

# **Impact de l'augmentation des prélèvements sur le comportement hydrodynamique et hydrochimique de la nappe infrabasaltique de Dakar**

## DEDICACES

Au nom d'Allah, le tout Miséricordieux, le très Miséricordieux.

Tout d'abord je rends grâce à Allah, le tout puissant de m'avoir donné la santé, le courage et la force de mener à terme ce document.

Je dédie ce mémoire à :

➤ **A Mon Père et à Ma Mère**

Vos prières et bénédictions m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Merci pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour assurer mon éducation et ma réussite. Vous m'avez appris à travailler dans le respect de soi et de l'autre, dans la dignité, la droiture et la persévérance. Que le bon Dieu vous garde encore longtemps auprès de nous ;

➤ **A mes frères et sœurs**

Je ne saurais vous remercier pour l'attachement, la tendresse, l'empathie et le respect que vous avez toujours eu à mon égard. Que ce travail soit pour vous une source de motivation. Sachez que la réussite se trouve toujours au bout des efforts ;

➤ **A mon grand-père Abdoulaye SY et à toute la famille SY**

Ce fut un honneur pour moi d'être avec vous durant ces dernières années. Merci pour votre accueil et soutien constant ;

➤ **A mon oncle Amadou Barro DIA**

Vous êtes un exemple de courage, de droiture, de persévérance pour moi. Merci pour les conseils ;

**A tous mes amis et camarades étudiants** pour les belles années de partage, d'amitié et d'apprentissage que j'ai eu à vivre en votre compagnie ;

**A mes promotionnaires et à tous les étudiants de master Géosciences** du Département de Géologie.

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, permettez-moi d'adresser mes remerciements à tous ceux, qui de près ou de loin, ont contribué à son aboutissement.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements à **Monsieur Serigne FAYE** Professeur Titulaire au département de Géologie FST/UCAD pour avoir accepté de suivre mes premiers pas de recherche. Ce fut un honneur pour moi que vous acceptiez de présider ce jury.

**Docteur Ousmane Coly DIOUF** Maître Assistant au département de Géologie FST/UCAD, je voudrais vous témoigner ici toute ma reconnaissance pour ton engagement à diriger ce travail. Vous avez été d'une grande disponibilité et d'une grande écoute. Vos suggestions pertinentes et les critiques constructives apportées lors des corrections ont fortement contribué à la réalisation de ce document.

**Docteur Mathias DIEDHIOU** Maître Assistant au département de Géologie FST/UCAD, Je tiens à présenter mes remerciements pour votre disponibilité. Vos corrections capitales et les suggestions ont été d'un grand apport pour l'amélioration de ce travail. Merci d'avoir accepté de faire partie du jury.

**Monsieur Saliou NGOM** chef de programme à la direction des travaux de la SONES, je vous témoigne mes sincères remerciements de m'avoir proposé ce travail. Merci d'avoir partagé votre expérience et vos compétences durant toute la durée de mon stage.

Je tiens à remercier **Madame Fatou Diop NGOM** Maître de conférences Titulaire, chef de département de Géologie FST/UCAD pour son aide et ses précieux conseils pour la réalisation de ce mémoire. A travers votre personne, je remercie tous les enseignants de la Faculté des Sciences et Techniques en particulier ceux du département de géologie pour avoir contribué de près ou de loin à ma formation.

Je voudrais exprimer mes vifs remerciements aux doctorants : Edgar Terence Benam, Djim Mouhamadou Lamine NDIONGUE, Mouhamadou DIAW et Mr BASSENE pour les corrections, les suggestions et les contributions à l'amélioration de ce mémoire.

## TABLE DES MATIERES

DEDICACES .....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
TABLE DES MATIERES .....	iii
Liste des figures .....	vi
Liste des tableaux .....	xi
ACRONYMES ET ABREVIATIONS .....	xii
Résumé .....	1
INTRODUCTION .....	2
CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....	3
I.1. Cadre physique .....	3
I.1.1. Situation géographique .....	3
I.1.2. Situation Socio-économique .....	3
I.1.3. Evolution démographique .....	4
I.2. Cadre climatique .....	4
I.2.1. La pluviométrie .....	5
I.2.2. Température .....	6
I.3.4. L'évaporation .....	8
I.3.5. L'insolation .....	9
I.3.6. Vitesse des vents .....	9
I. 3. Cadre géologique .....	11
I.3.1 La Stratigraphie des formations de la presqu'île du Cap-Vert .....	11
I.3.2. La Tectonique .....	17
I.4. Cadre hydrogéologique .....	18
I.4.1. L'aquifère des sables infrabasaltique .....	19
I.4.1.1. Géométrie de l'aquifère .....	20
I.4.1.2. Les paramètres hydrodynamiques .....	24

I.4.1.3 Historique de l'exploitation de la nappe infrabasaltique .....	25
I.4.2. La nappe de Thiaroye .....	27
Conclusion partielle .....	27
CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES .....	28
II.1. Matériels .....	28
II.1.1. Les données climatiques.....	28
II.1.2. Les données de prélèvements .....	28
II.1.3. Les données piézométriques.....	28
II.1.4. Les données chimiques.....	29
II.2. Méthodes.....	30
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	31
III.1. PIEZOMETRIE DE LA NAPPE.....	31
III.1.1. Evolution inter annuelle de la piézométrie .....	31
III.1.1.1. Morphologie de la nappe entre 1995 ; 2009 et 2019 .....	31
III.1.1.2. Evolution de la piézométrie entre 1985 et 1995 .....	34
III.1.1.3. Evolution de la piézométrie de la nappe infrabasaltique entre 2000 et 2020 ....	37
III.1.2. Evolution mensuelle de la piézométrie .....	40
III.2. Caractérisation hydro chimique de la nappe infra basaltique.....	44
III.2.1. Les paramètres physico-chimiques .....	44
III.2.1.1. La température .....	44
III.2.1.2. Le pH .....	44
III.2.1.3. La Conductivité électrique .....	45
III.2.1.3.1. Variation spatiale de la conductivité électrique .....	45
III.2.1.3.2. Evolution temporelle de la conductivité électrique.....	46
III.2.2. Evolution de la salinité de la nappe en rapport avec les prélèvements.....	55
III.2.2.1. Variation spatiale des teneurs en chlorures.....	55
III.2.2.2. Evolution temporelle des teneurs en chlorures .....	56

III.2.3. Evolution et distribution spatiale des teneurs en nitrates .....	64
III.2.3.2. Evolution des teneurs en nitrates .....	65
III.2.4. Variation spatiale des autres éléments chimiques.....	70
III.2.5. Faciès chimiques des eaux de la nappe.....	75
III.2.6. Impact des pompages sur la chimie des eaux de la nappe.....	77
III.2.6.1. Box plot des ions majeurs .....	77
III.2.6.2. Matrice de corrélation des éléments chimiques .....	78
III.2.6.3. Diagrammes binaires .....	79
Conclusion partielle.....	82
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....	83
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	85
ANNEXES.....	91

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude .....	3
Figure 2 : Variation inter-annuelle de la pluviométrie à la Station de Dakar-Yoff (1989-2019).....	5
Figure 3 : Pluviométrie moyenne mensuelle à la station de Dakar-Yoff (1989-2019).....	6
Figure 4 : Température moyenne mensuelle maximale et minimale à la station de Dakar-Yoff (1989-2019).....	7
Figure 5 : Variation de la moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station de Dakar-Yoff (1989-2019) .....	8
Figure 6: Evaporation moyenne mensuelle en dixième de mm à la station de Dakar-Yoff (1989-2019).....	8
Figure 7 : Variation de l'insolation moyenne mensuelle à la station de Dakar-Yoff (1989-2019).....	9
Figure 8 : Vitesse moyenne mensuelle des vents à la station de Dakar-Yoff (1989-2019) ....	10
Figure 9 : Carte géologique de la presqu'île du Cap Vert (Hébrard, 1966).....	13
Figure 10 : Coupe synthétique du quaternaire ancien de la tête de la presqu'île de Dakar (Gaye, 1980).....	15
Figure 11 : Cadre structural de la presqu'île du cap vert (MH/OMS, 1972) .....	17
Figure 12 : Les grandes unités hydrogéologiques de la presqu'île du cap vert (Sarr, 2000 ; in Diouf 2012) .....	18
Figure 13: Coupe géologique E-O de la presqu'île du Cap-Vert (DGPRES, 2009) .....	19
Figure 14 : Coupe géologique NW-SE de la presqu'île de Dakar (DGPRES, 2009).....	20
Figure 15 : Carte du toit de la nappe infrabasaltique (OMS, 1972 Modifié ; in Diouf 2012). 21	
Figure 16 : Carte du mur de la nappe infrabasaltique (OMS, 1972 Modifié ; in Diouf 2012). 22	
Figure 17: Corrélation lithologique N-S à travers la zone d'étude .....	23
Figure 18 : Corrélation lithologique W-E à travers la zone d'étude .....	23
Figure 19 : Evolution des prélèvements de la nappe infrabasaltique de 1985 à 2018 .....	26
Figure 20: Carte piézométrique de la nappe infrabasaltique (Décembre 1995).....	32

