

Diass et au sud de Dakar), alors que leur partie nord s'est enfoncée et a été recouverte par d'importants dépôts de sables (dépressions du lac Tanma dans le horst de Diass et de Cambéréne- Malika à Dakar) (fig. 6).

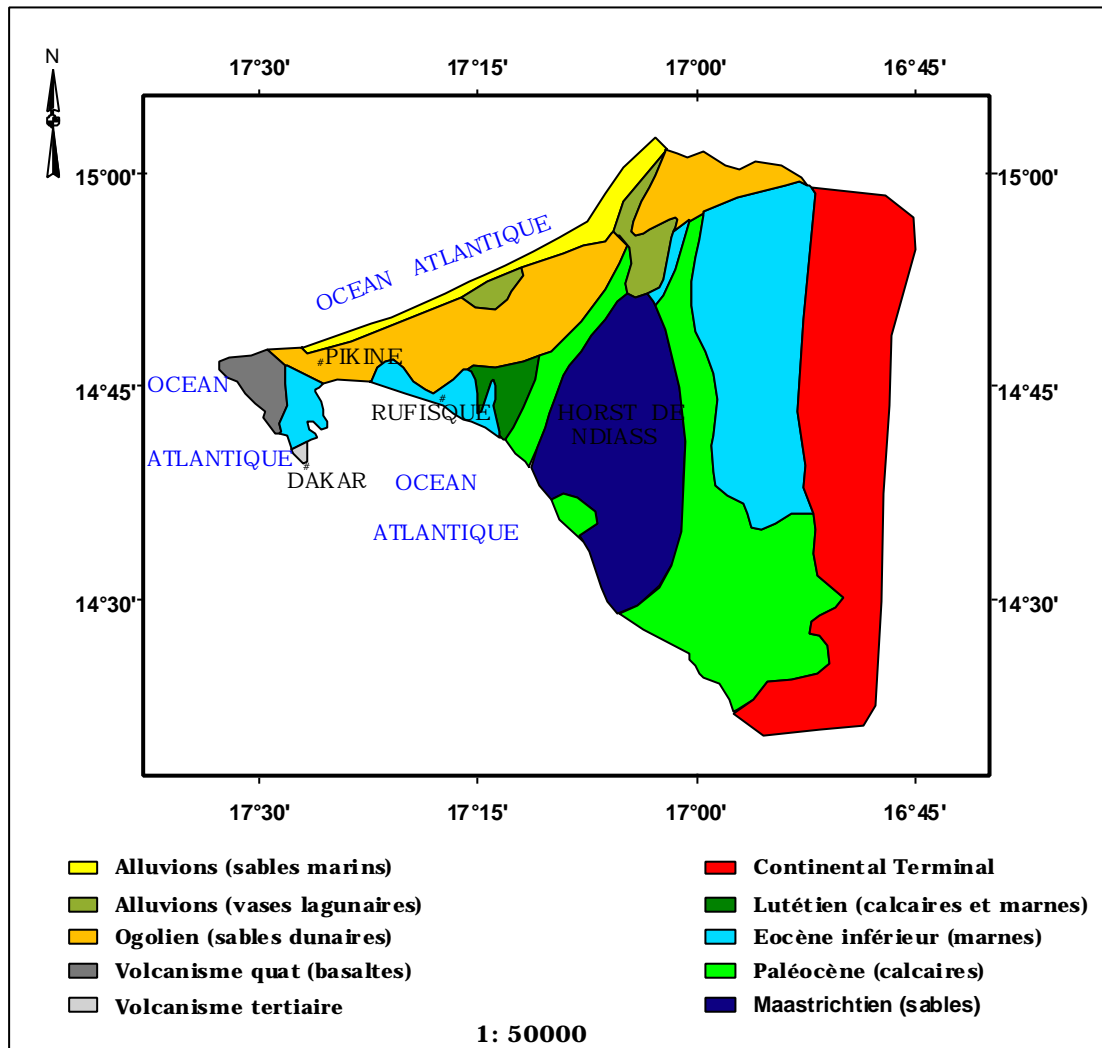


Figure 5 : Carte géologique de la région de Dakar

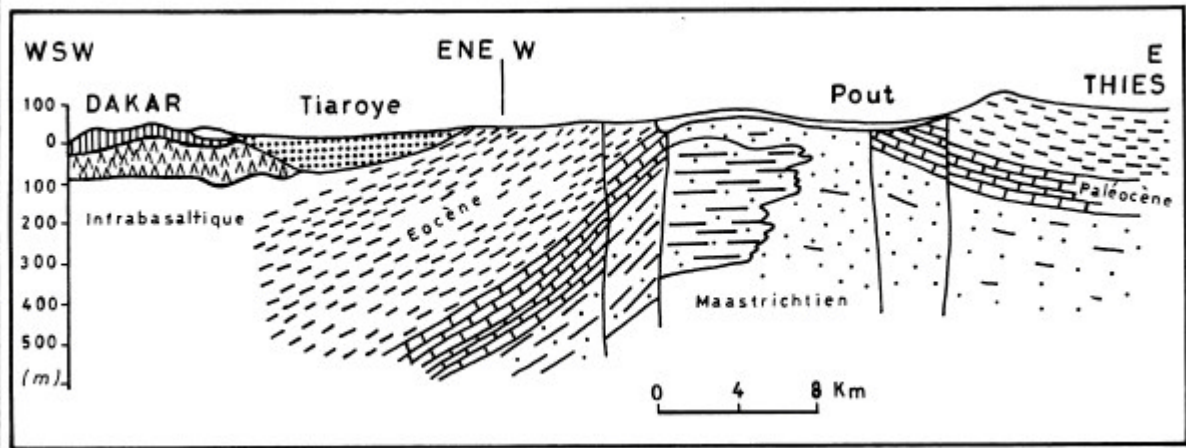


Figure 6 : Coupe géologique de la région de Dakar (Mudry et Travi, 1992)

La série stratigraphique concernant les formations tertiaires (qui constitue le substratum de l'aquifère étudié) et quaternaires est composée de la manière suivante (Fig. 7) :

- Pour les formations tertiaires, les âges (Epoques de l'échelle stratigraphique) représentés sont successivement de bas en haut : le Paléocène, l'Eocène inférieur (Yprésien), l'Eocène moyen (Lutécien et Bartonien), l'Eocène supérieur (Priabonien), l'Oligocène et le Miocène/Pliocène. Ces formations sédimentaires et volcaniques affleurent bien au sud de Dakar. Elles ont été reconnues au nord par les forages pétroliers.

- Le Paléocène : Il est représenté surtout par des marnes et calcaires argileux constituant la formation des Madeleines. Celle-ci affleure dans l'Anse des Madeleines, à la plage des Enfants et autour du Port Autonome de Dakar. Ces marnes ont été traversées sur 81 m et sur 105 m et reposent en discordance sur le Maastrichtien. La formation des Madeleines date de la totalité du Paléocène (Castelain *et al.