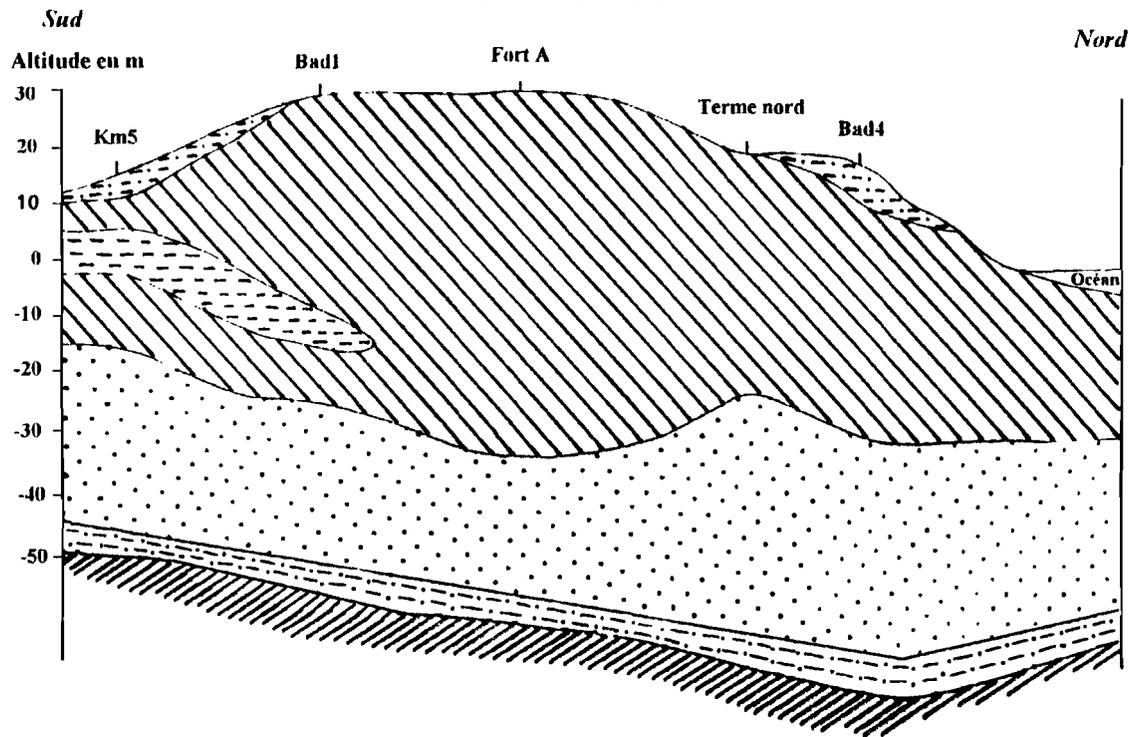
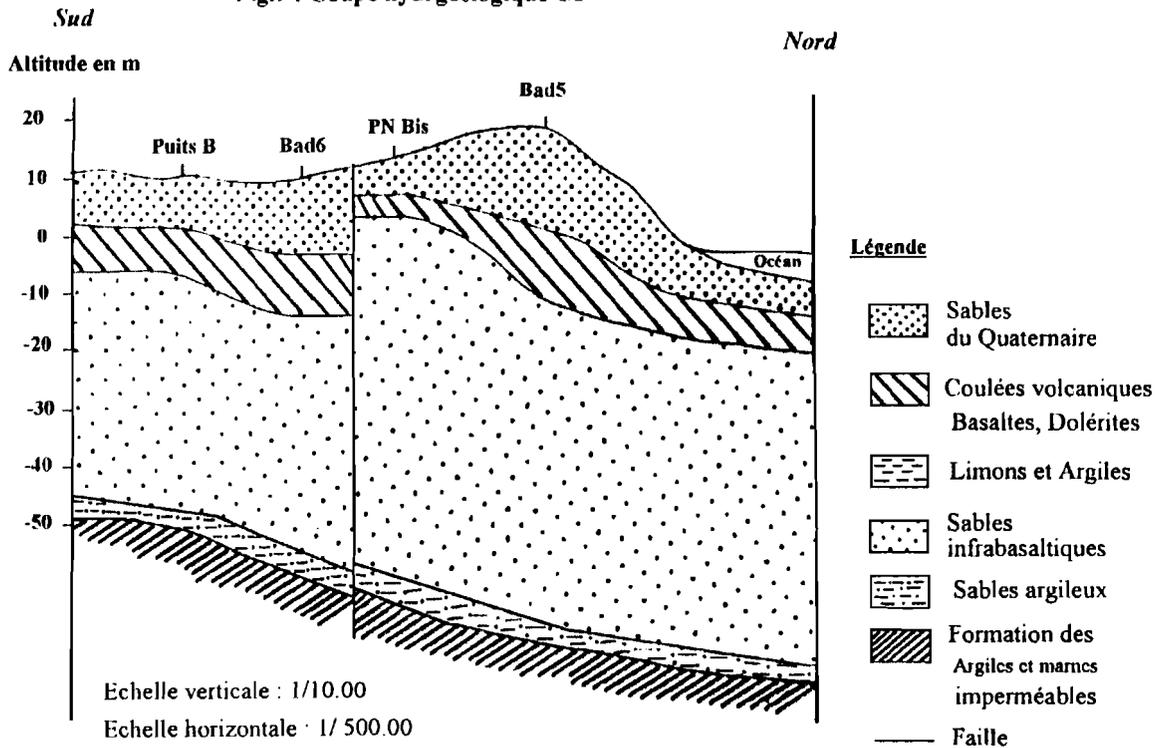


Fig.9 : Coupe hydrogéologique C5



**C2** : Elle est située au Nord de la coupe précédente et s'étend des mamelles à Guédiawaye (Fig.6) - son allure est similaire à la coupe C1 à l'exception des épaisseurs plus importantes à certains endroits de la nappe infrabasaltique, soit 60m au Terme sud et Bad5.

**C3** : Du champ de captage de Thiaroye à Beerhialane (Fig.7), la coupe met en évidence l'existence d'un seul aquifère, les sables dunaire du quaternaire, d'épaisseur variant entre 5m (P2-10) et 85m (PS2).

#### b- Coupes transversales d'orientation Nord-Sud

**C4** : Limitée de Fann à Yof (Fig.8), la couverture basaltique présente des épaisseurs variant entre 4m (Km5) et 64m (Fort A). La puissance des basaltes diminue progressivement lorsqu'on se dirige vers le sud. Au niveau de cette coupe les basaltes affleurent aux forages Bad1, Fort Aet Terme sud, de même que les sables suprabasaltiques forment une couche très mince au dessus des basaltes au niveau des piézomètres Km5 et Bad 4.

**C5** : Située de Hann à Cambérène et parallèle à la coupe C4 (Fig.9), elle met en exergue deux aquifères séparés par la couche des basaltes : la nappe infrabasaltique et la nappe suprabasaltique. Si l'on compare les coupes C4 et C5 on remarque que plus on se dirige vers l'Est et plus les basaltes tendent à disparaître.

### III. 3 L'inventaire et la reconnaissance des points d'eau

Deux campagnes piézométriques ont été réalisées par l'Université de Dakar (département de géologie) et le ministère de l'hydraulique/SGPRE, respectivement en mai 1995 (fin de saison sèche) et en décembre 1995 (fin de saison humide).

Certains piézomètres et puits ont fait l'objet d'un relevé piézométrique soit un réseau de sept piézomètres et quatre forages pour la nappe infrabasaltique (Tableau.1) et un réseau de 22 piézomètres, 6 puits et 4 forages pour la nappe de Thiaroye (Tableau.2). Dans les forages d'exploitation des nappes infrabasaltique et Thiaroye seul le niveau dynamique a été mesuré du fait que ces derniers fonctionnent en continu (Fig.4).

Tableau. 1 : Relevé piézométrique de la nappe infrabasaltique  
(décembre 1995)

Dossier de station					Piézométrie		
N°point	Type	Coordonnées en m			Niveau Statique (NS)	Niveau Dynamique (ND)	Niveau Piézométrique (NP)
		X	Y	Z			
Bad 1	PZ	233850	1627900	34	36,53		-2,53
Bad 2 H	PZ	230137	1630210	13,12	12,6		0,52
Bad 3H	PZ	231022	1632215	9,86	9,11		0,75
Bad 4H	PZ	232932	1632985	14	13,40		0,60
Bad 5H	PZ	235755	1633171	7,94	10,85		-2,91
Bad 6	PZ	237009	1630432	9,72	11,85		-2,13
Km 5	PZ	233945	1626323	17,73	15,61		2,12
Point M	F	234731	1631550	30		32,25	-2,25
Front terre	F	235706	1629705	15,75		23,44	-7,69
Camp pénal	F	234944	1630460	30,31		33,88	-3,57
Point N bis	F	236203	1631216	13,95		14,34	-0,39

Tableau. 2 : Relevé piézométrique de la nappe de Thiaroye  
(septembre 1995)

Dossier de station					Piézométrie		
N°point	Type	Coordonnées en m			NS	ND	NP
		X	Y	Z			
P 2-1	PZ	237885	1630675	13	6,38		6,62
P 2-2	PZ	238572	1632277	30	6,04		23,96
P 2-3	PZ	240734	1634358	15	14,65		0,35
P 2-4	PZ	240716	1634936	13	5,23		7,77
P 2-5	PZ	244188	1636225	169	7,19		8,81
P 2-6	PZ	247995	1633634	15	6,71		8,29
P 2-7	PZ	254126	1637630	21	8,51		12,85
P 2-8	PZ	255735	1639443	21	6,42		14,58
P 2-9	PZ	258811	1639985	5	5,49		-0,49
P 2-10	PZ	262563	1640448	5	9,75		-4,75
P 8	PZ	243200	1630950	2,58	1,31		1,27
P 215	P	272100	1643067	35,60	9,13		26,47
PS 3	PZ	272985	1643833	19,27	6,96		12,31
PS 4	PZ	273007	1645620	9,73	5,42		4,31
PS 5	PZ	271639	1645059	5,97	4,93		1,04
PS 6	PZ	272737	1646833	5,13	4,47		0,66
P 213	P	270596	1646910	7,64	7,20		0,44
PS 7	PZ	271390	1648793	29,21	2,48		26,73
P 234	P	271917	1650531	2,63	1,84		0,79
PS 14	PZ	268559	1646360	6,26	8,00		-1,74
P 232	P	268000	1645059	11,12	10,26		0,86
PO 2	P	266090	1642806	13,35	7,77		5,58
PS 114	P	261261	1635830	14,42	6,88		7,54
P 120	PZ	263843	1639627	7,79	8,46		-0,67
P 128	PZ	261271	1639760	5,11	8,77		-3,66
PS 8	PZ	267401	1637965	28,85	6,73		22,12
PS 11	PZ	268293	1642038	25,09	6,17		18,92
PS 10	PZ	268570	1640691	29,46	4,75		24,71
F 15	F	245402	1633884	8		9,11	-1,11
F 17	F	244026	1632893	5		5,16	-0,16
F 22	F	244077	1634232	10		2,70	7,3
F 19	F	244995	1634083	12		8,00	4

### III.4 La piézométrie

Le tracé des deux cartes piézométriques pour les deux nappes infrabasaltique et Thiaroye a été limité à la zone d'étude pour laquelle on possédait des mesures de niveaux statiques dans les puits, piézomètres et forages. Le but de l'établissement de la carte piézométrique est de représenter à une date donnée, la distribution spatiale des charges et potentiels hydrauliques ; les courbes isohypses permettent de définir les directions des écoulements souterrains. Les axes de drainage et le calcul du gradient hydraulique (paramètre important dans l'estimation des apports latéraux) mettent en évidence les éventuelles relations hydrauliques entre la nappe infrabasaltique et celle de Thiaroye.

#### III.4.1 Carte piézométrique de la nappe infrabasaltique

De l'observation générale de la carte piézométrique dans les sables infrabasaltique (Fig.10), il ressort que les courbes hydroisohypses sont circulaires, fermées et centrées essentiellement sur le forage Front terre où la cote du plan d'eau atteint -7m. L'écoulement souterrain est centripète sur la zone de regroupement des forages d'exploitation, ce qui permet de mettre en évidence l'influence de l'exploitation sur la piézométrie.