Figure 21: Carte piézométrique de la nappe infrabasaltique (Juin 2009).....	33
Figure 22: Carte piézométrique de la nappe infrabasaltique au mois Décembre 2019.....	33
Figure 23: Evolution de la piézométrie de 1985 à 1995 au niveau de Bad 2H et Bad 2B.....	35
Figure 24: Evolution de la piézométrie de 1985 à 1995 au niveau de Bad 3H et Bad 3B.....	35
Figure 25: Evolution de la piézométrie de 1985 à 1995 au niveau des piézomètres de Bad 4H et Bad 4B.....	36
Figure 26: Evolution de la piézométrie de 1985 à 1995 au niveau des piézomètres Bad 5H .. et Km 5 ..	36
Figure 27: Evolution de la piézométrie entre 2000 et 2010 au niveau de quelques ouvrages situés sur la côte Ouest.....	38
Figure 28: Evolution de la piézométrie entre 2000 et 2010 au niveau de quelques ouvrages situés au Nord de la presqu'île ..	38
Figure 30: Evolution de la piézométrie dans quelques piézomètres (Aéroport Yoff Bad P4 bas bis ; Dakar Mamelles Bad P2 bas bis ; Dakar Mamelles Bad P2 haut bis ; PIB2 et PIB3) de 2017 à 2020 ..	40
Figure 31: Evolution de la piézométrie dans quelques piézomètres (Aéroport Yoff P1, Stade LSS P1, Cimetière Yoff P1, Km 5 et Hann P1) de 2019 à 2020.....	41
Figure 32: Evolution de la piézométrie dans quelques piézomètres (P2 Bas bis, P2 Haut bis et PIB2) de la côte Ouest entre 2017 et 2020.....	42
Figure 33: Evolution de la piézométrie des piézomètres de PIB3 et Aéroport Yoff BAD P4 Bas entre 2017 et 2020 ..	43
Figure 34: Distribution spatiale de la conductivité électrique (Juin 2019) ..	46
Figure 35: Evolution de la conductivité électrique au niveau des forages Point M1 et Point M2 (2014 à 2019) ..	48
Figure 36: Evolution de la conductivité électrique du forage Terme Nord (2014 à 2019).....	48
Figure 37: Evolution de la conductivité électrique au Terme sud 2 (2014 à 2019).....	49
Figure 38: Evolution de la conductivité électrique au Point G1 (2014 à 2019).....	49
Figure 39: Evolution de la conductivité électrique au Camp Pénal (2014 à 2019).....	50
Figure 40: Evolution de la conductivité électrique au Fort A (2014 à 2019).....	50

Figure 41: Evolution de la conductivité électrique au Front de Terre (2014 à 2019) .....	51
Figure 42: Evolution de la conductivité électrique au niveau des ouvrages Ouest Foire, F1 Nord Foire, F2 Nord Foire et HLM Grand Yoff (2017 à 2019).....	51
Figure 43: Evolution de la conductivité électrique au niveau des ouvrages Terme Sud 3, Camp Leclerc 2 et Point G2 (2017 à 2019) .....	52
Figure 44: Evolution de la conductivité électrique au niveau des piézomètres Km5, PIB2, P-2H et P-2B (2000 à 2010) .....	53
Figure 45: Evolution de la conductivité électrique au niveau des piézomètres Km5, PIB2, Dakar Mamelle BAD P2 bas bis et de Dakar Mamelle BAD P2 haut bis (2017 à 2019).....	54
Figure 46: Evolution de la conductivité électrique de 2000 à 2020 au niveau du piézomètre de Parc Hann .....	54
Figure 47: Distribution spatiale des teneurs en chlorures (Juin 2019).....	55
Figure 48: Evolution des teneurs en chlorures au niveau des ouvrages Point M1, Point M2, Terme Nord et Camp Pénal (1978 à 2019) .....	57
Figure 49: Evolution des teneurs en chlorures au niveau des ouvrages Terme sud 2, Fort A, Front de Terre et Point G1 (1978 et 2019).....	58
Figure 50: Evolution des teneurs en chlorures au niveau des ouvrages Terme sud 3, Cité Tobago, Camp Leclerc 1, Camp Leclerc 2 et Point G2 (2015 et 2019).....	58
Figure 51: Evolution des teneurs en chlorures au niveau des ouvrages F1 Nord Foire, F2 Nord Foire, Ouest Foire, Point M3 et HLM Grand Yoff (2015 et 2019).....	59
Figure 52: Evolution des teneurs en chlorures au niveau du forage Camp Pénal (1978 à 2019) .....	60
Figure 53: Evolution des teneurs en chlorures au niveau du forage Terme Sud (1978 à 2019) .....	60
Figure 54: Evolution des teneurs en chlorures au niveau du forage Point M1 (1978 à ..... 2019).....	61
Figure 55: Evolution des teneurs en chlorures au niveau du forage Camp Leclerc (2015 à 2019).....	61
Figure 56: Evolution des teneurs en chlorures au niveau des piézomètres P2 bas et P2 haut (1978 à 2019) .....	63

Figure 57: Evolution des teneurs en chlorures au niveau du piézomètre PIB1 (2000 à 2019)	63
Figure 58: Evolution des teneurs en chlorures au niveau des piézomètres PIB2 et PIB3 (2000 à 2019).....	64
Figure 59: Distribution spatiale des teneurs en nitrates (Juin 2019).....	65
Figure 60: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages Camp pénal et Front Terre (2014 – 2019).....	66
Figure 61: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages Terme sud 2 et Terme sud 3 (2014 – 2019).....	66
Figure 62: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages Terme Nord, Fort A et Cité Tbago (2014 – 2019).....	67
Figure 63: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages Point M1, Point M2 et Point G2 (2014 – 2019).....	67
Figure 64: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages Camp Leclerc F1 et Camp Leclerc F2 (2014 – 2019).....	67
Figure 65: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages Nord Foire F1, HLM Grand Yoff et Ouest Foire (2014 – 2019).....	68
Figure 66: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages Aéroport Yoff BAD P4 Bas et Parcelles Assainies PIB3 (Janvier 2017-Mars 2019).....	68
Figure 67: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages Ouakam PIB2 et Camp Leclerc F1 (Janvier 2017-Mars 2019).....	68
Figure 67: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages F1 Nord Foire et F1 Ouest Foire (Janvier 2017-Mars 2019).....	69
Figure 68: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages Point M3 et Point M Bis (Janvier 2017-Mars 2019).....	69
Figure 69: Evolution des teneurs en nitrates au niveau des ouvrages P-2B et P-2H (Janvier 2017-Mars 2019).....	69
Figure 70: Distribution spatiale des teneurs en sodium (Juin 2019).....	72
Figure 71: Distribution spatiale des teneurs en calcium (Juin 2019).....	72
Figure 72: Distribution spatiale des teneurs en magnésium (Juin 2019).....	73
Figure 73: Distribution spatiale des teneurs en potassium (Juin 2019).....	73

Figure 74: Distribution spatiale des teneurs en bicarbonates (Juin 2019).....	74
Figure 75: Distribution spatiale des teneurs en sulfates (Juin 2019).....	74
Figure 76: Diagramme de Piper des eaux de la nappe infrabasaltique (Juin 2019) .....	75
Figure 77: Box plot des ions majeurs .....	78
Figure 78 : Relation entre $\text{Na}^+$ et $\text{Cl}^-$ des eaux de nappe .....	80
Figure 79 : Relation entre $\text{NO}_3^-$ et $\text{Cl}^-$ des eaux de nappe .....	81
Figure 80 : Diagramme binaire du ratio molaire $\text{Na}/\text{Cl}$ en fonction de $\text{Cl}$ des eaux de nappe	81
Figure 81 : Diagramme binaire du ratio molaire $\text{Cl}/\text{HCO}_3^-$ en fonction de $\text{Cl}$ .....	82