*, 1966). La Formation de l'Hôpital autrefois attribuée à l'Eocène inférieur est maintenant datée du Paléocène supérieur (Sarr, 1995). Selon cet auteur, ces limons constituent un équivalent altéré et silicifié de la partie supérieure des marnes des Madeleines. Les silts argileux silicifiés de l'Hôpital constituent les falaises du sud de la ville de Dakar.

- L'Eocène inférieur (Yprésien) : Dans les forages au nord de Dakar, la formation des Madeleines est surmontée par des argiles et marnes datées de la base de l'Eocène inférieur, l'épaisseur totale de l'Yprésien étant de 105 m. A l'affleurement, l'Eocène inférieur correspond aux Argiles de la Prison (15 m d'épaisseur) sur la plage de Rebeuss (Castelain *et al.*, 1966).

- L'Eocène moyen (Lutécien et Bartonien) : Il affleure à Dakar dans les Marnes de la Poudrière et les calcaires argileux de la plage Bernard. Ces terrains datent du Lutécien inférieur (Castelain *et al.*, 1965 ; Sylla, 1999). Le sommet de l'Eocène moyen (Bartonien) est connu uniquement en sondage et correspond à la base des Argiles de Yoff. D'une épaisseur totale de 110 m, ces argiles beiges reposent en discordance sur

l'Eocène inférieur (Spengler *et al.*, 1966). La mer s'est retirée de la plus grande partie du bassin sénégalais après l'Eocène moyen.