On note que la majorité de la surface piézométrique se situe à une cote inférieure à celle du niveau de la mer. Cette observation met en évidence les grands risques d'invasion saline notamment au niveau des piézomètres Bad5 et Bad6 où les cotes sont respectivement de -2,91m et de -2,13m. Par contre le niveau piézométrique élevé au niveau du point d'eau Km 5 (+2,12m) semble indiquer une bonne protection contre l'invasion d'eau salée.

Vers le Nord-Ouest les courbes isohypses sont assez espacées traduisant un gradient hydraulique faible d'où une bonne transmissivité. Vers le Sud-Est (secteur de Hann), il n'y a pas assez de données qui permettent d'apprécier davantage la piézométrie. A ce niveau l'infiltration des eaux de pluies est directe (limite des couches basaltiques).

Les principaux paramètres hydrodynamiques (transmissivité et coefficient d'emmagasinement) ont été déterminés sur certains forages par l'étude MH/OMS en 1972. Les résultats sont rapportés dans le tableau ci-dessous.

Tableau. 3 : Paramètres hydrodynamiques de la nappe infrabasaltique

Forages	Transmissivité en m <sup>2</sup> /s	Epaisseur de l'aquifère en m	Perméabilité en m/s	Coefficient d'emmagasinement
Cambéréne	9,4 10 <sup>-3</sup>	75	1,25 10 <sup>-4</sup>	1,5 %
Terme Sud	1,05 10 <sup>-2</sup>	65	1,60 10 <sup>-4</sup>	
Camp pénal	6,8 10 <sup>-3</sup>	50	1,35 10 <sup>-4</sup>	
Fort A	2,10 10 <sup>-3</sup>	28	0,72 10 <sup>-4</sup>	

Les valeurs de transmissivité varient entre  $1,05 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  et  $9,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  ; les valeurs les plus élevées se rencontrent essentiellement aux points Terme Sud et Cambérène.

La valeur du coefficient d'emmagasinement dans la partie en charge de la nappe a été estimée entre 1,25 % et 1,50 %. La porosité efficace a été évaluée à 13 % dans la partie libre de la nappe.

### III.4.2 Carte piézométrique de la nappe de Thiaroye

Au niveau du bassin de Thiaroye (Fig.11) les courbes isohypses se referment autour des forages F17 (- 0,16 m) et F15 (- 1,11 m) mettant ainsi en évidence le cône de rabattement dû à l'exploitation. Au Nord-Ouest, on observe un dôme d'alimentation centré au niveau du P2-2 (23,47 m) avec un écoulement respectivement vers l'Est (dépression de Cambère ne-Dagoudane-Pikine) et vers l'Ouest (nappe infrabasaltique). Plus à l'Est du champ de captage de Thiaroye jusqu'à Beerthialane l'écoulement se fait d'une manière générale du SE vers le NW, à partir d'une crête piézométrique de 26,47 m, en direction des "Niayes" où les eaux de la nappe disparaissent plus par évaporation que par écoulement dans la mer. Au Sud-Est du lac Retba les cotes piézométriques de la nappe sont en dessous du niveau de la mer, essentiellement aux points P2-9, P2-10, P128, P120 et PS 14 où l'on observe un creux piézométrique qui correspond probablement à l'exploitation des forages paysans destinés notamment à l'agriculture. En conséquence les piézomètres P2-9 et P2-10 risquent d'être contaminés par l'invasion saline du lac Retba.

Le tracé de la carte ne met pas en évidence la dépression piézométrique du champ de captage de Beerthialane auquel on pouvait s'attendre. Cette lacune est due à l'absence des mesures des niveaux statiques au niveau des forages d'exploitation.

Dans la zone de Kayar un dôme piézométrique subsiste de cote supérieur à 25 m, ainsi l'écoulement diverge vers le Nord et le Sud.

Dans l'ensemble les courbes isohypses sont espacées marquant ainsi un gradient hydraulique faible d'où une transmissivité élevée, seuls au niveau des deux dômes d'alimentation situés respectivement au NW et au NE où les courbes isohypses se resserent marquant un fort gradient hydraulique.

Les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère ont été également estimées par l'étude MH/OMS en 1972. Les valeurs de transmissivités sont comprises entre  $1,6 \cdot 10^{-3}$  et  $6,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Les valeurs les plus élevées se rencontrent à l'Est et au Sud du lac Retba. Dans le bassin de Thiaroye, la transmissivité est de l'ordre de  $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Les valeurs du coefficient d'emmagasinement sont comprises entre 0,3 % et 14 %.

### III.5 L'évolution de la piézométrie (1985-1995)

L'évolution de la piézométrie a été étudiée à travers les piézomètres de la nappe de Thiaroye et de la nappe infrabasaltique sur une période de 10 ans. Cette chronique a été choisie en raison des données disponibles. Elle n'est probablement pas représentative mais néanmoins, elle permettra d'avoir une meilleure approche sur les variations des niveaux piézométriques dans l'espace et dans le temps.

#### III. 5.1 La nappe infrabasaltique

L'évolution de la piézométrie dans la nappe infrabasaltique a été étudiée aussi bien pour les basses que pour les hautes eaux pendant la période 1985-1995. Seules les données pluviométriques de la station de Dakar-Yoff ont été prises en compte du fait que les mesures sont enregistrées en continu et sur une longue période.

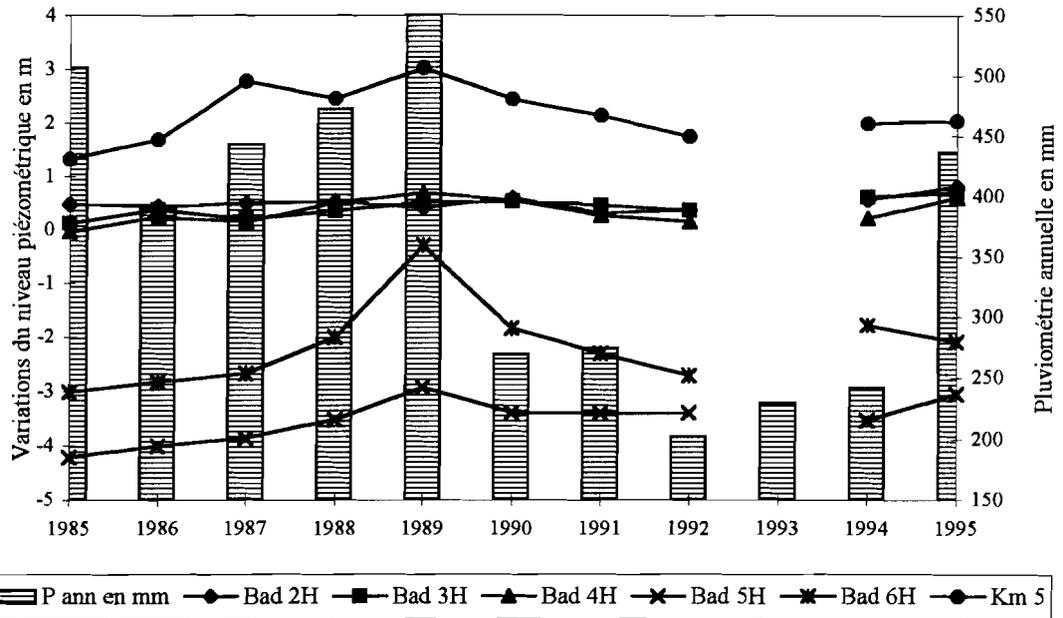
Tableau. 4 : Evolutions piézométriques de la nappes infrabasaltique période des hautes eaux septembre-octobre 1985-1995

Piézomètres	Altitude du plan d'eau en mètre										
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Bad 2H	0,48	0,43	0,49	0,53	0,41	0,59	0,32	0,36	/	0,57	0,81
Bad 3H	0,13	0,38	0,2	0,35	0,52	0,53	0,46	0,36	/	0,61	0,7
Bad 4H	-0,03	0,23	0,15	0,51	0,69	0,55	0,27	0,15	/	0,22	0,6
Bad 5H	-4,21	-4,01	-3,85	-3,52	-2,93	-3,39	-3,4	-3,39	/	-3,53	-3,04
Bad 6H	-3,01	-2,83	-2,67	-2,01	-0,29	-1,84	-2,3	-2,71	/	-1,78	-2,09
KM5	1,32	1,68	2,77	2,45	3,02	2,44	2,13	1,73	/	1,98	2,03
Pluviométrie en mm	507,1	389,8	443	473	549,9	269,3	274	201,7	229,6	241,9	435,9

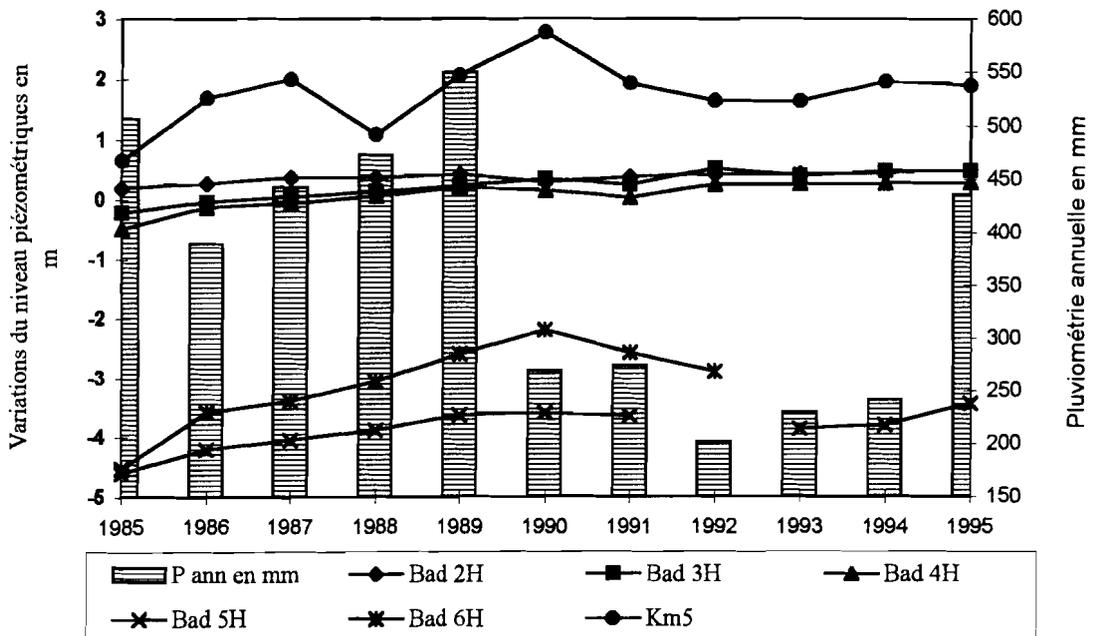
Tableau. 5 : Evolutions piézométriques de la nappes infrabasaltique période des basses eau juin 1985-1995

Piézomètres	Altitude du plan d'eau en mètre										
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Bad 2H	0,19	0,27	0,36	0,37	0,42	0,29	0,38	0,42	0,43	0,44	0,49
Bad 3H	-0,2	-0,04	0,05	0,13	0,23	0,34	0,25	0,52	0,4	0,47	0,47
Bad 4H	-0,5	-0,12	-0,06	0,06	0,21	0,15	0,04	0,25	0,26	0,27	0,28
Bad 5H	-4,6	-4,21	-4,05	-3,88	-3,62	-3,59	-3,7	/	-3,86	-3,8	-3,4
Bad 6H	-4,5	-3,58	-3,39	-3,06	-2,6	-2,19	-2,6	-2,9	/	/	/
KM5	0,65	1,68	1,99	1,08	2,06	2,78	1,92	1,63	-2,26	-1,96	-1,9
Pluviométrie en mm	507,1	389,8	443	473	549,9	269,3	274	201,7	229,6	241,9	435,9

**Fig.12 : Evolutions piézométriques de la nappe infrabasaltique période des hautes eaux Septembre-Octobre (1985-1995)**



**Fig.13 : Evolutions piézométriques de la nappe infrabasaltiques période des basses eaux juin (1985-1995)**



Remarque : Il s'agit uniquement des piézomètres du haut étant donné que certains piézomètres (Bad5 et Bad6) du bas étaient bouchés.