## Liste des tableaux

Tableau 1: Les nouveaux forages captant la nappe infrabasaltique et leurs caractéristiques....	26
Tableau 2: Récapitulatif des données physico-chimique et chimique de la nappe infrabasaltique.....	29
Tableau 3: Statistique descriptive des valeurs de température de la nappe infra basaltique .....	44
Tableau 4: Statistique descriptive des valeurs de pH de la nappe infra basaltique .....	45
Tableau 5 : Matrice de corrélation des éléments chimiques .....	78

## **ACRONYMES ET ABREVIATIONS**

**AEP** : Alimentation en eau potable

**SONES** : Société Nationale des Eaux du Sénégal

**PDU** : Plan directeur d'urbanisme

**ANACIM** : Agence National de l'Aviation civil et de la Météorologie

**DGPRES** : Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**CE** : Conductivité électrique

## Résumé

La nappe infrabasaltique est située dans une zone côtière, à l'extrême Ouest de la presqu'île du Cap-Vert. Cet aquifère est largement en communication avec l'océan Atlantique qui constitue ses limites Ouest, Nord et Sud ce qui la rend vulnérable à l'intrusion saline. Il s'étend sur une superficie d'environ 63 Km<sup>2</sup> et représente une ressource primordiale pour la ville de Dakar. Ce système est soumis à des pompages intensifs pour contribuer à la satisfaction de la demande en eau sans cesse croissante de la ville de Dakar. Ainsi, La production de la nappe passe de 17 817 m<sup>3</sup>/j en 2014 à 42489 m<sup>3</sup>/j en 2019. Cette production actuelle a largement dépassé le débit d'équilibre supposé de la nappe infra basaltique qui est de 18000 m<sup>3</sup>/j.

Cette présente étude vise à déterminer l'impact de l'augmentation des prélèvements sur la piézométrie et de suivre l'évolution spatio-temporelle de la minéralisation des eaux pour une gestion durable de la ressource.

L'évolution de la piézométrie de la nappe montre une baisse généralisée des niveaux piézométriques causée par le pompage excessif des forages. Cette baisse est faible dans la partie Nord, forte dans le secteur Ouest. Au niveau des ouvrages P1 Aéroport Yoff ; P1 Stade LSS ; P1 Cimetière Yoff et Parc Hann, le niveau piézométrique est très marqué par les variations saisonnières.

Les caractéristiques physico-chimiques révèlent que les eaux sont majoritairement acides à neutres et une minéralisation moyenne à forte s'observe au niveau des secteurs de Hann, Ouakam et de Yoff. Les eaux de la nappe sont caractérisées par deux types de faciès chimiques : faciès chloruré calcique et magnésien (70%) et faciès chloruré sodique et potassique (30%). L'interprétation des résultats a montré que l'intrusion marine joue un rôle important dans la minéralisation des eaux de la nappe.

**Mots-clés :** Nappe infrabasaltique, pompage intensif, piézométrie, minéralisation, intrusion marine.

## INTRODUCTION

La zone d'étude, avec une superficie d'environ 63 Km<sup>2</sup>, est située au niveau de la tête de la presqu'île du Cap-Vert de Dakar. Elle abrite la nappe infrabasaltique qui contribue à l'alimentation en eau potable de Dakar à travers un réseau de 21 forages. La nappe est constituée de sables quaternaires et son toit est formé par les coulées basaltiques qui la rendent captive.

Dakar, capitale administratif et économique du Sénégal, abrite une bonne partie de la population du pays ainsi que l'essentiel des industries. Une partie de l'Approvisionnement en eau potable (à hauteur de 4%) est assurée par la nappe infrabasaltique.

Dakar connaît depuis ces dernières années un déficit d'accès à l'eau potable. Pour pallier à ce déficit, la SONES a initié depuis 2015 des programmes d'urgence consistant à l'exécution de nouveaux forages.

L'exploitation intensive au niveau de certains ouvrages captant la nappe infrabasaltique peut provoquer une dégradation de la qualité pouvant ainsi aboutir à l'abandon de certains forages. Ainsi un contrôle doit être mis en place afin de prévenir les risques d'intrusions et préserver la qualité de la nappe.

C'est dans ce contexte que le sujet intitulé « Impact des prélèvements sur le comportement hydrodynamique et hydrochimique de la nappe infrabasaltique de Dakar » nous a été proposé par la SONES.

L'objectif de ce mémoire est de comprendre le comportement hydrodynamique et hydrochimique de la nappe infrabasaltique dans un contexte de forte exploitation. Les objectifs spécifiques consistent à déterminer l'impact de l'augmentation des prélèvements sur la piézométrie et de suivre l'évolution spatio-temporelle de la salinisation de la nappe.

Ce présent mémoire est structuré en trois chapitres.

Dans le premier chapitre nous présentons la zone d'étude dans son contexte physique, climatologique, géologique et hydrogéologique.

Le deuxième chapitre présente les matériels et les méthodes utilisés pour réaliser cette étude. Il décrit les types de données nécessaires, leur acquisition, la démarche méthodologique et à la présentation des différents outils utilisés pour atteindre les objectifs visés.

Le troisième chapitre est consacré à l'analyse et à l'interprétation des résultats obtenus. Cette partie étudie l'évolution quantitative et qualitative de la nappe infrabasaltique.

Pour terminer une conclusion générale de ce travail ainsi que quelques recommandations sont dégagées.

## CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### I.1. Cadre physique

#### I.1.1. Situation géographique

La presqu'île du Cap-Vert, constitue la partie la plus occidentale du continent africain. Elle est située à l'extrême ouest du Sénégal entre les longitudes 17°25 et 17°30 W et les latitudes 14°40 et 14°45 N.