- L'Eocène supérieur (Priabonien) : Il est représenté par la partie supérieure des argiles de Yoff connues par sondage.

- L'Oligocène : A cette époque, la quasi-totalité du bassin sénégalais, à l'exception du golfe casamançais émerge par suite du retrait de la mer amorcé dès la fin de l'Yprésien (Sarr, 1995). Celle-ci ne subsiste que dans de petits golfes entre Dakar et Tivaouane. A Dakar, l'Oligocène

n'est connue que par des Calcaires à Lépidocyclines emballés dans des tufs volcaniques de l'Anse Bernard.

- Le Miocène et le Pliocène : C'est une période d'altération et d'érosion continentales qui s'accompagnent d'une intense activité volcanique. Le système éruptif du volcanisme de Dakar (coulées de basalte et tufs volcaniques) se met en place au sud de la presqu'île (Cap Manuel, Gorée, Rufisque). De nombreuses venues volcaniques ont été recoupées par les forages au nord et au nord-est de Dakar. Le volcanisme de Dakar est surmonté par une cuirasse latéritique datée du Pliocène à la base du Pléistocène (Tessier et Lappartient, 1967). Le contact entre ces formations est bien visible à la Pointe de Fann.

- Pour les formations quaternaires, elles correspondent à une époque d'altération continentale caractérisée par des fluctuations climatiques et eustatiques. L'étude des affleurements et des forages de la presqu'île du Cap-Vert (Hébrard, 1966 ; Crévola et Gaye 1979 ; Barusseau et Gaye 1983) permet de distinguer un Quaternaire ancien sableux marqué par le volcanisme des Mamelles, et un Quaternaire récent dominé par des pulsations climatiques et des fluctuations du niveau marin qui sont à l'origine de dépôts sableux et de plages soulevées rencontrées à Dakar et environs.

<u>EPOQUES</u>		<u>NATURE LITHOLOGIQUE</u>	<u>Lithologie</u>	<u>LOG LITHOLOGIQUE</u>	<u>DESCRIPTION</u>	<u>EPAISSEUR (m)</u>
QUATERNAIRE		Cordon littoral		Aquifères	Perméabilité moyenne	52.5
		Dunes de Cambèrène				70
		Plage à Arca			Forte	35
	Ogolién	Dunes rouges			Moyenne	87.5
	Acheuleen	Alluvions graveleuses			Forte	70
	Inchirien	Basalte			Imperméable	70
		Sable infrabasaltique		Aquifère	Perm. forte	70
TERTIAIRE	Pliocène	Latérite			Imperméable	70
	Miocène	Tufs volcaniques à blocs calcaires				87.5
	Oligocène	Ankaratrite				52.5
	Eocène sup	Marnes brunes			imperméable	105
	Lutécien	Marno-calcaires				210
	Eocène inférieur	Marnes jaunes			Imperméable	70
		Argiles silicifiées			imperméable	472.5
paléocène	Marnes à lits calcaires				157.5	
II	Maestrich-tien	Argiles				192.5

Figure 7 : stratigraphie de la presqu'île du Cap Vert

Le Quaternaire ancien est caractérisé par les lithofaciès suivants :

- Les « sables infrabasaltiques » : Ce sont les plus anciens dépôts quaternaires connus et ils reposent sur la latérite fini- tertiaire. Ces sables affleurent à la base des premières coulées du volcanisme des Mamelles sur le littoral entre Mermoz et Ouakam. Ils ont été retrouvés dans les forages de la tête de la presqu'île. C'est un ensemble de sables et argiles à coquillages marins ainsi que sables argileux et dunaires. Cette assise est attribuée à l'Inchirien inférieur dans la stratigraphie régionale et son épaisseur maximale connue est de 74 m.