En période des hautes eaux (Fig.12) l'évolution du niveau de la nappe suit sensiblement les variations pluviométriques annuelles. D'une manière générale on observe une augmentation des niveaux de 1985 à 1989, suivi en moyenne d'une baisse des niveaux jusqu'en 1995.

L'observation des fluctuations au niveau de chaque piézomètre, permet de faire les remarques suivantes :

- Km 5 : les niveaux ont été plus élevés entre 1985 et 1989 puis plus bas de manière continue jusqu'en 1994. On note une légère augmentation du niveau entre 1994-1995.

- Bad 2H, Bad 3H et Bad 4H : pour ces trois piézomètres les fluctuations du niveau piézométrique sont très faibles d'une année à l'autre.

- Bad 5H et Bad 6H : Les deux piézomètres évoluent de manière identique, le niveau de l'eau augmente de 1985 à 1989 puis diminue de façon continue jusqu'à 1995.

La période des basses eaux (fig.13) est caractérisée par une amplitude plus faible, mais on observe les mêmes variations de niveaux que la période des hautes eaux.

A partir de ces observations, on constate que le niveau de la nappe infrabasaltique a considérablement baissé durant ces cinq dernières années. Les piézomètres Km5, Bad5H et Bad6H, montrent une baisse comprise entre 10 cm et 40 cm. Selon la SONEES la production est restée pratiquement constante durant cette période. Cette diminution semble être étroitement liée à la pluviométrie et à l'exploitation ; effectivement on remarque une baisse pluviométrique de 348 mm entre 1989 et 1992, puis une augmentation progressive jusqu'en 1995.

### III. 5.2 La nappe de Thiaroye

L'évolution de la piézométrie dans la nappe de Thiaroye a été étudiée pour la période des hautes eaux pendant la période 1985-1995. Les données pluviométriques ont été également prises à la station de Dakar-Yoff.

Tableau. 6 : Evolutions piézométriques de la nappe de Thiaroye période des hautes eaux septembre-octobre 1985-1994 ; 1994-1995

Piézomètres	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1994	1995
P2-1	/	/	6,46	6,5	7,57	6,9	6,73	6,35	6,62
P2-2	/	/	28,85	23,68	24,24	23,64	23,5	23,38	23,96
P2-3	/	/	0,05	-0,04	0,79	0,38	0,06	0,11	0,35
P2-4	/	/	7,53	7,96	7,8	7,38	7,43	7,38	7,77
P2-5	/	/	11,62	11,68	12,18	11,35	11,3	8,42	8,81
P2-6	/	/	8,27	8,2	9,48	9,18	8,79	7,93	8,29
P2-7	/	/	13,6	13,93	14,5	13,93	13,5	12,9	12,85
P2-8	/	/	15,15	15,34	16,17	15,73	15,4	14,62	14,58
P2-9	/	/	0,89	1,28	1,76	1,2	0,92	-0,5	-0,49
P2-10	/	/	9,73	9,93	10,62	10,19	9,76	0,53	-4,75
PS2	8,24	8	7,83	7,81	8,28	8,41	8,16	9,13	/
PS3 bis	13,4	13,22	13,08	13,05	13,1	13,13	12,68	12,65	12,31
PS4	5,31	5,54	5,11	5,18	5,55	5,52	4,63	4,2	4,31
PS5	1,29	1,35	1,78	1,77	2,04	1,87	1,42	1,16	1,04
PS6	1,49	1,54	1,56	1,6	1,89	1,61	1,38	0,88	0,66
PS8	21,78	21,74	22,28	22,17	24	23,7	23,22	22,13	22,12
PS10	23,8	24,16	24,6	25,15	25,7	23,53	25,17	24,99	24,71
PS11	18,59	18,75	19,09	19,14	19,7	19,69	19,56		18,92
PS13	-1,2	-1,12	-0,89	-1,02	-0,34	-0,32	-0,66		/
PS14	0,81	1,06	1,17	1,2	1,55	1,33	0,83	0,29	-1,74

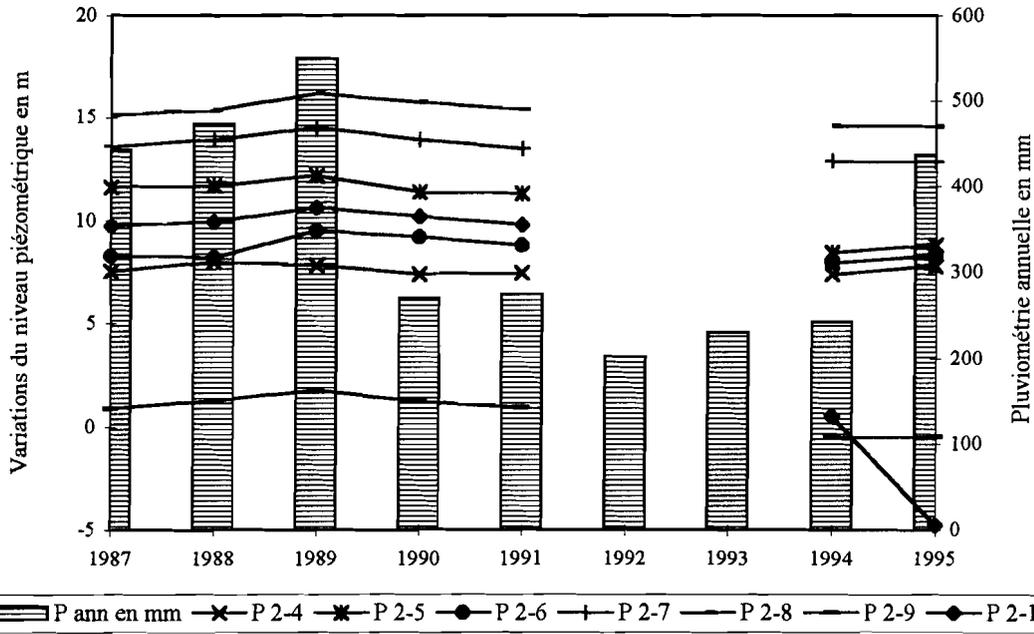
A l'Ouest et à l'Est du champ de captage de Thiaroye au niveau de chaque puits (P2-1,...et P2-8) on observe une stabilité des niveaux piézométriques. Pour les piézomètres P2-9 et P2-10 on note une baisse considérable de la cote du plan d'eau essentiellement pour le P2-10 soit de 9 m entre 1991 et 1994 et de 4 m entre 1994 et 1995. Cette baisse pourrait s'expliquer par la surexploitation de la nappe dans cette zone par les puits paysans (Fig.14).

D'une manière générale, on note des niveaux élevés de la nappe dans tous les piézomètres en octobre 1989 (pluviométrie élevée), puis des niveaux progressivement plus bas jusqu'en 1994. En raison de l'importance de la pluviométrie pendant l'année 1995 (435,9 mm), les niveaux ont augmentés d'environ 40 cm aux piézomètres P2-4, P2-5 et de 60 cm au piézomètre P 2-2.

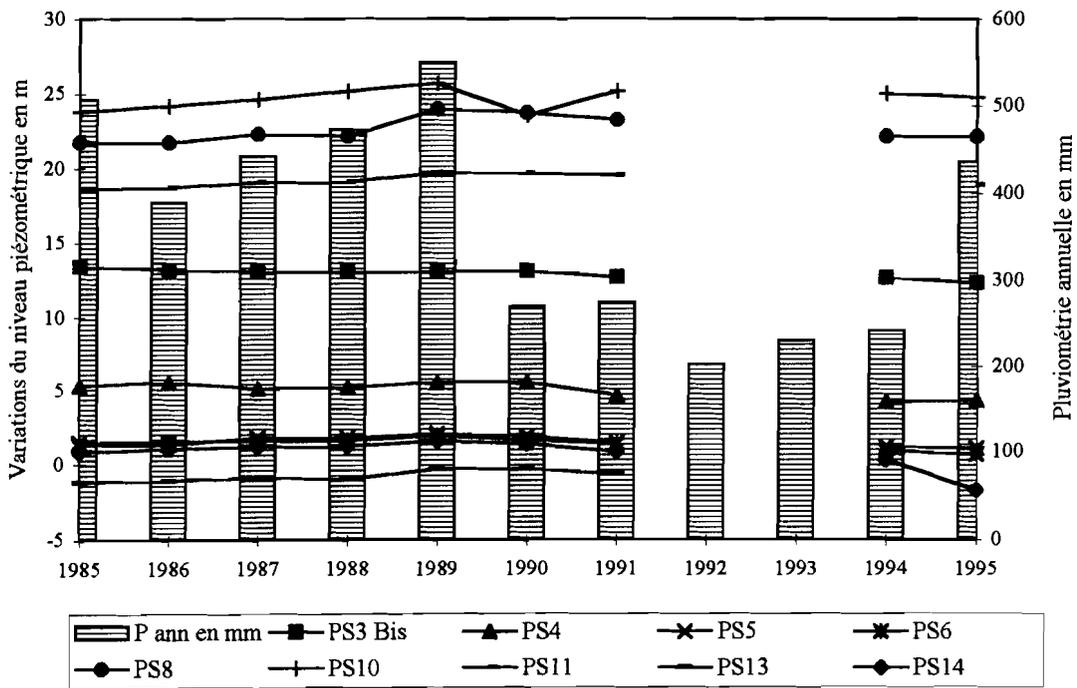
Par ailleurs on remarque une différence de cote importante d'environ 7m entre les piézomètres P2-3 (proche de 0 m) et P2-4 (7 m) proches l'un de l'autre. Cette différence est explicable car le P2-3 est situé vraisemblablement sur un drain (voir Fig.11).

**Fig.14 : Evolutions piézométriques de la nappe de Thiaroye**

a-période des hautes eaux : septembre-octobre(1987-1995)



b- période des hautes eaux septembre-octobre (1985-1995)



Les mêmes observations ont été faites pour les piézomètres situés à l'Ouest et l'Est du champ de captage de Beerthialane. Dans cette zone, le seul piézomètre dont la cote est inférieure au niveau de la mer est le PS 13. Pour ce dernier les risques de contamination par la mer restent probables. Son niveau a augmenté pendant l'année 1989 de 0,70 cm. Un niveau relativement bas de 1,45 m a été enregistré entre 1994 et 1995 au piézomètre PS 14 situé au Nord-Est du champ de captage. On observe une diminution durant ces cinq dernières années essentiellement aux PS 10, PS 11 et PS14. Cette diminution depuis 89 pourrait s'expliquer par l'urbanisation croissante qui tend à rendre imperméable les surfaces d'infiltration. Pour des raisons logistiques, il n'y a pas eu de mesure de niveau de la nappe sur le terrain en 1992 et en 1993.