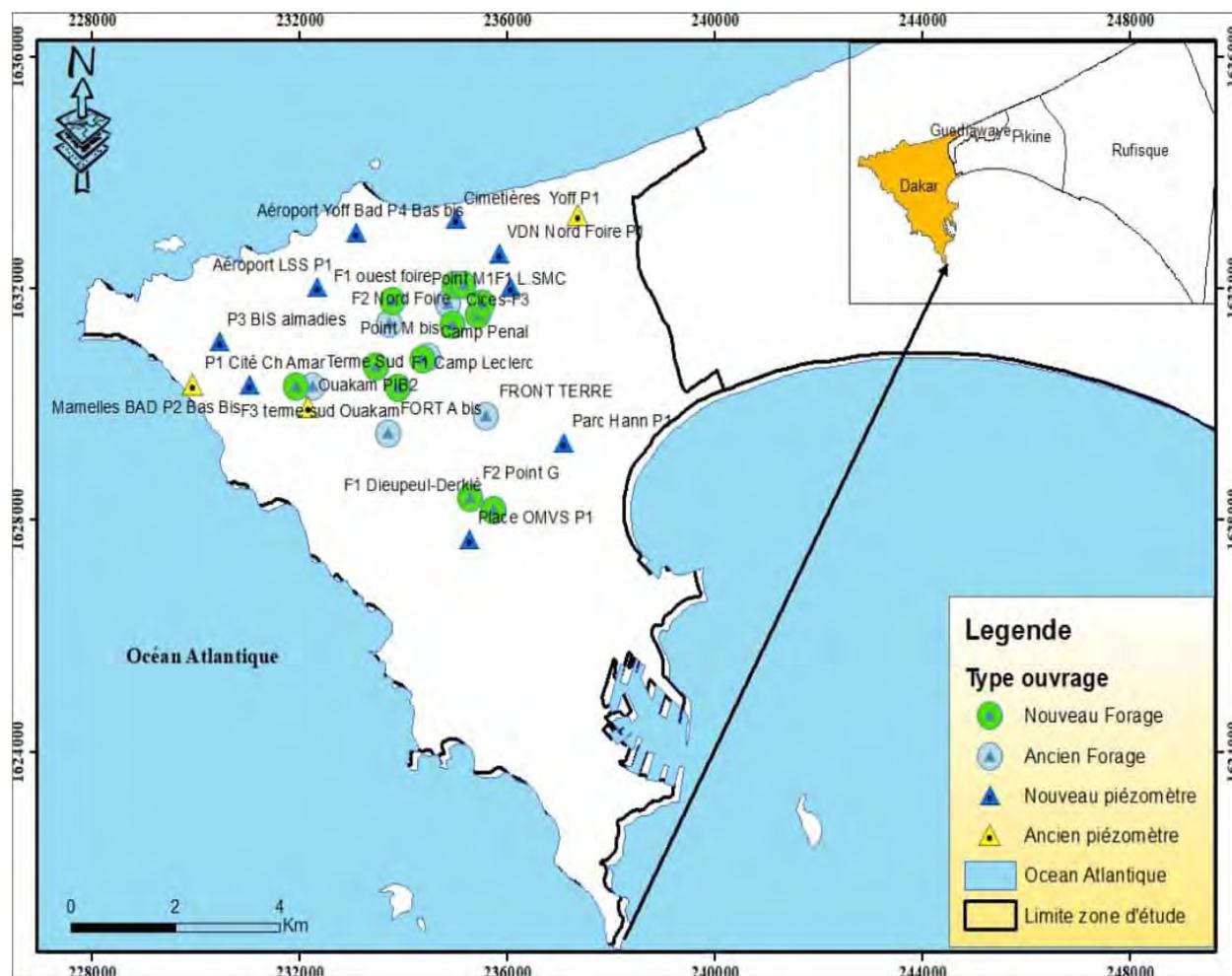


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

#### I.1.2. Situation Socio-économique

La région de Dakar occupe une place importante dans l'économie du Sénégal. Une situation géographique particulière, des installations portuaires et aéroportuaires et un réseau de communication très dense, ont fait de la région une ville de convergence politique, économique et culturelle. Elle détient 55% du PIB avec 83% des entreprises modernes et concentre aussi 94% des entreprises nationales soit en 2000, environ 1196 entreprises des 1272 que comptait le pays (PDU, 2003).

### **I.1.3. Evolution démographique**

La région de Dakar occupe une place importante dans l'économie sénégalaise. Sa population ne cesse de s'accroître du fait de nombreuses activités socio-économiques qui s'y déroulent. L'augmentation de la population dakaroise est favorisée par le développement industriel qu'a connu la région et par l'exode rural dû à la sécheresse des années 1970. La population de la ville qui était de 132 000 habitants en 1946 est passée à 214 000 habitants en 1955. L'accroissement démographique s'est poursuivi et la population atteint 374 000 habitants en 1961 ; 583 000 habitants en 1971 ; 650 000 habitants en 1972 ; 799 000 habitants en 1976 et 1 488 941 habitants en 1988. En 2006, elle atteint 2 496 244 habitants. D'après le recensement de 2013, la population de la région de Dakar est de 2 956 023 habitants. La projection du PDU estime que la région aura plus de 5 millions d'habitants en 2025. (PDU, 2003)

Cette population est inégalement répartie. La population est plus concentrée dans le département de Dakar avec une population de 1 001 468 habitants (PDU, 2003).

Cette croissance démographique et l'industrialisme rapide ont occasionné une forte demande en eau.

### **I.2. Cadre climatique**

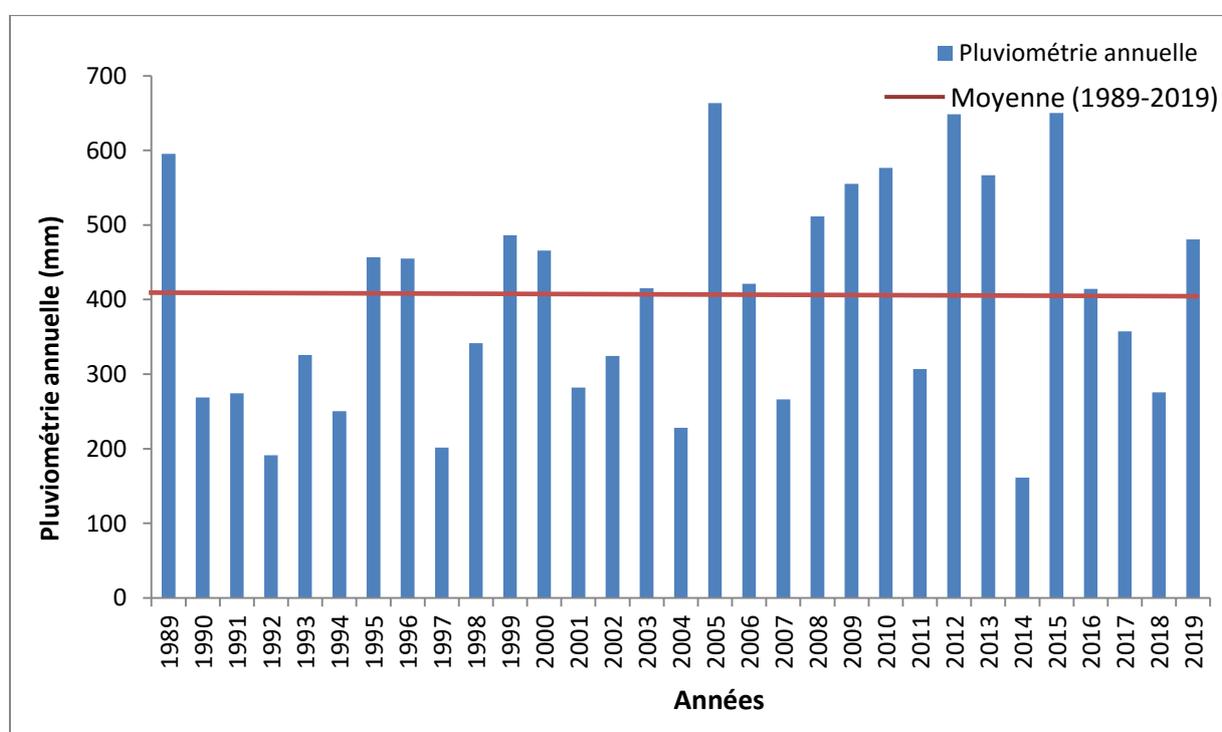
La position avancée de Dakar dans l'Atlantique lui confère un microclimat particulier. Celui-ci est fortement influencé par les alizés maritimes (de Novembre à Juin) et la mousson (de Juillet à Octobre) suivant les directions N-NW et S-SE (Le Borgne, 1988 ; Olivry, 1989). Ce microclimat bien individualisé est caractérisé par une longue saison sèche de Novembre à Mai, relativement fraîche, et une courte saison des pluies, humide et chaude de Juin à Octobre.

Les données climatiques portant sur la pluviométrie, la température, l'humidité relative, l'insolation et la vitesse des vents ont été recueillies à l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) et concernent la Station de Dakar-Yoff pour la période 1989-2019.

## I.2.1. La pluviométrie

La variabilité interannuelle de la pluviométrie est très importante. Les quantités de pluies enregistrées annuellement varient en moyenne entre 161mm (en 2014) à 663mm (en 2005).

L'évolution de la pluviométrie inter-annuelle de 1989 à 2019 au niveau de la station de Dakar-Yoff montre un cumul moyen de 401 mm. La dynamique de la fluctuation de la pluviométrie par rapport à la moyenne met en évidence une forte variabilité inter-annuelle avec des années excédentaires (1989, 1995, 1996, 1999, 2000, 2005, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2015 et 2019) et déficitaires (1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1997, 1998, 2001, 2002, 2004, 2007, 2011, 2014, 2017 et 2018). (Figure 2)



**Figure 2 : Variation inter-annuelle de la pluviométrie à la Station de Dakar-Yoff (1989-2019)**

La pluviométrie moyenne mensuelle enregistrée à la station de Dakar Yoff sur la période de 1989-2019 (figure 3) indique que la presque totalité des précipitations est concentrée sur deux mois (Août et Septembre) avec un maximum au mois d'Août (179mm) qui est le mois le plus pluvieux.