- Les produits volcaniques : Ils sont liés au volcanisme des Mamelles dont le centre d'émission est situé à l'ouest de la tête de la presqu'île (Mermoz, Ouakam). Il est marqué par le dépôt de produits pyroclastiques (cinérites, tufs, ponces et bombes volcaniques) et de coulées de basanite doléritique qui se sont mis en place entre le Pléistocène inférieur (1,4 Ma) et le Pléistocène moyen. Ces produits volcaniques affleurent largement au nord-ouest de la presqu'île (de la pointe de Fann à Yoff) où ils forment des falaises littorales ainsi que les collines des Mamelles. Les dolérites de ce volcanisme se rencontrent en forage jusqu'à la Patte-d'Oie et sont interstratifiés avec des sables dunaires de l'Inchirien inférieur. Les dernières coulées volcaniques ont été datées à Mermoz de 570 000 ans (Crévola *et al.*, 1994).

- Les grès à ciment calcaire de Yoff (beach-rocks) : Ils se retrouvent sur le littoral de Yoff au dessus du niveau marin actuel et reposent sur les basanites doléritiques du volcanisme des Mamelles par l'intermédiaire du niveau ferruginisé de Tessier (Toundi Riya). Ces grès correspondent à un épisode marin transgressif de l'Eemsien (125 000 à 80 000 ans BP) et sont associés d'une part à des coquilles de Lamellibranches (huîtres) et de gastropodes et d'autre part, renferment des foraminifères. Ils se sont déposés sur le littoral puis ont été repris par les vents (dunes à stratifications obliques) (Tessier *et al.* 1967 ; Lappartient, 1985).

- Les alluvions graveleux : Ils sont formés de sables grossiers et de graviers reposant en discordance sur des marnes, des argiles pyriteuses, de la latérite et des sables dunaires infrabasaltiques. Elles constituent un niveau lenticulaire d'une épaisseur maximale de 30 m et se rencontrent essentiellement à Thiaroye. Ces alluvions correspondent à une accumulation en domaine littoral dans un contexte régressif et en climat humide qui régnait au Pleistocène supérieur (60 000 ans BP). A la même époque, se déposent par colluvionnement et ruissellement dans les cuvettes représentant des cours d'eau temporaires les limons du champ de tir de Fann et les limons de Yoff. Ce sont en fait des sables argilo-limoneux, parfois des argiles sablo-limoneuses. Ils renferment des graviers (pisolithes) ferrugineux, des restes préhistoriques (industries de l'Acheuléen) et seraient issus du niveau latéritique et de l'erg Ogolien I (Elouard *et al.*, 1967).

Quant au Quaternaire récent, il est caractérisé par les éléments suivants :

- Les « dunes rouges » de Pikine : Elles correspondent à des sables à grain de quartz entourés d'une pellicule rubéfiée d'oxydes de fer et affleurent largement à Pikine où ils constituent l'Erg de Pikine. Ils se rencontrent dans les sondages où ils peuvent être blanc-beiges, ou jaune-rouges. L'épaisseur maximale se rencontre au nord-est de Dakar,

dans le forage de Beer Thialane (50 m). La formation des dunes rouges s'est déposée à l'Ogolien II (20 000 à 18 000 BP) au cours du maximum de la régression post-Inchirienne où le niveau marin est descendu à la cote - 100 m par rapport au niveau actuel (Hébrard, 1966). Le climat était désertique et un puissant massif dunaire aligné suivant la direction NE-SW s'est installé depuis le sud de la Mauritanie jusqu'à la Gambie.

- Les plages soulevées à *Anadara senilis* (Linne) : Elles correspondent à un dépôt de sable vaseux riche en coquilles dont *Anadara senilis* est l'espèce dominante. Les affleurements se présentent en étendues argilo-sableuses plates sans végétation, et montrent souvent des efflorescences salines ; ils portent localement le nom de «tann». Dans la zone de Thiaroye-sur-Mer, le forage Sasif S1 a recoupé ces sables vaseux sur une épaisseur de 11 m. Ce dépôt correspond à l'épisode transgressif et humide du Nouakchottien (maximum situé autour de 5500 ans BP) au cours duquel la mer envahit les anciens golfes des lacs Mbeubeuss, Malika, Retba, Youi et Pikine dans la presqu'île du Cap-Vert. Le niveau de la plage à *Anadara senilis* est à l'altitude + 3,5 m à Pikine.