### III.6 L'évolution des prélèvements dans les champs de captage de la nappe infrabasaltique, Thiaroye et Beerthialane (1985-1995)

#### III.6.1 Le champ de captage de la nappe infrabasaltique

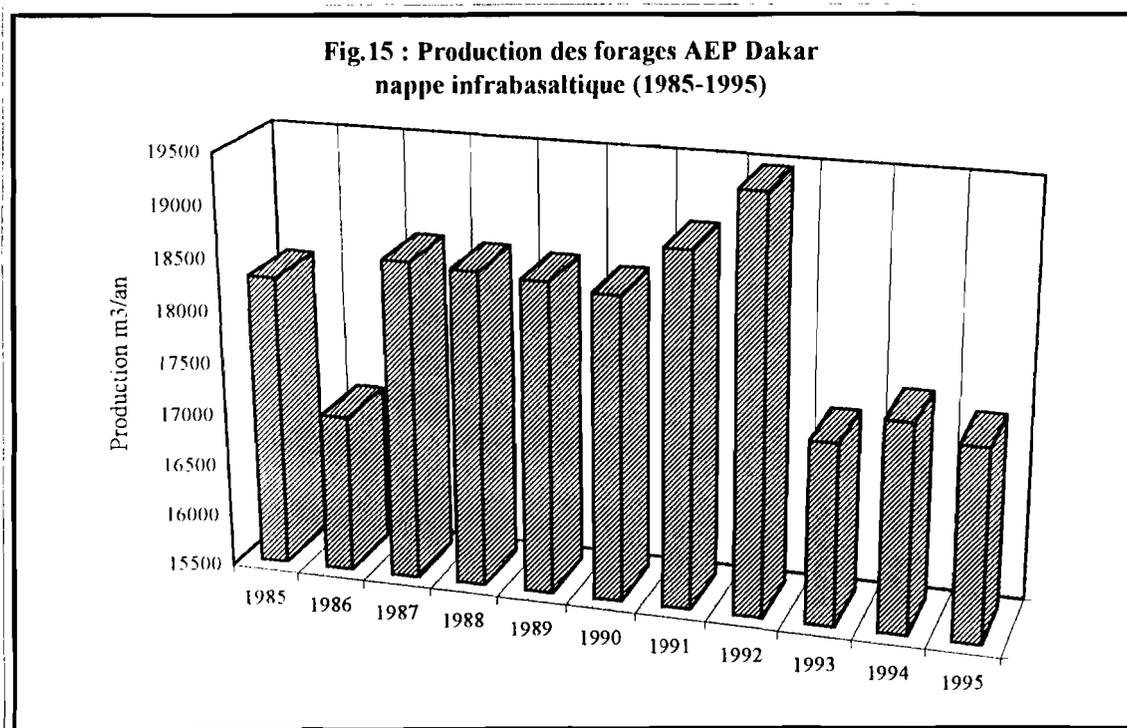
La nappe infrabasaltique a été découverte en 1925, lors d'un forage qui a décelé la présence de sables aquifères sous les épanchements volcaniques recouvrant l'ensemble de la presqu'île du Cap-Vert. Depuis cette date les volumes prélevés ont augmenté de manière progressive.

Périodes	1925-39	1939-46	1946-59	1959-78
Volumes exploités m <sup>3</sup> /j	3000	12000	24000	18000

Depuis 1978 le débit d'exploitation moyen annuel de la nappe est maintenu à 18000 m<sup>3</sup>/an, avec certaines variations dues à des pannes d'électricité ou à des incidents mécaniques dans les forages d'exploitations. Les données ont été fournies par la SONEES (Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal). Selon cette dernière une stabilisation des niveaux a été enregistrée traduisant un équilibre entre les apports et les prélèvements.

Tableau. 7 : Production des forages de la nappe infrabasaltique AEP Dakar (1985-1995)

Débits en m <sup>3</sup> /j											
Forages	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Front T					2395	2722	2659	2766	2543	2758	
Autoroute					1869	1891	2279	2517	1713	1901	
Point N bis					2262	2273	2348	2276	2309	2135	
Point M					2397	2711	2563	2735	2297	2640	
Fort A					2114	2094	2003	1966	1425	1074	
Camp pénal					2073	1841	1705	1828	1743	1754	
Terme nord					2175	1905	2191	2354	2397	2289	
Terme sud					3202	2982	3143	3023	2832	2964	
Total	18297	17012	18562	18525	18488	18419	18890	19465	17258	17515	17127



Les prélèvements sont restés assez constants entre 1985 et 1990. Pendant cette période, le niveau de la nappe augmentait progressivement à cause d'une pluviométrie croissante jusqu'en 1989. On note une augmentation de la production pendant les années 1991 et 1992. En effet le niveau piézométrique a baissé pendant ces années là. Au delà de 1992 la production a relativement baissé d'environ 2000 m<sup>3</sup>/an entraînant une légère augmentation du niveau de la nappe (Fig.15).

### III.6.2 Le champ de captage de la nappe de Thiaroye et Beerthialane

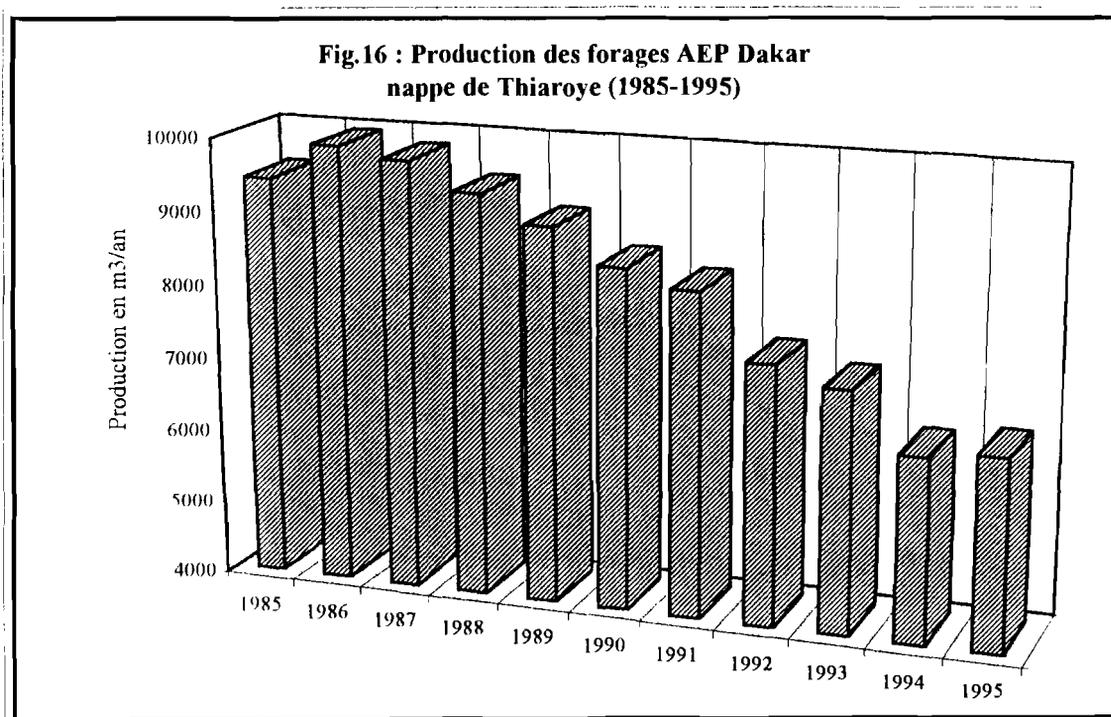
La nappe des sables quaternaires est principalement exploitée dans le bassin de Thiaroye pour l'AEP de Dakar et dans la zone de Beerthialane pour l'irrigation et les appoints temporaires pour l'AEP de Dakar. La nappe est également exploitée par les puits et forages paysans à usage agricole et pour l'AEP de population locale.

#### \* Champ de captage de la nappe de Thiaroye

L'exploitation de la nappe de Thiaroye remonte à 1952. Les débits d'exhaures moyens étaient de 15000 m<sup>3</sup>/j de 1952 à 1959 et de 12000 m<sup>3</sup>/j de 1959 à 1967. En octobre 1959, l'exploitation a été suspendue suite à une baisse considérable du niveau piézométrique ainsi qu'aux risques de contamination par l'océan. Elle a été mise en service à la fin de l'année 1961 avec un débit compris entre 11000 m<sup>3</sup>/j à 12000 m<sup>3</sup>/j.

Tableau. 8 : Production des forages de la nappe de Thiaroye  
AEP Dakar (1985-1995)

		Débits en m <sup>3</sup> /j									
Forages	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
F 17					2715	2717	2716	2441	2118	1906	
F 18					1403	1451	1315	1172	770	681	
F 15					520	630	/	/	660	332	
F 19					2533	2185	/	/	1956	2061	
F 21					675	679	3876	3444	931	889	
F 22					450	367	/	/	815	603	
F 1					755	556	460	441	5	/	/
Total	9442	9931	9794	9422	9050	8587	8366	7498	7255	6471	6564



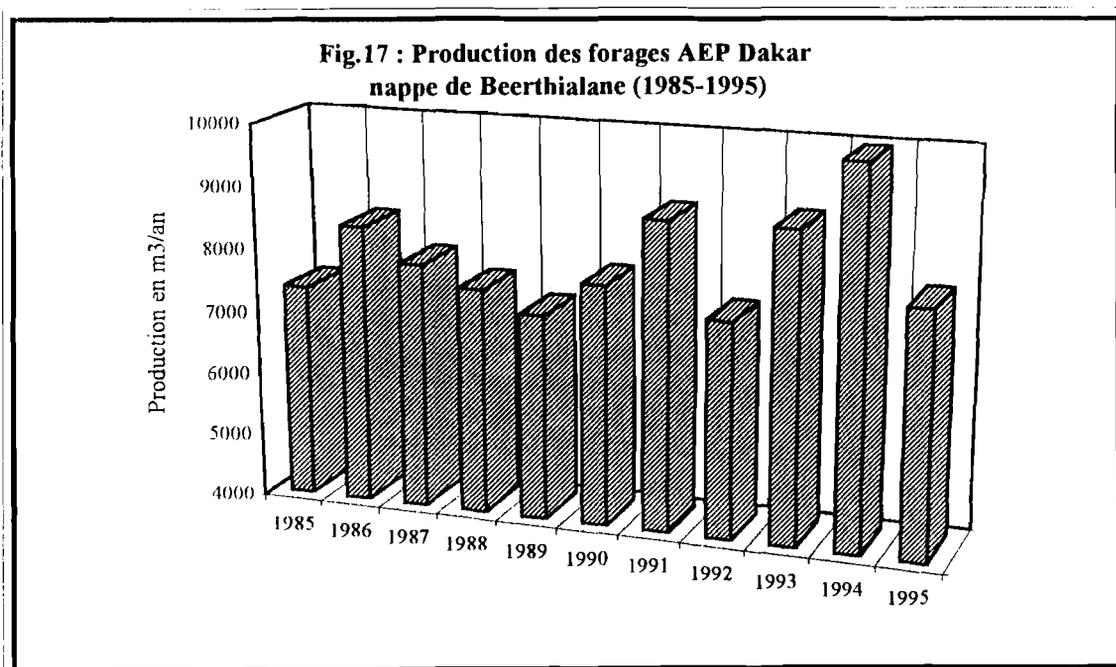
Les débits d'exploitation étaient compris entre 9000 m<sup>3</sup>/j et 10000 m<sup>3</sup>/j en moyenne de 1985 à 1989. Au delà les débits ont considérablement baissé jusqu'à atteindre 6471 m<sup>3</sup>/j en 1994 et 6564 m<sup>3</sup>/j en 1995, ce qui représente une diminution de moitié par rapport aux années précédentes. Selon la SONEES l'arrêt du forage F1 ainsi que le colmatage de nombreuses crépines par les bactéries ferrugineuses ont largement contribué à cette baisse des débits d'exploitation (Fig.16).

\* champ de captage au niveau de Beerthialane

L'exploitation des débits dans la zone de Beerthialane est essentiellement destinée à l'agriculture car la qualité de l'eau (agressive et colorée) ne permet pas son utilisation pour l'alimentation en eau potable de la population sans traitement.

Tableau. 9: Production des forages de Beerthialane (1985-1995)

		Débits en m <sup>3</sup> /j									
Forages	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
F 1					1533	2064	1430	875	/	1502	
F 2					1733	2281	2846	3371	3232	2792	
F 3					1422	1113	1070	1188	1227	1108	
F 4					2337	2344	3518	1985	4416	4540	
Total	7375	8413	7883	7568	7253	7802	8865	7418	8876	9942	7872



Les débits d'exhaures entre 1985 et 1989 étaient compris entre 7000 m<sup>3</sup>/j et 8000 m<sup>3</sup>/j (Fig.17), depuis 1989 on constate une augmentation progressive des prélèvements essentiellement en 1994 (9942 m<sup>3</sup>/j).

### III.7 Conclusion à l'étude hydrogéologique

L'étude hydrogéologique nous a permis de mettre en évidence la géométrie des aquifères de la nappe infrabasaltique et de celle de Thiaroye, ainsi que le sens des écoulements souterrains. L'évolution de la piézométrie durant ces dix dernières années a montré une baisse des niveaux des nappes surtout durant les cinq dernières années. Sachant que les prélèvements sont restés pratiquement constants, ces diminutions sont essentiellement liées à la pluviométrie qui a considérablement baissé depuis 1989.