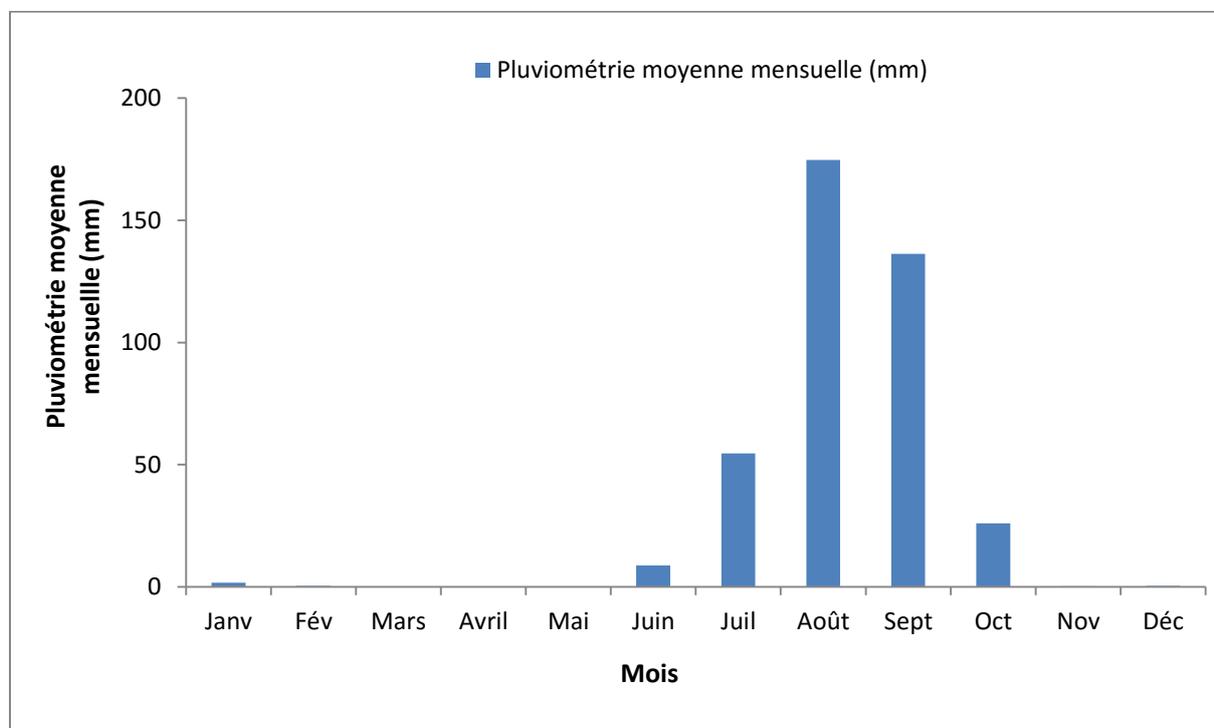


Figure 3 : Pluviométrie moyenne mensuelle à la station de Dakar-Yoff (1989-2019)

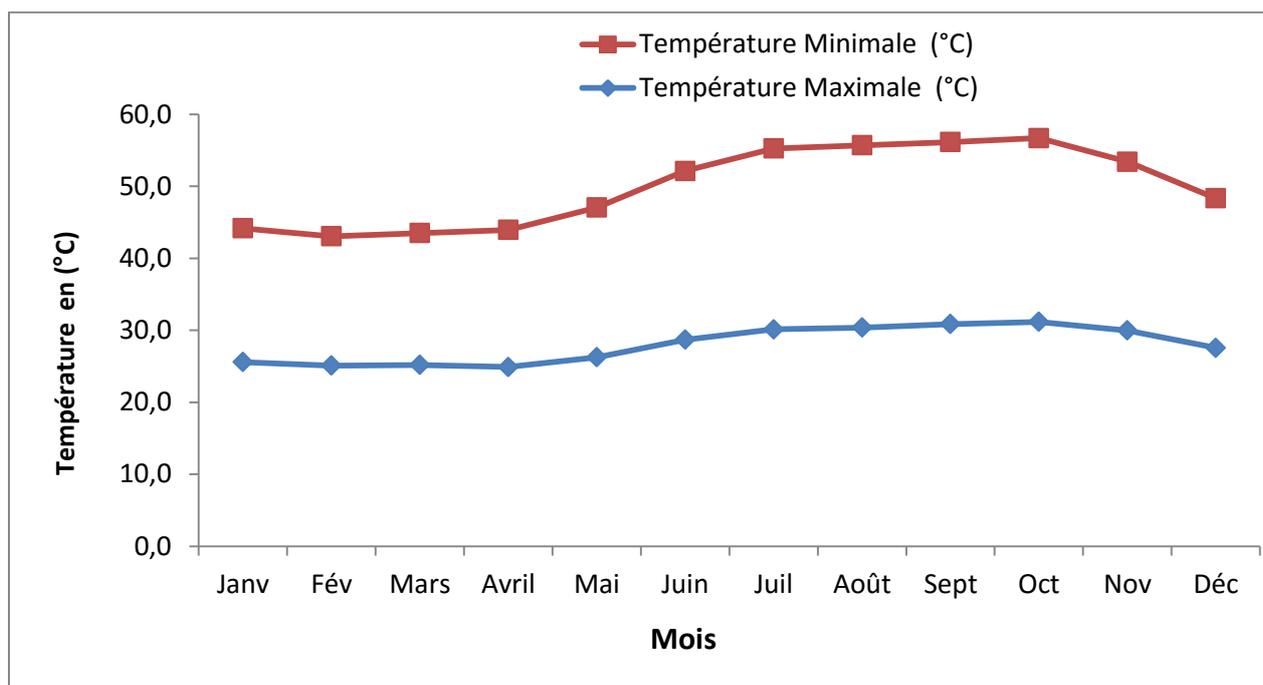
## I.2.2. Température

Les données de température moyennes mensuelles subdivisent l'année en une saison fraîche et une saison chaude.

Les températures moyennes mensuelles maximales les plus élevées se situent entre 28.7 et 31.2 °C et se rencontrent durant la saison des pluies (de Juillet à Octobre) qui correspond à la période, la plus chaude. Le pic observé au mois d'octobre correspond à la fin de la saison des pluies (Figure 4). Les températures les plus basses sont rencontrées durant la saison sèche (Novembre à Mai) avec des valeurs oscillantes entre 24 et 27.6 °C.

Les températures moyennes mensuelles minimales sont inférieures à 26°C. Les moyennes minimales de températures les plus élevées sont observées durant la saison des pluies et les plus basses sont rencontrées durant la saison sèche.

Les amplitudes entre les températures moyennes mensuelles minimales et maximales varient de 5 à 7.1 °C.

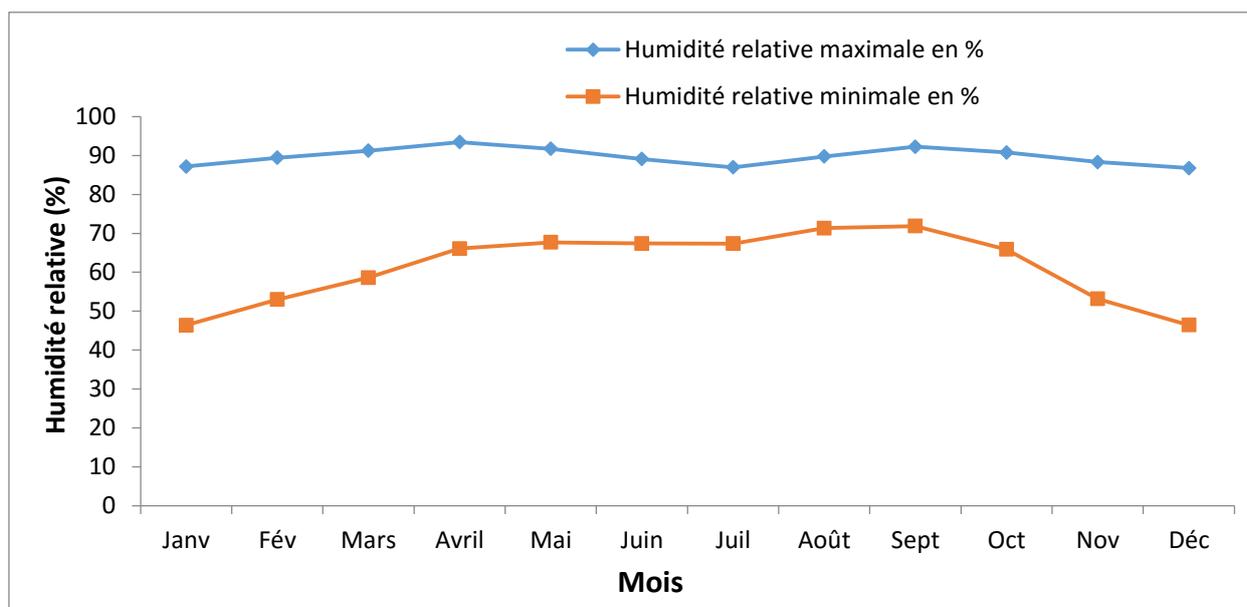


**Figure 4 : Température moyenne mensuelle maximale et minimale à la station de Dakar-Yoff (1989-2019)**

### **I.3.3. L'humidité relative**

L'humidité relative peut être définie comme le rapport de la pression effective de la vapeur d'eau à la pression maximale. La répartition de l'humidité relative dépend de la température de l'air mais également de l'influence de l'alizé maritime et de la mousson.