- Les sables humifères interdunaires des Niayes : Ces sables affleurent dans les dépressions interdunaires de la région des Niayes entre Pikine et Saint-Louis. On les retrouve sous les sables du système dunaire de Cambérène dans les forages et les puits des jardins maraîchers de la zone de Thiaroye : leur épaisseur ne dépasse pas un mètre. Ils proviennent de l'accumulation des sols marins par ruissellement dans le fond des dépressions marécageuses interdunaires depuis la période nouakchottienne (Elouard et al, 1967)

- Les « Dunes jaunes » de Cambérène : Elles s'étirent sur une bande large de un à quatre kilomètres entre Yoff et Kayar, sur une longueur de 40 km. La direction des dunes suit généralement celle des alizés maritimes dominants (NNE-SSW). Dans la zone de Pikine, les dunes littorales s'avancent par endroits et surmontent les dunes ogoliennes, la plage à *Anadara senilis*, et les sables humifères interdunaires. Les dunes sont constituées de sable fin orangé d'une épaisseur maximale de 15 m. Elles se sont formées au cours d'un épisode régressif en climat aride correspondant au Tafoliein de Mauritanie (4000 ans BP).

- Les plages et «dunes blanches » littorales actuelles : Un épisode transgressif au cours duquel la mer s'est avancée jusqu'à la cote + 2 m a été enregistré autour de la presqu'île de Dakar. Cet épisode appelé Dakarien (2800 à 2000 ans BP) a eu pour résultats la formation des plages à galets et coquilles abondantes (dont *Patella safiana*) typique des côtes rocheuses observées aux Almadies, à la Pointe de Fann, et à l'Anse Bernard. La mer dakarienne a d'autre part mis en mouvement d'énormes masses de sable immergé à la faveur de la dérive littorale. Ce sont les sables quartzueux fins à débris coquillés (*Donae* notamment). L'accumulation de ces sables a eu pour résultats la formation d'un premier cordon littoral qui va fermer l'accès à la mer des lagunes héritées du Nouakchottien et la régularisation de la côte nord qui devient plus rectiligne. L'île de Dakar est par la suite définitivement reliée au continent par l'isthme de Thiaroye. Des oscillations postérieures du niveau marin (entre 2000 ans BP à nos jours) ont permis la mise en place d'un second cordon littoral et d'aboutir à la configuration actuelle de la côte.

A l'échelle du pays, les auteurs (Le Priol et Dieng, 1985; Le Priol, 1984 ;Pitaud, 1983; Michel, 1973) distinguent généralement deux ensembles géologiques qui contiennent les ressources en eau souterraine : un vaste bassin sédimentaire constitué de couches d'épaisseurs et de caractéristiques hydrogéologiques variables et un socle ancien constitué de formations éruptives et métamorphiques qui occupent la partie sud-est du territoire. Les nappes d'eau souterraines de la région de Dakar sont contenues dans des formations aquifères de nature différentes : la nappe des sables quaternaires avec une partie captive (nappe infrabasaltique - 1) et une partie libre (nappe de Thiaroye - 2), la nappe des formations paléocènes contenue dans des calcaires zoogènes karstifiés et dans des marno-calcaires (3 - 4), et la nappe des formations du Maastrichtien (5) contenue dans des sables et grès calcaires. La région de Dakar tire 80% de sa consommation en eau ($162.000\text{m}^3/\text{j}$) des nappes souterraines suivantes: nappe infrabasaltique, nappe des sables de Thiaroye en zone périurbaine, nappe des calcaires de Sébikotane et nappe de Pout. Les 20% ($39.000\text{m}^3/\text{j}$) résulte du transfert d'eaux de surface à partir du lac de Guiers situé à 250Km de la localité de Dakar (SONEES, 1986).