#### IV. Etude hydrochimique des nappes infrabasaltique et Thiaroye

L'étude hydrochimique des nappes infrabasaltique et Thiaroye permet d'apprécier la qualité chimique des eaux souterraines, leur potabilité et de détecter les éventuelles sources de pollution. Pour réaliser cette étude, 14 prélèvements de la nappe infrabasaltique et 10 prélèvements de la nappe de Thiaroye ont été analysés. Les données ont été collectées à partir des piézomètres et des forages en mai 1995 (période des basses eaux) et en décembre (période des hautes eaux) de la même année.

Les paramètres physico-chimiques (température, conductivité et pH) ont été mesurés sur le terrain. L'analyse chimique des éléments suivants a été effectuée au laboratoire d'hydrochimie du département de géologie.

- \* cations majeurs :  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ;
- \* anions majeurs :  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $NO_3^-$ ;
- \* éléments mineurs : B, Fe.

Les analyses isotopiques ( $O^{18}$ ,  $H^2$ , T,  $C_{14}$  et  $C_{13}$ ) ont été effectuées au Laboratoire d'Hydrologie Isotopique de l'AIEA (Agence Internationale pour l'Energie Atomique) à Vienne.

##### IV. 1 Les paramètres physico-chimiques

La température, la conductivité et le pH ont été mesurés sur le terrain pendant les deux campagnes de prélèvement aussi bien pour la nappe infrabasaltique que pour la nappe Thiaroye.

##### IV.1.1 La nappe infrabasaltique

Le tableau ci-dessous donne les paramètres physico-chimiques de la nappe infrabasaltique mesurés sur le terrain pendant les deux campagnes de prélèvements.

Tableau. 10 : Les paramètres physico-chimiques de la nappe infrabasaltique (mai et décembre 1995)

N° du points d'eau	mai 1995			déc 1995		
	Temp °C	Cond µS/cm	pH	Temp °C	Cond µS/cm	pH
Bad1	30,5	910	9,47	27,7	740	9,20
Bad2H(haut)	30,1	1740	6,50	28,4	2400	6,04
Bad2B (bas)	30,2	2870	6,72	28,5	3120	6,85
Bad3H(haut)	30,4	3750	7,10	29,6	4060	7,60
Bad3B(bas)	30,5	4680	6,79	29,8	3370	6,60
Bad4H(haut)	30,8	1310	6,38	29,3	770	6,90
Bad4B(bas)	29,7	1020	6,72	30,6	860	/
Bad5H(haut)	30,2	670	6,52	29,5	610	6,75
Bad6	29,7	290	5,51	30,4	240	5,77
Front T	30,1	872	5,78	27,2	840	6,45
Autoroute	/	/	/	29	470	5,70
Point N bis	32,9	1600	5,75	29,7	1450	5,53
Point M	31,7	553	6,2	28,6	450	6,07
Camp pénal	31,8	687	6,28	29,3	590	6,16

#### a- Température

Lors de la première campagne, la température la plus basse (29,7 °C) a été enregistrée aux points Bad4B et Bad6 ; et la plus élevée (32,9 °C), au point PN bis. Pour la deuxième campagne, les températures ont été légèrement plus basses. Elles variaient entre 27,2 °C au Front T et 30,6 °C au point Bad4B.

#### b- La conductivité

La conductivité permet une estimation de la minéralisation globale des eaux. Les valeurs obtenues varient entre 290 µS/cm (Bad6) et 4680 µS/cm (Bad3B) à la première campagne et entre 240 µS/cm (Bad6) et 4060 µS/cm (Bad3B) à la deuxième campagne. La majorité des eaux ont une conductivité faible variant entre 250 et 1000 µS/cm.

Les valeurs les plus élevées (supérieures à 1000µS/cm) ont été observées dans les piézomètres Bad3H, Bad3B, Bad2H, Bad2B, et PN bis. L'accroissement de cette minéralisation est essentiellement localisée sur le pourtour du littoral et au niveau du champ de captage. Ces piézomètres sont probablement influencés par les eaux marines très proches.

Pour évaluer spatialement la minéralisation globale des eaux souterraines, une carte d'isoconductivité a été établie (Fig.19). L'examen de la carte montre que les valeurs de la conductivité augmentent progressivement du Sud-Est vers le Nord-Ouest. Lorsqu'on se rapproche du littoral les valeurs sont plus élevées traduisant une forte minéralisation des eaux aux extrémités ouest de l'aquifère. Ceci montre bien les risques de contamination de la nappe par l'eau de mer, essentiellement au niveau du forage PN bis. Cependant on note des conductivités plus faibles au niveau des piézomètres Bad5 et Bad6, témoignant ainsi une protection de la nappe vis-à-vis des eaux marines dans cette zone.

### c- Le pH

Par définition, le pH est le cologarithme ou l'inverse du logarithme de la concentration en H<sup>+</sup>. Les valeurs enregistrées du pH variaient entre 5,53 (PN bis) et 9,47 (Bad1). L'origine de l'acidité des eaux souterraines est due à l'alimentation de la nappe par les sables du quaternaire. Le pH du point Bad1 est supérieur à 7, cette basicité peut s'expliquer par le lessivage des eaux des formations basaltiques.

#### IV.1.2 La nappe de Thiaroye

Le tableau ci-dessous donne les paramètres physico-chimique de la nappe de Thiaroye mesurées sur le terrain pendant les campagnes de mai 1995 et de décembre de la même année.

Tableau. 11 : Les paramètres physico-chimiques de la nappe de Thiaroye, campagnes de mai et décembre 1995

N° du points d'eau	mai 1995			déc 1995		
	Temp °C	Cond µS/cm	pH	Temp °C	Cond µS/cm	pH
P 2-2	29,2	590	8,83	27,1	580	9,33
P 2-4	31,1	650	9,6	29,6	560	8,74
P 3-1	30,1	410	7,89	27,4	330	8,01
P 3-3	30,7	440	5,90	28	380	6,38
F 15	32	1300	5,56	28,5	1090	5,5
F 17	30,1	1010	4,89	28,2	147	4,33
F18	30,7	1240	4,79	28,1	1120	4,87
F 19	30,6	1540	4,53	29,6	1440	4,72
F 21	30,4	1380	5	28,6	1280	4,5
F 22	30,8	1700	4,65	29,5	1550	4,49

#### a- La température

Les températures variaient entre 29.2 °C et 32 °C à la première campagne et entre 27.1 °C et 29.6 °C à la deuxième campagne, soit une légère diminution lors de cette dernière. Les valeurs les plus élevées sont observées au forage F15 et au piézomètre P2-4.

#### b- La conductivité

Les valeurs de conductivité variaient entre 590  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 1700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à la première campagne et entre 580  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 1550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à la deuxième campagne. On remarque une diminution qui est due à la dilution des eaux pendant la saison des pluies. Au niveau du champ de captage de Thiaroye la minéralisation est supérieure à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$  ce qui est probablement dû au lessivage des terrains conformément à la circulation des eaux souterraines. La minéralisation augmente ainsi dans le même sens que l'écoulement souterrain ce qui montre un risque de contamination des forages par le biseau salé.

On observe une évolution de la pollution saline qui se fait en direction du champ de captage de Thiaroye. L'étude de la variation des teneurs en chlorures permettra de faire ressortir davantage ce problème. Sur les piézomètres situés à l'Ouest et au Nord-Ouest du champ captant (P2-2 et P2-4) les valeurs des conductivités sont plutôt faibles, ce qui indique à priori que les eaux ne sont pas contaminées par la mer.

#### c- Le pH

Dans l'ensemble les eaux de la nappe de Thiaroye ont un pH acide variant entre 4,33 et 6,38, à l'exception des piézomètres P2-2, P2-4 et P3-1 où l'on observe une basicité des eaux.

### IV.2 La pollution des eaux souterraines

L'analyse des données permet de déterminer les pôles et l'origine de la pollution saline et anthropique des nappes infrabasaltique et Thiaroye. Les normes fixées par l'OMS pour qualifier une eau potable ont été utilisées comme référence (200 mg/l pour les chlorures et 50 mg/l pour les nitrates).

#### IV.2.1 Les chlorures

##### IV.2.1.1 La nappe infrabasaltique

Le tableau 12 donne la répartition des valeurs en chlorures en périodes de basses eaux et hautes eaux.

Tableaux. 12 : Répartition de la teneur en chlorures de la nappe infrabasaltique, campagnes mai et décembre 1995

N° point d'eau	Chlorures en mg/l	
	(mai 95)	(déc 95)
Bad1	204,7	143,5
Bad2H	484,8	580,4
Bad2B	261,3	368,4
Bad3H	1049,8	810,4
Bad3B	807,9	988,2
Bad4H	113,3	93
Bad4B	139,8	89,6
Bad5H	107,1	96,2
Bad6H	38,5	43,4
C.Pénal	92,7	80
Point M	66,7	65,9
Fr.Terre	123,14	106,2
Point N Bis	303,1	355,1
Autoroute	/	82,3

Les valeurs sont comprises entre 38.5 mg/l et 1049.8 mg/l pour la première campagne et entre 43.4 mg/l et 988.2 mg/l pour le deuxième campagne. Dans l'ensemble les teneurs ont plus ou moins baissé au niveau de certains piézomètres pendant la deuxième campagne ; ceci s'explique par le fait qu'il y a eu dilution des eaux pendant l'hivernage.

Pour déceler une éventuelle invasion du biseau salé dans la nappe infrabasaltique, une carte d'isochlorure a été établie (Fig.20). Il ressort de l'examen de la carte que sur la zone d'exploitation des forages les teneurs en chlorures sont inférieures à 100 mg/l excepté pour le forage PN Bis où la teneur est très élevée. L'éloignement des forages de l'océan fait qu'ils sont pour l'instant à l'abri à condition que les débits d'exploitation soit maintenus.

L'augmentation des chlorures se fait suivant un axe d'orientation SE-NW. Les valeurs les plus élevées sont observées au Bad2 et Bad3, ce qui traduit une progression de l'intrusion marine sur les limites de la nappe. Si l'on compare ces résultats avec ceux de la conductivité (Fig.19) on observe une corrélation assez nette entre les deux cartes.

#### IV.2.1.2 La nappe de Thiaroye

Le tableau suivant donne les résultats des valeurs en chlorures en périodes de basses et hautes eaux.

Tableaux. 14 : Répartition de la teneur en chlorures de la nappe de Thiaroye campagne mai et décembre 1995.

N° point d'eau	Chlorures en mg/l	
	mai 1995	décembre 1995
P2-2	146,5	118,3
P2-4	145,4	115,5
P3-1	26,8	47,6
P3-3	83,6	65,4
F15	142,2	116,3
F17	198	199,8
F18	179,8	164,0
F19	181,3	178,3
F21	169,9	172,5
F22	203,7	195,3

Il n'y a pas eu assez de prélèvements sur l'ensemble de la nappe permettant d'avoir une idée globale sur l'évolution des chlorures dans l'aquifère. Toutefois, on remarque pour les deux campagnes, qu'au niveau du champ de captage de Thiaroye les teneurs en chlorures sont inférieures à la norme limite, à l'exception du forage F22 où la teneur est légèrement élevée. Apparemment, on ne décèle pas une invasion saline au niveau du champ de captage, mais la pollution saline risque de se faire ressentir si les débits d'exploitation venaient à augmenter. Au Nord-ouest et au Sud du champ captant les teneurs sont nettement inférieures à 150 mg/l, d'où une protection contre la pollution au niveau des limites de la nappe.

#### IV.2.2 Les nitrates

Dans les nappes de la presqu'île du Cap-Vert (infrabasaltique et Thiaroye), de nombreux problèmes de pollution anthropique se posent à la suite de l'évolution démographique. L'emploi excessif des fosses septiques non étanches et non réglementées, ainsi que le déversement incontrôlé des eaux usées dans le milieu récepteur, augmentent considérablement les risques de pollution des nappes par les nitrates.