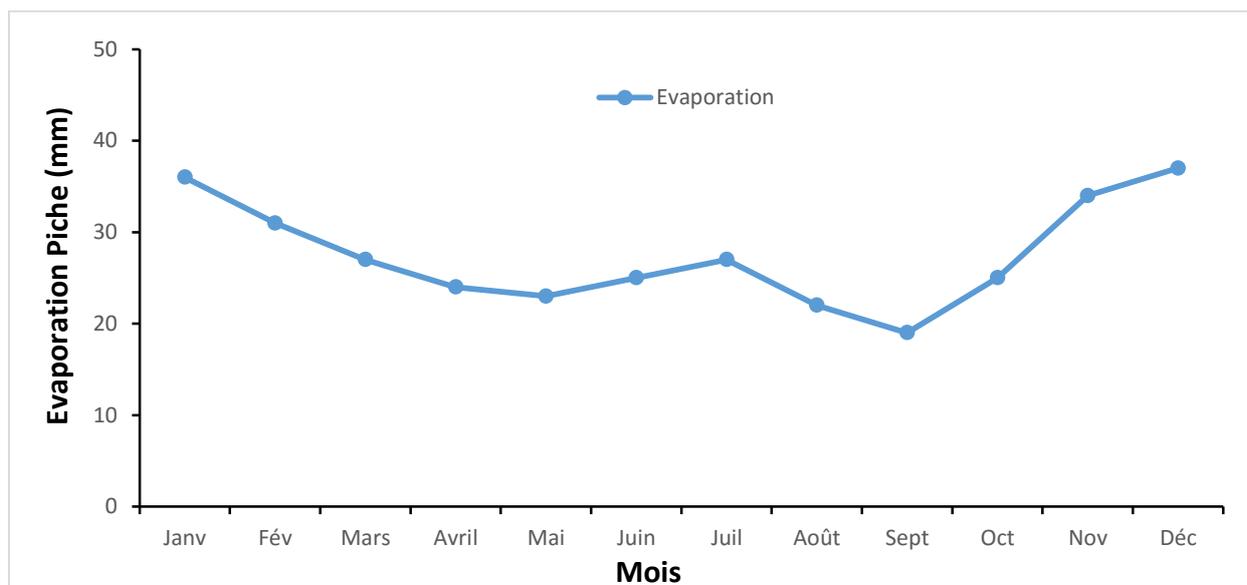
La variation de l'humidité relative à la station de Dakar-Yoff entre 1989-2019 (Figure 5) montre que les valeurs les plus élevées de l'humidité relative maximale sont enregistrées durant les mois de Mai, Aout et Septembre correspondant à la saison des pluies avec un maximum au mois de Septembre (93%). On observe la valeur minimale (46%) au mois de Janvier. L'occurrence des pluies en Août et Septembre pourrait expliquer le maximum d'humidité relative enregistré durant ces mois avec des valeurs supérieures à 90%. Par contre, le minimum de Janvier et de Février s'expliquerait par la présence de vents peu chargés en humidité.



**Figure 5 : Variation de la moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station de Dakar-Yoff (1989-2019)**

### I.3.4. L'évaporation

L'évaporation est mesurée à l'aide d'un évaporomètre Piche. C'est un paramètre souvent utilisé dans l'estimation de la recharge et dans le calcul des bilans hydriques. Les valeurs d'évaporation sont inversement proportionnelles à celles de l'humidité relative. La moyenne d'évaporation est de 2.7 mm/j. Elle est plus prononcée en saison sèche qu'en saison de pluie. Les plus faibles valeurs sont enregistrées pendant l'hivernage (pendant les mois d'août et septembre) alors que les plus fortes valeurs sont observées pendant les mois de Novembre, Décembre et Janvier avec une valeur maximale de 3.7 mm/j. (Figure 6)



**Figure 6: Evaporation moyenne mensuelle en dixième de mm à la station de Dakar-Yoff (1989-2019)**

### I.3.5. L'insolation

L'insolation est souvent utilisée pour l'estimation de l'évapotranspiration. C'est un paramètre qui dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels, la nébulosité, la poussière, la précipitation et de la durée du jour et de la nuit.

Les valeurs les plus élevées d'insolation au niveau de la station de Dakar-Yoff entre 1989-2019 sont enregistrées au mois de Mars, Avril et Mai avec une valeur maximale de 9.2 h/j (Avril). Les plus faibles valeurs (comprises entre 6.9 et 7.1 h/j) sont observées pendant la saison des pluies entre les mois de Juillet, Août et Septembre et aux mois de Décembre et Janvier (Figure 7).

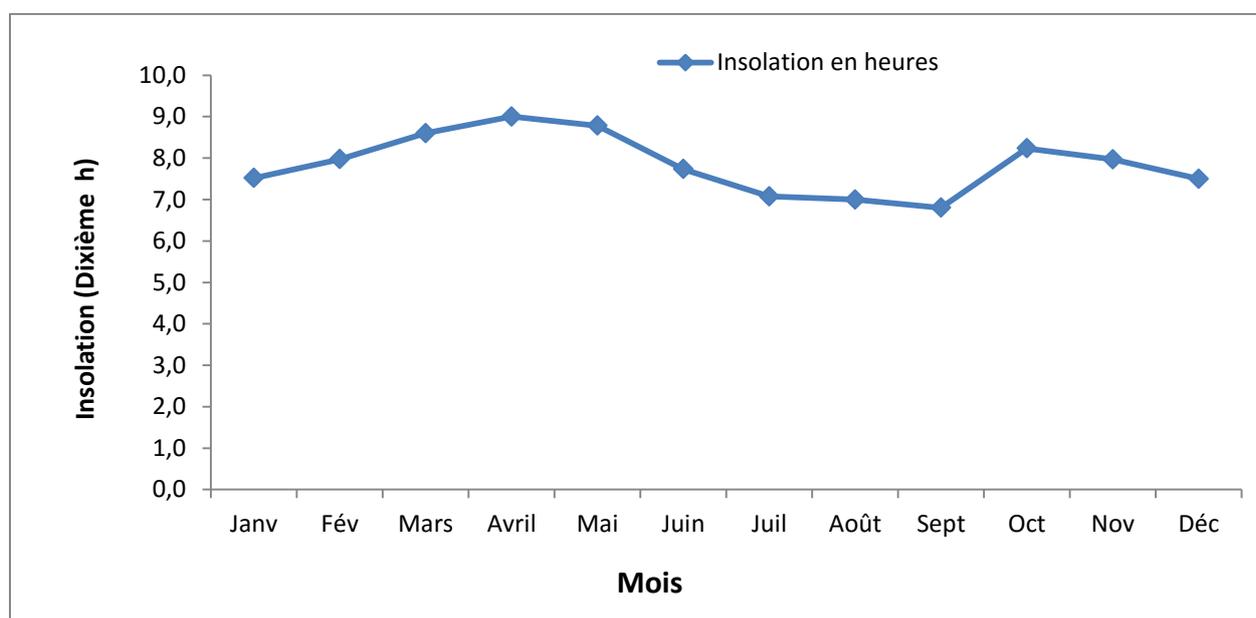
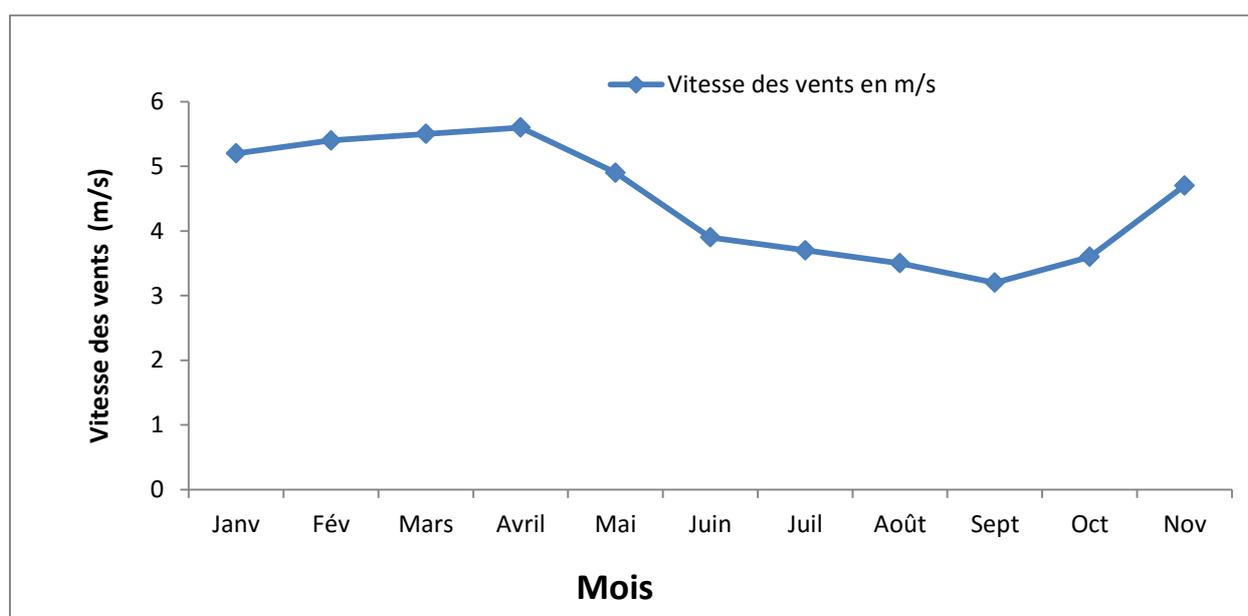


Figure 7 : Variation de l'insolation moyenne mensuelle à la station de Dakar-Yoff (1989-2019)

### I.3.6. Vitesse des vents

Les valeurs moyennes mensuelles de vitesse des vents les plus élevées sont observées au mois d'Avril avec une valeur de 5.6 m/s. Les valeurs les plus faibles sont rencontrées au mois d'Août, Septembre et Octobre avec un minima de 3.2 m/s (Septembre) (Figure 8).