L'aquifère des sables quaternaires de la région de Dakar appartient au système aquifère superficiel général qui regroupe en plus des formations gréseuses, sablo-argileuses et quelquefois graveleuses (Hébrard, 1966). Ces dernières correspondent aux formations de l'Oligo-Miocène et du Continental Terminal (Tab.4). La nappe de l'Oligo-Miocène qui joue un rôle économique très important (Travi, 1988) a une profondeur moyenne qui se situent autour de 15m et un débit journalier estimé à $100.000\text{ m}^3/\text{j}$ (Lepriol, 1983). Quant à la nappe du Continental terminal, sa bonne exploitation se heurte à la faiblesse des débits et de sa profondeur moyenne qui est de 40 à 60m, donc assez importante. Cette nappe qui assure l'alimentation en eau de plusieurs villages a des réserves exploitables qui sont estimées à $850.000\text{m}^3/\text{j}$. (Travi, 1988).

Tableau 4 - Principaux aquifères superficiels des formations sédimentaires (M.H/OMS, 1972)

Aquifères	Station	Caractérisation		
		Lithologie	Perméabilité (m/s)	Transmissivités (m^2/s)
Alluvions	Delta du fleuve Sénégal et du Sine Saloum	Alluvions plus ou moins argileuses sables, latérites remaniées	Médiocre à faible	$2 \cdot 10^{-2}$
Sables quaternaires	Cap-Vert, Littoral nord	sables infrabasaltiques, sables dunaires	$9 \cdot 10^{-4}$ à $3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-2}$ à $2 \cdot 10^{-4}$
	Ferlo, Thiès-	sables, grès plus		

Continental Terminal	Tivaoune et Siné-Gambie	ou moins argileux	10^{-4} à 10^{-5}	10^{-4} à 10^{-3}
l'Oligo-Miocène	Koungheul, Tambacounda Casamance	sables faiblement argileux	10^{-4}	10^{-2}

Le système aquifère des sables quaternaires de la région de Dakar est composé de deux nappes : la nappe captive des sables infrabasaltiques qui s'étend sous l'extrémité occidentale de la presqu'île et la nappe libre du littoral nord qui prolonge celle des sables infrabasaltiques. La nappe infrabasaltique d'une trentaine de kilomètres est emprisonnée sous les coulées volcaniques. Le toit de l'aquifère formé par la base des produits volcaniques présente une forme irrégulière.

Le mur de l'aquifère est essentiellement constitué par les marnes et argiles d'âge éocène moyen à inférieur. Il se présente sous la forme d'un plan incliné vers le nord passant de la côte -20 m au niveau de la tête de la Presqu'île à la côte -75 m vers Yoff- Cambérène.

La morphologie du substratum marneux incliné et la forme irrégulière du toit basaltique confèrent à l'aquifère des variations d'épaisseur d'un point à un autre. L'épaisseur de la nappe varie de 15 à 80 m. .

Les formations continentales qui forment la nappe libre des sables quaternaires reposent sur le substratum marneux qui affleure au sud et s'enfonce vers le nord et l'ouest et le nord-ouest. Son allure générale est celle d'un plan incliné vers le nord ouest. Son épaisseur varie de 50 à 80 m. la morphologie de l'aquifère sera étudiée dans le chapitre 5.

L'aquifère est en contact avec la mer sur la presque totalité de son contour.

Les caractéristiques hydrodynamiques varient selon la nappe (MH/OMS, 1972); dans la partie captive la transmissivité varie de $1,05 \times 10^{-2} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ à $9,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ et le coefficient d'emmagasinement est estimé entre 1,25% et 1,5% alors que dans la partie libre, la transmissivité évolue de $1,6 \times 10^{-2} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ à $6,7 \times 10^{-2} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ et le coefficient d'emmagasinement de 0,3% à 14%. La porosité efficace a été évaluée à 13%. Le premier aquifère, avec une épaisseur moyenne de 50m est constitué par des sables marins d'âge quaternaire recouverts par une coulée volcanique de type basaltique et le deuxième a une puissance qui varie entre 30 et 80m. Il est composé de sables hétérogènes: des sables grossiers de diamètre 2 à 10mm sont intercalés entre des sables argileux reposant sur le substratum tertiaire et des sables éoliens de diamètre 0,2 à 0,5 mm au sommet.