#### IV.2.2.1 La nappe infrabasaltique

La nappe infrabasaltique est une nappe peu profonde qui se trouve à l'état captif vers l'Ouest et devient libre en se dirigeant vers l'Est. Cependant la nappe peut être vulnérable à une contamination venant de la surface essentiellement vers l'Est.

Le tableau suivant montre les résultats des valeurs des nitrates en périodes de basses et hautes eaux.

Tableaux. 15 : Répartition des teneurs en nitrates de la nappe infrabasaltique campagne mai et décembre 1995

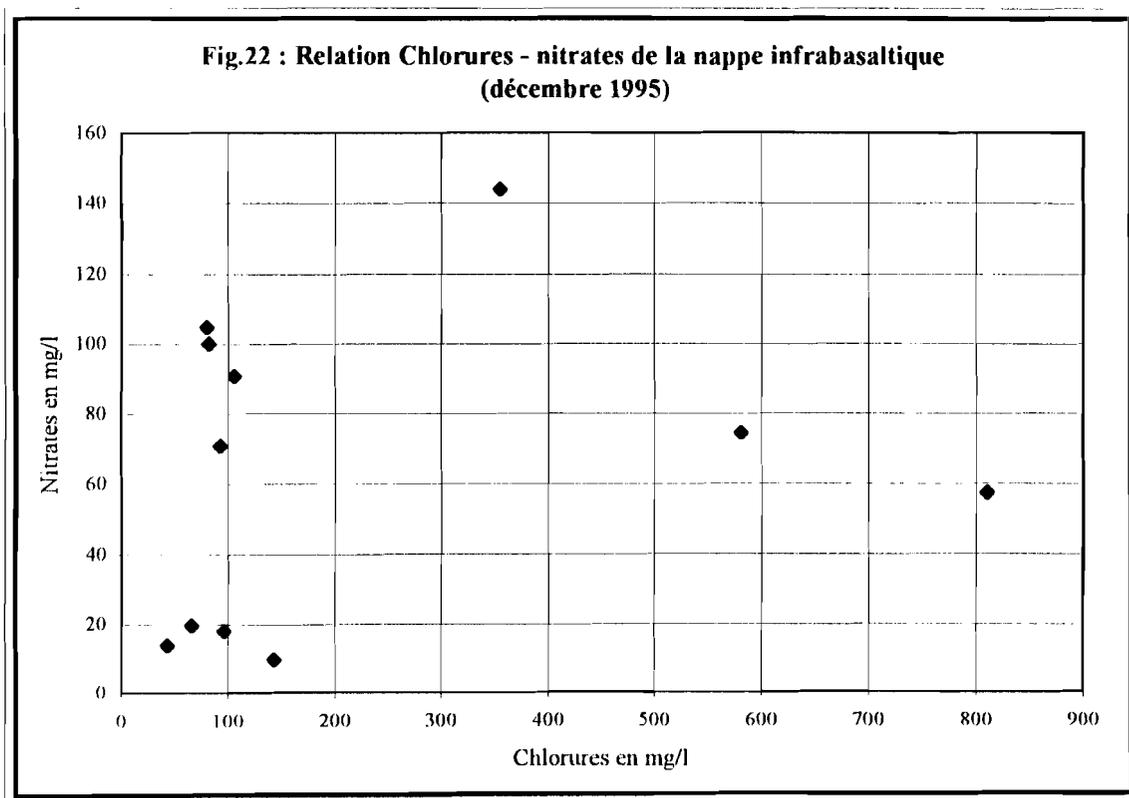
N° point d'eau	Nitrates en mg/l	
	mai 1995	décembre 1995
Bad1	13,4	9,5
Bad2H	71,9	106
Bad2B	31,0	74,3
Bad3H	103,8	56,9
Bad3B	71,5	57,3
Bad4H	96,2	40,7
Bad4B	69,5	70,5
Bad5H	8,7	18
Bad6H	16,7	13,7
C.Pénal	15,3	105
Point M	18,5	19,5
Fr.Terre	107,7	90,7
Point N Bis	129,7	144
Autoroute	/	100

Les teneurs en nitrates varient entre 8,5 mg/l et 129,7 mg/l pour la première campagne et entre 9,5 mg/l et 144 mg/l pour la deuxième campagne. Sept ouvrages (Bad2, Bad3, Bad4, C pénal, Fr Terre, PN Bis et autoroute) ont des teneurs supérieures à la norme admissible (50 mg/l).

L'examen de la carte (Fig.21) montre que les teneurs les plus élevées sont essentiellement localisées dans le champ de captage (Camp pénal, PN bis, Fr Terre et Autoroute) et au NW au niveau du Bad2, Bad3 et Bad4. L'augmentation des nitrates se fait suivant un axe d'orientation NW-SE, notamment dans la zone Est où la nappe est libre. Dans l'ensemble les eaux de la nappe présentent sur une grande partie des concentrations en nitrates assez élevées.

On remarque que malgré la couverture des basaltes la qualité des eaux de la nappe infrabasaltique est considérée comme médiocre. L'utilisation de ces eaux est donc préjudiciable pour l'alimentation en eau potable.

La fig.22 montre une tendance vers le pôle des nitrates, ce qui témoigne bien que ces fortes valeurs proviennent notamment de la pollution anthropique engendrée par les latrines et les fosses septiques qui ne sont pas étanches.



#### IV.2.2.2 La nappe de Thiaroye

Libre sur toute sa surface, la nappe de Thiaroye est beaucoup plus exposée à la pollution par les nitrates que la nappe infrabasaltique.

Le tableau suivant montre les valeurs en nitrates en périodes de basses et hautes eaux.

Tableaux. 16 : Répartition des teneurs en nitrates de la nappe de Thiaroye  
campagnes de mai et décembre 1995

N° point d'eau	nitrates en mg/l	
	mai 1995	décembre 1995
P2-2	12,9	9,5
P2-4	34,4	0
P3-1	10,8	10,4
P3-3	28,5	23,9
F15	259,9	168,51
F17	271,4	269,05
F18	202,3	183,31
F19	300,2	292,05
F21	297,5	297,14
F22	293,2	288,59

Les résultats montrent que les teneurs en nitrates sont extrêmement élevées au niveau du champ de captage de Thiaroye. Elles varient entre 202,3 mg/l et 300 mg/l à la première campagne et entre 168,5 mg/l et 297 mg/l à la deuxième campagne.

Les valeurs de la deuxième campagne ont nettement diminué par rapport à la première campagne. Ceci est dû probablement à la dilution des eaux par les eaux de pluie pendant la saison de l'hivernage.

Le mode d'élimination des déchets à Thiaroye est très rudimentaire, 5% de la population utilise les sites d'enfouissement pour les ordures ménagères, 95 % de la population déversent les eaux usées au sol et seulement 15 % creusent des trous. 20 % creusent des trous pour les fosses septiques et 40 % utilisent les puits perdus. Les latrines ne sont pas étanches.

Toutes ces conditions d'élimination des déchets très précaires, la forte concentration de la population dans la zone de Pikine, ainsi que la décharge de Mbeubeuse font augmenter d'une manière irréversible les risques de pollution de la nappe par les nitrates.

### IV.3 Conclusion à l'étude hydrochimique

Dans l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la nappe infrabasaltique et de la nappe de Thiaroye, l'analyse a porté sur les teneurs en chlorures et en nitrates. Ces paramètres permettent de déceler une éventuelle pollution saline et anthropique.

Les résultats des analyses des chlorures montrent que l'invasion saline se fait sentir surtout aux limites de la nappe infrabasaltique. Par contre les teneurs restent acceptables pour la nappe de Thiaroye à l'exception du forage F22 où la teneur est plus élevée.

Les concentrations en nitrates montrent une pollution très importante au niveau des champs de captage aussi bien pour la nappe infrabasaltique que pour la nappe de Thiaroye.

En conséquence, pour limiter la contamination des nappes, on pourrait installer des périmètres de protection immédiats autour des ouvrages de captage destinés à l'AEP. Il serait également nécessaire de réduire l'avancée du biseau salé dans la nappe infrabasaltique en évitant la surexploitation de l'aquifère.

## V. Conclusion générale

Situées dans la presqu'île du Cap-Vert les nappes infrabasaltique et Thiaroye, sont formées essentiellement de sables quaternaires, elles constituent de bons réservoirs d'eau. L'interprétation des coupes hydrogéologiques montre l'existence de deux aquifères, l'un captif emprisonné sous les basaltes situé à l'Ouest (nappe infrabasaltique) et l'autre libre situé plus à l'Est (nappe de Thiaroye). La communication des deux aquifères se fait notamment à l'Est où les basaltes se biseautent, c'est la zone d'alimentation préférentielle de la nappe infrabasaltique.

La carte piézométrique de la nappe infrabasaltique établie en période de hautes eaux (décembre 1995) fait ressortir d'une part un écoulement centripète sur la zone de regroupement des forages d'exploitation et d'autre part les grands risques d'invasion saline. Le tracé de la carte piézométrique de la nappe de Thiaroye (septembre 1995) a mis en évidence un écoulement qui se fait d'une manière générale du Sud-Est vers le Nord-Ouest. La contamination de certains piézomètres (P2-9, P128 et P2-10) par les eaux salines peut vraisemblablement se faire par le biais du lac Retba.

L'évolution de la piézométrie a montré une baisse des niveaux d'eau pendant ces cinq dernières années. Sachant que les productions des deux nappes sont restées plus ou moins constantes, la diminution est essentiellement liée à la pluviométrie qui a considérablement baissé depuis 1989.

L'analyse hydrochimique des chlorures et des nitrates des eaux souterraines des deux nappes a conduit aux résultats suivants :

- \* la teneur en chlorures reste acceptable au niveau de la nappe de Thiaroye et élevée aux limites de la nappe infrabasaltique ;
- \* la concentration en nitrates traduit une pollution importante au niveau des champs de captage des deux nappes. De plus on note une pollution transversale de Cambéréne à Hann.

la modélisation des aquifère, et l'analyse isotopique qui sont les principaux objectifs du projet Raf/8/022 (AIEA) permettront de mieux comprendre ce couloir de pollution.

Dans la presqu'île du Cap-Vert la solution au problème de l'eau ne devrait pas se poser en terme de prospection mais plutôt en terme de gestion et d'aménagement. Ainsi pour la pérennisation et la protection de la ressource souterraine contre la pollution anthropique et l'avancée du biseau salé, le ministère de l'hydraulique/SGPRE devra entreprendre des aménagements tels que l'installation du réseau d'assainissement, le contrôle des fosses septiques..., à court et moyen terme.

## *Références*

A.I.E.A/ UCAD (Département de géologie). *Utilisations isotopiques pour l'étude de la réalimentation des aquifères de la presqu'île du Cap-Vert*. Projet modèle Raf/8/022 ; programme Sénégal. Rapport préliminaire, 1993 ; 30p.

A.I.E.A. *Etudes hydrogéologiques et hydrologiques en Afrique de l'Ouest par les techniques isotopiques*. Ed. A.I.E.A., Vienne, 1993 ; 211p.

Aranyosy JF, Louvat & Maksoudi M. *Developing isotope techniques for water exploration in the Sahel*. Ed. A.I.E.A., Vienne, 4 : 1991 ; p 2-8.

Balderer W, Rauert W & Stichler W. *Environmental isotope study of the deep groundwaters in Northern Switzerland*. Ed. A.I.E.A., Vienne, 1987 ; p 455-473.

Bernard I. *Analyse de l'évolution des prélèvements et de la qualité hydrochimique des nappes exploitées pour l'AEP de Dakar*. Rapport de stage, SONEES, 1995 ; 27p.

B.R.G.M. *Etude des nappes de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal)*. Seconde mission backstopping, 1972 ; 10p.

B.R.G.M. *Etude des ressources en eau du Sénégal*. Rapport campagne de prospection géophysique, 1987 ; 70p.

C.G.G. *Prospection électrique dans la presqu'île du Cap-Vert*, 1970 ; 448p.