**Figure 8 : Vitesse moyenne mensuelle des vents à la station de Dakar-Yoff (1989-2019)**

La direction des vents est variable et dépend fortement des différences de pression et des variations de la température. Ces vents présentent généralement des directions N-NE, N-NW et N-NNW.

### **I. 3. Cadre géologique**

Le bassin sénégalo-mauritanien, qui est un des plus grand bassin sédimentaire atlantique, s'étend sur 500000 Km<sup>2</sup>. La zone d'étude correspond à sa partie la plus occidentale. Dans cette partie du bassin la subdivision litho-stratigraphique est connue grâce aux observations des affleurements le long de la cote et les données fournies par les nombreux forages d'exploitation d'eaux et pétroliers.

Cette synthèse est tirée des travaux antérieurs réalisés par Martin (1970) ; Grévole et Gaye (1979) ; Gaye (1983) ; Sarr (2000) ; Diouf (2005)

Dans le cadre de cette étude, nous nous limiterons aux formations du tertiaire qui constituent le substratum de la nappe et à celle du quaternaire qui forment l'aquifère.

#### **I.3.1 La Stratigraphie des formations de la presqu'île du Cap-Vert**

##### **❖ Les formations du tertiaire**

Les formations d'âge tertiaire affleurent largement dans la partie sud de la tête de la presqu'île, elles ont également été rencontrées dans les sondages pétroliers. Le tertiaire est caractérisé par des formations argileuses et marneuses.

On peut distinguer les formations suivantes :

- **Le paléocène inférieur**

Le paléocène inférieur est constitué par des marnes argileuses, des marnes calcaires et des argiles. Il affleure sur la côte Est dans l'anse des Madeleines et dans la zone comprise entre le Palais de la république et la plage des enfants. Cet ensemble, d'une dizaine de mètres d'épaisseurs à l'affleurement, peut dépasser 200 mètres dans les sondages (Castelain et al. 1965)

- **L'Eocène inférieur (Yprésien)**

L'éocène inférieur est marqué par une transgression et se manifeste par des dépôts marneux ou argileux qui correspondent aux affleurements des limons de l'hôpital (argiles silicifiées) à la base et les argiles de la prison (attapulgites) au sommet (Martin.1970).

- **L'Éocène moyen**

L'éocène moyen forme le talus de la plage Bernard. Il affleure à Dakar dans les marnes de la poudrière et les marno-calcaires de la plage de l'Anse Bernard. Les marnes de la poudrière sont recouvertes par les marno-calcaires de la plage de l'Anse Bernard (Gaye, 1986). Le sommet de l'éocène moyen (bartonien) est connu uniquement en sondage et correspond à la base des argiles de Yoff (Castelain et al. 1965). (Figure 9)

- **L'éocène supérieur**

L'éocène supérieur n'affleure nul part dans la tête de la presqu'île. Il a été rencontré dans le sondage DK2 à Yoff, où il est représenté par un niveau argileux beige ou argiles de Yoff, épais de 100m (Bellion, 1987). L'absence de formation d'âge éocène supérieur sur la majeure partie de la tête de la presqu'île indique que la mise en place du horst de Dakar s'est effectuée à cette époque.

- **L'oligo-miocène**

A Dakar, l'oligocène n'est connu qu'à travers les calcaires à lépidocyclines emballés dans des tufs volcaniques. Une transgression oligocène semble être à l'origine du dépôt de ces calcaires à lépidocyclines (Castelain et al. 1965).

Le miocène correspond à une période d'altération et d'érosion continentale qui s'accompagnent d'une intense activité volcanique. C'est ce volcanisme intense qui a donné naissance aux tufs des Madeleines et à des coulées d'ankaratrite et de basanite, qui affleurent largement sur tout le littoral sud entre la pointe de Fann et le Cap-Manuel. Ces formations volcaniques sont recouvertes par une cuirasse latéritique qui marque la fin du Tertiaire et le début du Quaternaire (Tessier & Lappartient, 1967).

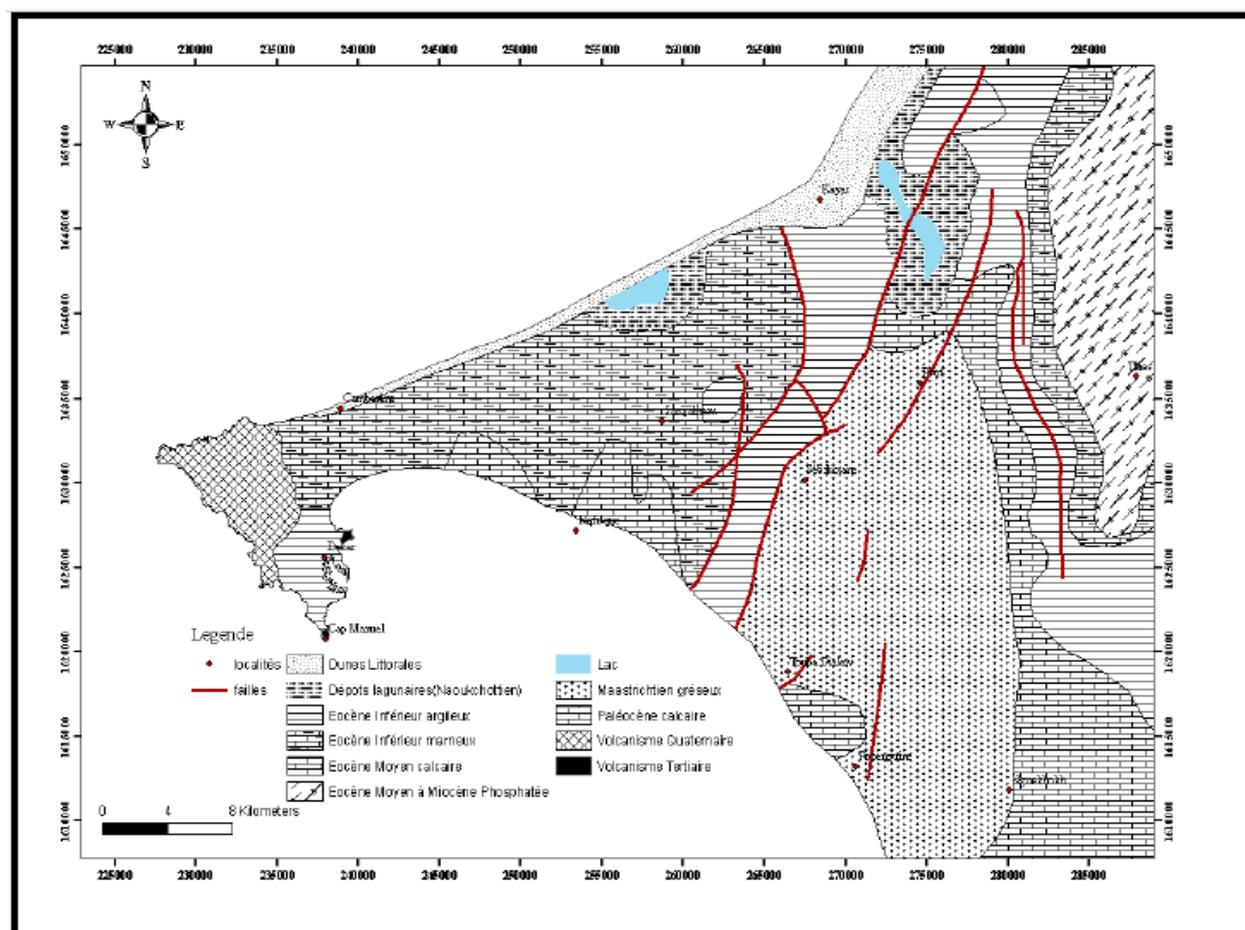


Figure 9 : Carte géologique de la presqu'île du Cap Vert (Hébrard, 1966)

## ❖ Les formations du Quaternaire

Nous distinguons un quaternaire ancien, essentiellement 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 des dépôts sableux et des plages rencontrées à Dakar (Crévola & Gaye, 1979).