DEUXIEME PARTIE : Résultats des travaux réalisés dans le cadre du projet

Durant la première phase du projet l'équipe du Sénégal a réalisé un certain nombre de travaux dont la digitalisation de fonds cartographiques relatives à l'urbanisation (carte des agglomérations, des routes), à la géologie et à l'hydrogéologie (carte topographique, cartes des points polluants, des dépressions fermées, des cours d'eau temporaires et des points de suivi), à l'acquisition de données climatologiques et à la caractérisation bathymétrique, physico-chimique et chimique de la nappe. Ce qui a permis d'évaluer la qualité de la nappe et d'élaborer la carte de vulnérabilité à la pollution par les composés azotés. La deuxième phase vise entre autres objectifs, la réactualisation des données déjà obtenues pour la réalisation de cartes de vulnérabilité saisonnières, de bulletins saisonniers d'alerte sur la qualité de la nappe. Elle se veut également pour objectif une meilleure connaissance des aquifères et leur interaction avec les eaux de surface sur la base de la modélisation. Pour atteindre les objectifs, nous avons réalisé une série d'échantillonnage pré et post hivernale et un suivi hebdomadaire sur quatre ouvrages.

L'échantillonnage a concerné les ouvrages du réseau de surveillance de Dakar (fig 5). Ce réseau est constitué de forages, de piézomètres et de puits. Certains de ces ouvrages sont actuellement non fonctionnels, ce qui fait que des ouvrages échantillonnés une année peut ne pas l'être l'autre année.

Deux bouteilles préalablement rincées à l'eau distillée ont été utilisées pour l'échantillonnage ; l'une des bouteilles destinée à l'analyse des cations et des nitrates a été acidifiée (acide sulfurique à pH 2) et l'autre non acidifiée va permettre l'analyse des anions.

Au cours de l'échantillonnage les paramètres physico-chimiques instables et susceptibles de varier avec le temps ont été mesurés in situ. Il s'agit entre autres :

- du pH mesuré avec un pHmètre à microprocesseur de type HI 9024 C
- de la conductivité mesurée avec un conductivimètre de marque HANNA HI 9033.

Les autres opérations ont consisté à la mesure de la profondeur de la nappe dans les ouvrages avec une sonde piézométrique lumineuse et à la détermination des coordonnées géographiques des ouvrages à l'aide d'un GPS 12 Garmin.

Le suivi hebdomadaire

Le suivi de la nappe entamé depuis la première phase (Décembre 2002) ne s'est pas faite de manière continue. Il porte sur les ouvrages suivants (fig 5)

- **BAD 2H** : c'est un piézomètre qui a été réalisé dans le cadre d'un programme Banque Africaine de Développement (BAD). C'est en fait un piézomètre double qui capte des niveaux aquifères différents séparés par un horizon volcanique (l'indice H est mis pour le piézomètre qui capte les eaux de la nappe au dessus de l'horizon volcanique. Le piézomètre qui capte les eaux au dessous de l'horizon volcanique (BAD2B) est détérioré). Ce point devrait être un des derniers à être pollué avec la progression de la

pollution de la nappe depuis l'amont. En effet la pollution semble se généraliser à partir de la zone périurbaine. Ce point représente ainsi les eaux de la tête de la presqu'île de Dakar.

- **FRONT DE TERRE** : c'est un forage d'exploitation équipé d'un piézomètre d'observation et d'un robinet permettant des prélèvements d'eau de la nappe. Ce forage est placé à la limite de la zone amont périurbaine non assainie. C'est l'un des premiers points d'observation susceptible d'être contaminé quand la pollution de la zone amont périurbaine se propagera de façon plus conséquente selon le sens d'écoulement naturel de la nappe. Ce point représente bien les eaux du col de la presqu'île de Dakar.

- **F19** : c'est aussi un forage d'exploitation, il est équipé d'un piézomètre d'observation et d'un robinet permettant aussi des prélèvements d'eau de la nappe. Ce forage est placé en plein cœur de la zone amont périurbaine non assainie. Ce point représente en quelque sorte la pollution instantanée des eaux de la nappe se propageant vers l'ouest.

- **MBEUBEUSS** : C'est un puits traditionnel qui est exploité par les populations de la zone de Mbeubeuss. Il se trouve à proximité immédiate de la plus grande décharge de l'agglomération de Dakar. Ce point servira à la surveillance du départ d'une éventuelle (mais très probable) pollution et de sa propagation depuis la décharge.