C.P.G.F. *Amélioration de l'alimentation en eau potable de Dakar, étude géophysique de la région du Lac de Tamna*. Rapport projet PNUD-OMS-SEN 77/11, 1978 ; 13p.

Fontes JC. *Rapport final du projet SEN/8/003*, 1987 ; 20p.

Gaye CB. *Etude hydrogéologique, hydrochimique et isotopique de la nappe aquifère infrabasaltique de la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal)*. Thèse de 3ème cycle UCAD, 1980 ; 131p.

Ketchmen B. *Synthèse bibliographique sur les applications des techniques isotopiques aux problèmes de ressource en eau. Les isotopes constitutifs de l'eau ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  et  $^3\text{H}$ ) et les isotopes du carbone dissous dans l'eau ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ )*. Rapport de synthèse, eau. Les isotopes de l'eau. Les isotopes du carbone. Université Paris Sud, Centre ORSAY et Université de Dakar (Facultés des Sciences, Département de géologie, 1993 ; 45p.

Martin A. *Les nappes de la presqu'île du Cap-Vert. Leur utilisation pour l'alimentation en eau de Dakar*. BRGM, 1970 ; 49p.

Michel P. *Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie, étude géomorphologique*. Ed. ORSTOM, Tome 1 : 1973 ; 352p.

Ministère du développement industriel (direction de l'hydraulique). *Etude des eaux souterraines. Nappe infrabasaltique*. OMS, projet Sénégal, Tome I : 1972.

Ministère de l'hydraulique/OMS. *Approvisionnement en eau et assainissements de Dakar et ses environs. Etude des eaux souterraines*. Projet Sénégal 3201 (Ex 22), Tome I : nappe infrabasaltique. Ed. OMS, 1972 ; 103p.

Ministère de l'hydraulique/OMS. *Approvisionnement en eau et assainissement de Dakar et ses environs. Etude des eaux souterraines*. Projet Sénégal 3201 (Ex 22), Tome II : nappe des sables quaternaires. Ed. OMS, 1972 ; 138p.

Ministère de l'hydraulique/SGPRE. *Synthèse hydrogéologique du Sénégal*. 1985 ;

Ministère de l'hydraulique/BRGM. *Rapport d'exécution des piézomètres de la presque île du Cap-Vert (P2-1 à P2-11)*. Ed. BRGM. 1987 ; 8p.

Ministère de l'hydraulique. *Contrôle piézométrique et hydrochimique des nappes souterraines du Sénégal*, 1989

Ministère de l'hydraulique/PNUD. *Bilan-Diagnostic des ressources en eau du Sénégal*. Projet MH/PNUD/DADSG-SEN/87/006, 1994 ; 196p.

Pilot J. *Les isotopes en géologie (Méthodes et application)*. Ed. Doin, 1974 ; 174p.

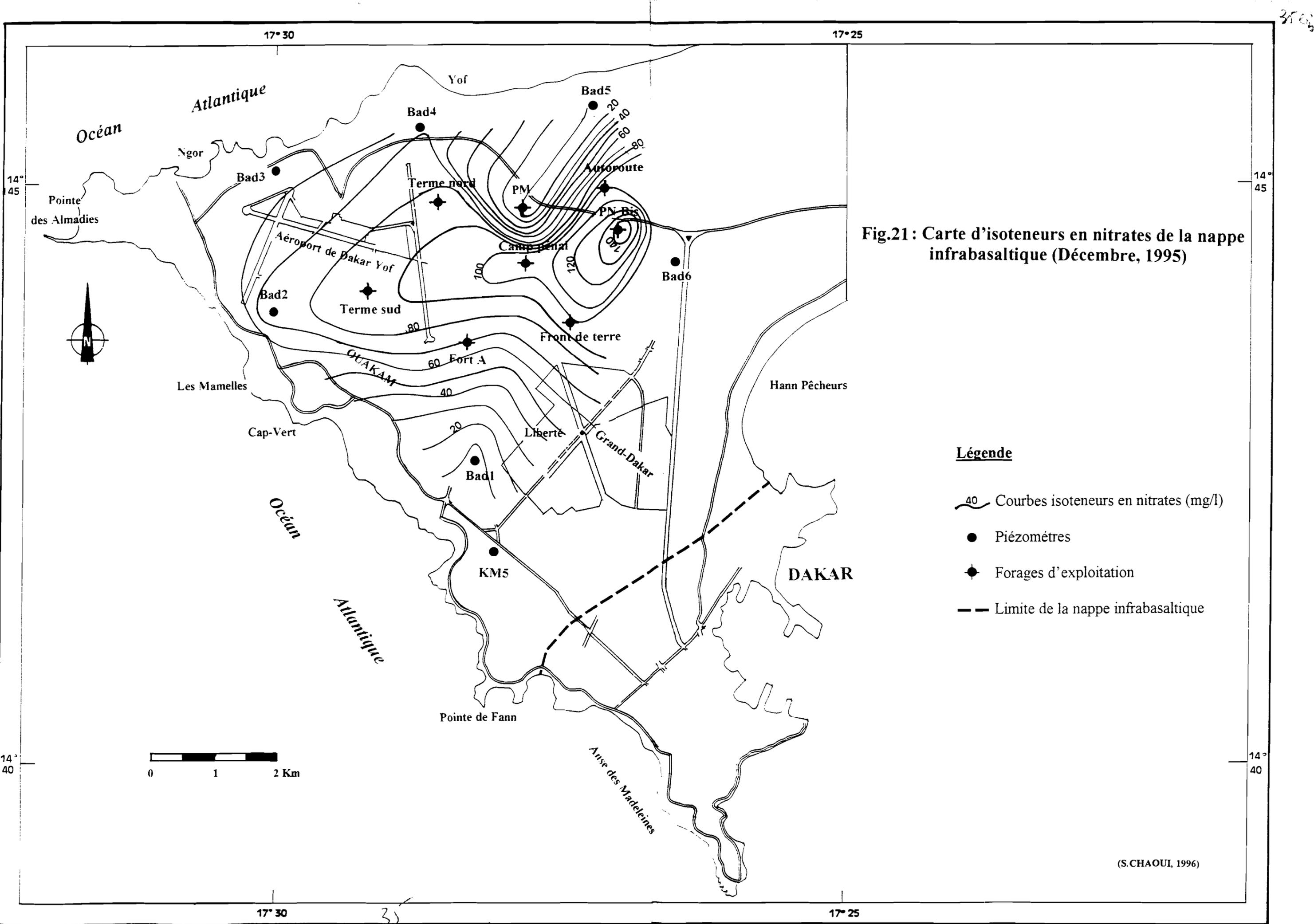
PNUD/OMS. *Alimentation en eau de Dakar. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la nappe infrabasaltique- Etude lithostratigraphique des sondages du secteur lac Tanma, Fouloume et Pout*. Université de Dakar (Facultés des Sciences, Département de géologie), 1979 ; 16p.

SONEES. *Renforcement de l'approvisionnement en eau de la région de Dakar. Rapport 2 tronçon Thiès-Dakar, phase intermédiaire*. Ed. Bétume Sétame, 1993 ; p38-75.

SONEES. *Renforcement de l'approvisionnement en eau de la région de Dakar. Tome 1, données de base, rapport définitif*. Ed. Bétume Sétame, 1986 ; p1-75.

Tandia A. *Synthèse hydrogéologique de la région de Casamance. contribution des techniques isotopiques à la connaissance des nappes d'eau souterraine*. Mémoire de DEA, université de Dakar, département de géologie, 1988 ; 80p.

Tchani J. *L'aquifère des sables quaternaires au nord de la presque île du Cap-Vert (Sénégal). Morphologie déduite des données hydrogéologiques et géophysiques (sondages électriques). Analyse d'un cas d'invasion saline*. Mémoire de DEA, Université de Dakar (Facultés des Sciences, Département de géologie), 1996 ; 86p.



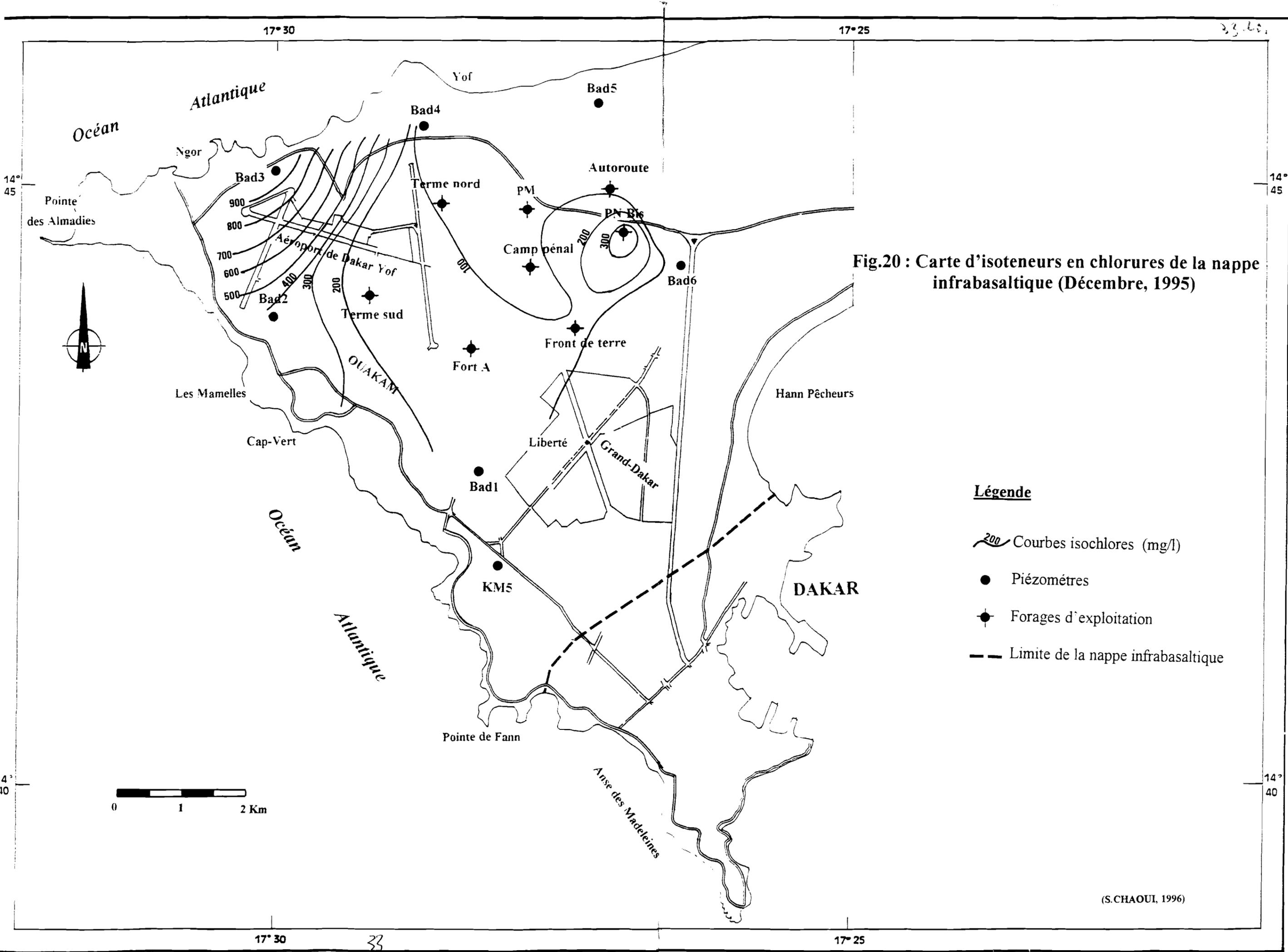


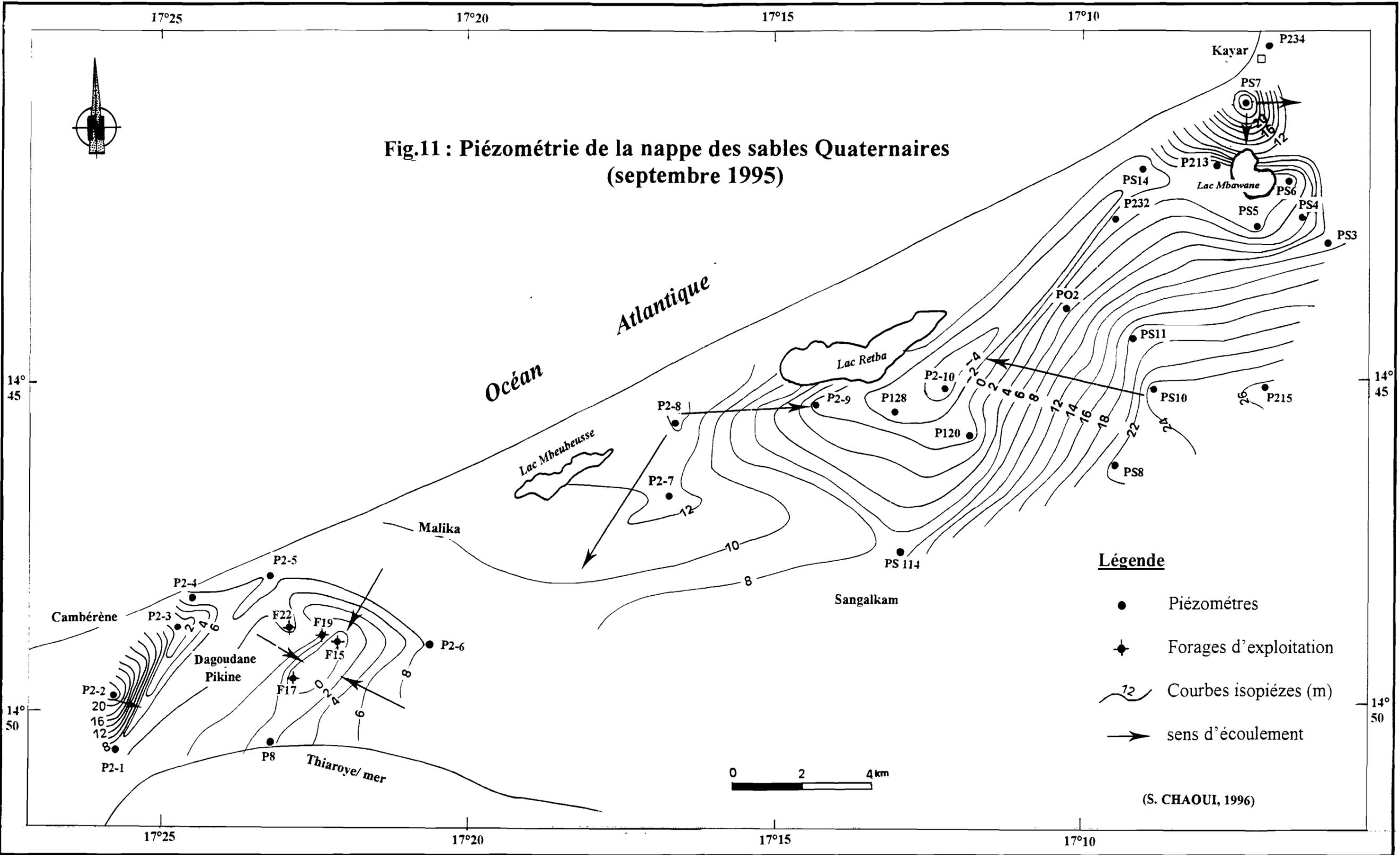
Fig.20 : Carte d'isoteneurs en chlorures de la nappe infrabasaltique (Décembre, 1995)

**Légende**

-  Courbes isochlores (mg/l)
-  Piézomètres
-  Forages d'exploitation
-  Limite de la nappe infrabasaltique

(S.CHAOUI, 1996)

Fig.11 : Piézométrie de la nappe des sables Quaternaires (septembre 1995)



- Légende**
- Piézomètres
  - ◆ Forages d'exploitation
  - ~12~ Courbes isopièzes (m)
  - sens d'écoulement

(S. CHAOUÏ, 1996)

20

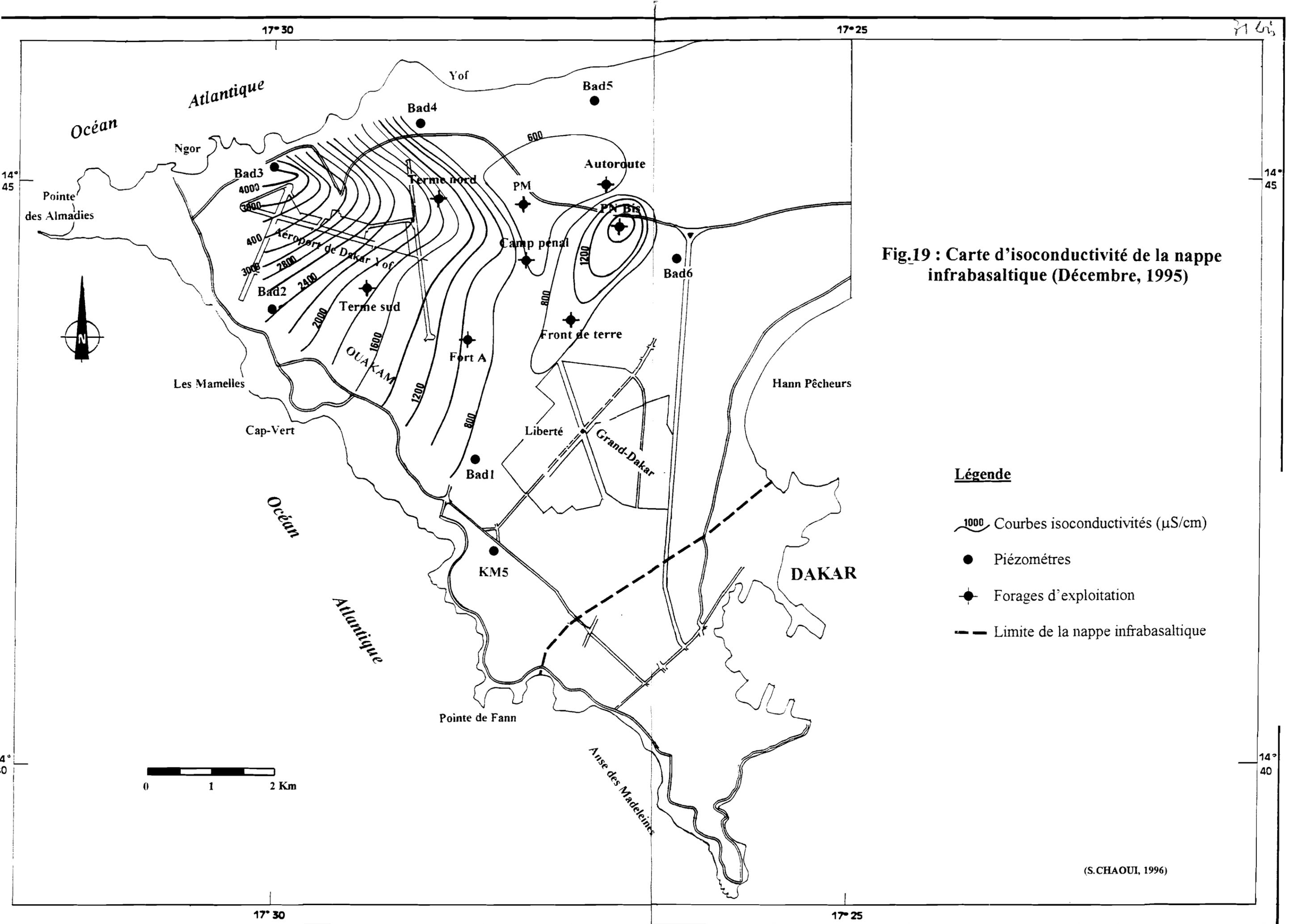
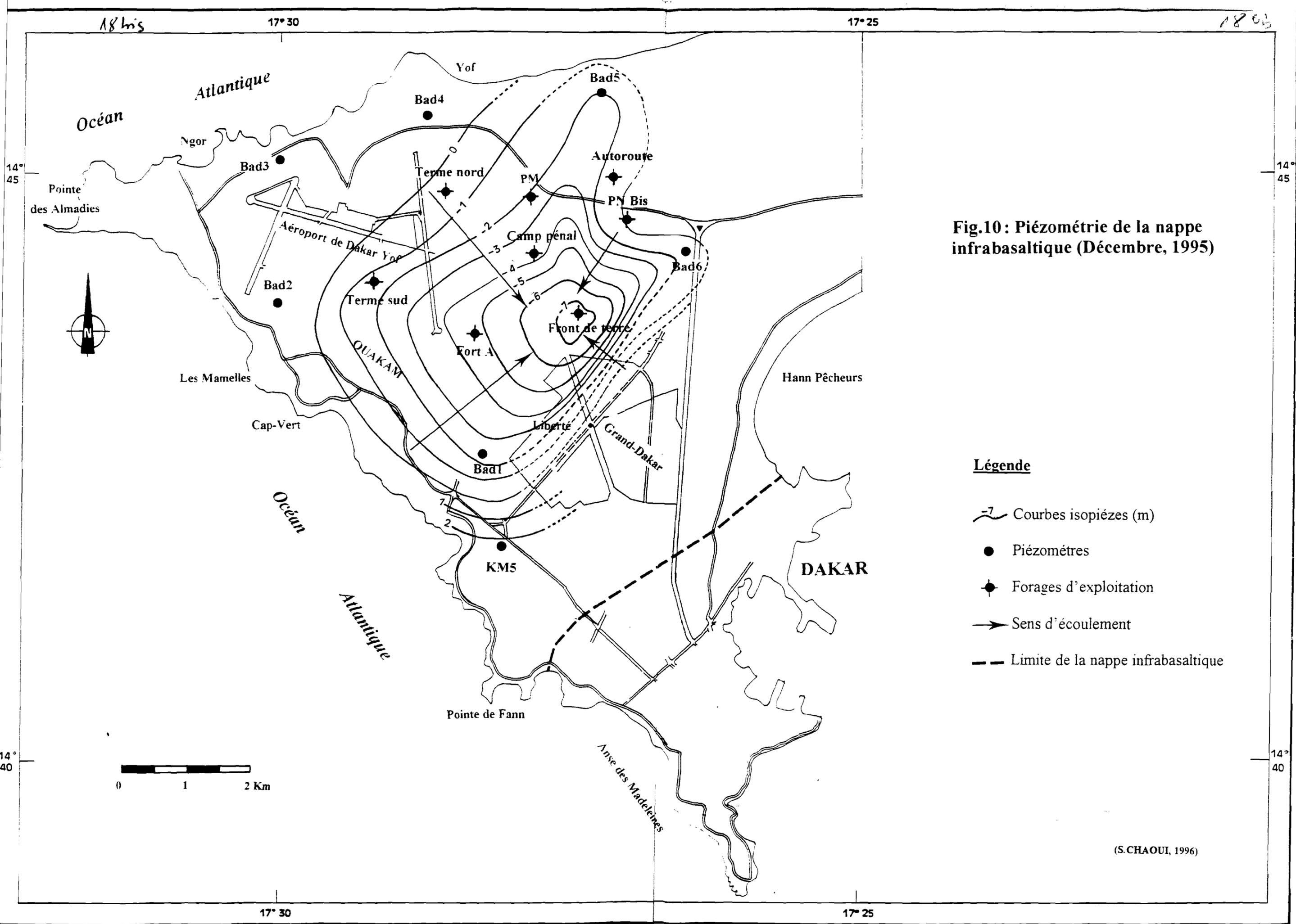


Fig.19 : Carte d'isoconductivité de la nappe infrabasaltique (Décembre, 1995)

**Légende**

-  Courbes isoconductivités ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
-  Piézomètres
-  Forages d'exploitation
-  Limite de la nappe infrabasaltique

(S.CHAOUI, 1996)



**Fig.10 : Piézométrie de la nappe infrabasaltique (Décembre, 1995)**

**Légende**

-  Courbes isopièzes (m)
-  Piézomètres
-  Forages d'exploitation
-  Sens d'écoulement
-  Limite de la nappe infrabasaltique

(S.CHAOUI, 1996)