Les faciès du quaternaire sont très variés. Dans la presqu'île du Cap vert, le quaternaire est rencontré sur la tête de la presqu'île où les dépôts sont fossilisés par les coulées volcaniques des Mamelles (sables infrabasaltiques). Au niveau du col de la presqu'île, les dépôts du quaternaire recouvrent ceux de l'éocène et constituent le système aquifère de Thiaroye.

### • Quaternaire ancien (Le Pléistocène)

#### a) L'Inchirien (40.000 à 31.000 ans BP)

Il correspond à une élévation du niveau marin au-delà de l'actuelle ligne de rivage. Il est subdivisé en deux périodes : l'Inchirien inférieur (40 000 à 37 000 ans BP) et l'Inchirien supérieur (33 000 à 31 000 ans BP).

Il est constitué des formations sédimentaires suivantes (Hébrard et Elouard, 1976):

- **les sables infrabasaltiques** situés à la base des premières coulées du volcanisme des Mamelles sur le littoral entre Mermoz et Ouakam ;
- **les grès à ciment calcaire** datés de l'Inchirien supérieur sont rencontrés sur le littoral entre Yoff et Cambérène et reposent sur les basanites doléritiques du volcanisme des Mamelles ;
- **les grès de plage** datés d'environ 32.000 ans BP se retrouvent sur le littoral au Sud-Est de Bargny.

**b) L'Acheuléen (30 000 ans BP)**

Cette période correspond à une régression marine qui s'accompagne d'une accumulation d'alluvions graveleuses au niveau de Thiaroye et au col de la presqu'île.

**c) L'Ogolien (20 000 à 10 000 ans BP)**

Le Pléistocène se termine par une période aride qui voit se mettre en place un environnement essentiellement continental, durant l'Ogolien (20 000 à 15 000 B.P.).

L'Ogolien correspond à la régression maximale post inchirienne où le niveau marin a atteint la côte -120 m par rapport au niveau actuel (Elouard et Hébrard, 1977). Il a donné naissance sous un climat aride à l'erg de dunes rouges (erg de Pikine) qui va réunir la tête de la presqu'île au continent, et se prolonge le long du littoral nord.

L'étude des sondages montre qu'au niveau de la tête de la presqu'île, le quaternaire ancien est constitué par une alternance de formations sédimentaires et volcaniques.

D'après leur position stratigraphique et leurs caractères lithologiques, quatre ensembles sableux et trois ensembles volcaniques sont disposés de bas en haut selon Gaye, 1980. (Figure 10)

- ensemble de sables de base ;
- ensemble volcanique inférieur ;
- ensemble des sables inférieurs ;
- ensemble volcanique moyen ;
- ensemble des sables moyens ;
- ensemble volcanique supérieur ;
- ensemble des sables supérieurs.

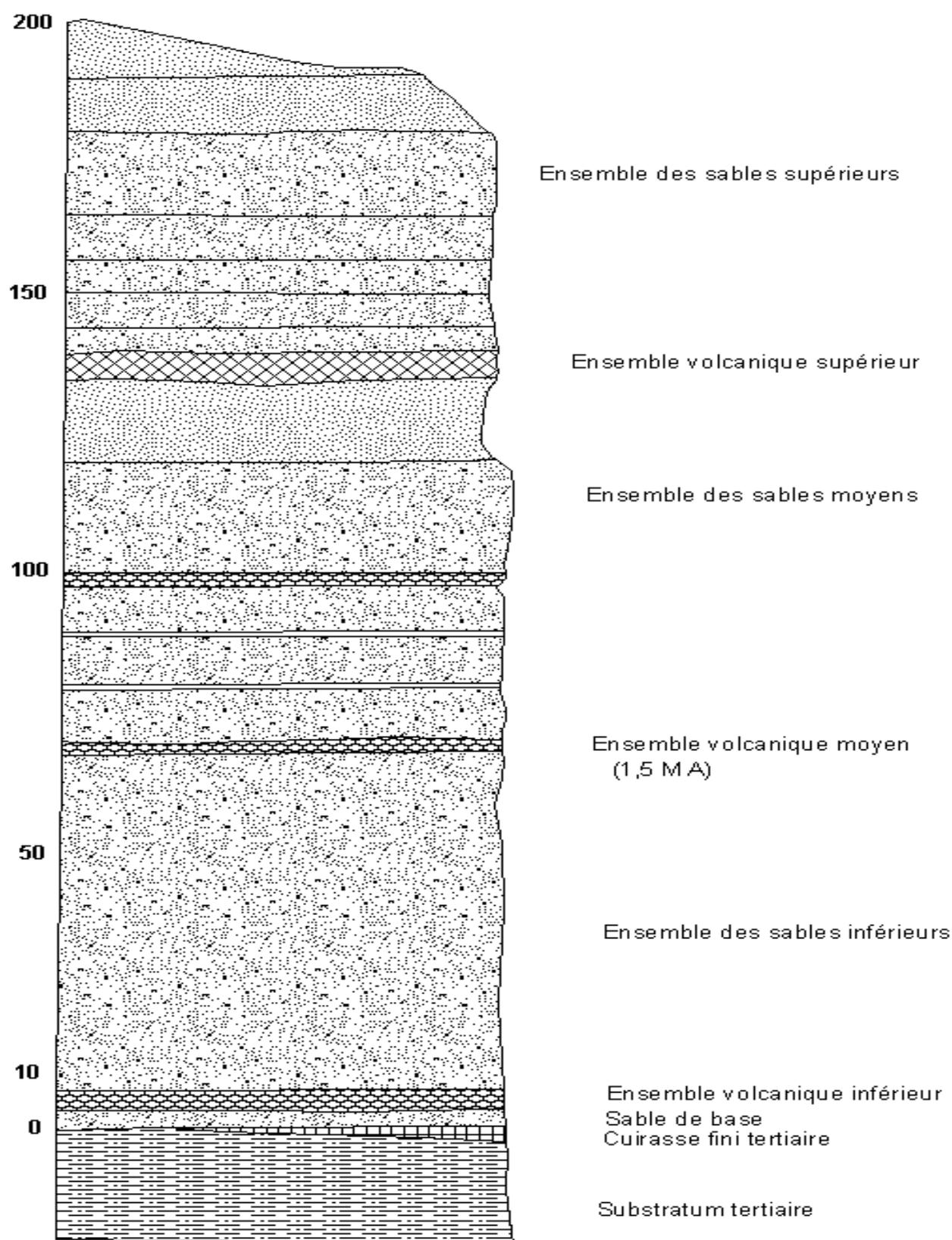


Figure 10 : Coupe synthétique du quaternaire ancien de la tête de la presqu'île de Dakar (Gaye, 1980)

- **Quaternaire récent (L'holocène)**

- a) Le Tchadien (9 000 à 8 000 ans BP)**

Vers cette époque, le climat redevient humide avec la remontée de la mer. Elle se traduit au Sénégal par des dépôts de vases d'embouchure de fleuve qui sont rencontrés actuellement en mer à la cote - 20 m (Hébrard et Elouard, 1976).

- b) Le Nouackchotien (6 800 à 4 200 ans BP)**

Il correspond à un épisode transgressif durant lequel le niveau de la mer a atteint la côte +2 m (Elouard et Hébrard, 1976). C'est une époque caractérisée par des dépôts de sables vaseux riches en coquilles (*Senilia senelis* essentiellement) qui occupent de vastes superficies (bras de mer de Pikine, les lacs Warouwaye, Youi, Mbeubeuss, lagunes de Thiaroye et de Mbao (Hébrard et Elouard, 1976).

- c) Le Tafolien (4 000 à 2 200 ans BP)**

Il correspond à un épisode régressif en climat aride où le niveau de la mer a atteint la côte -2 m (Elouard et Hébrard, 1976). Le Tafolien a donné naissance à des dunes constituées de sables fins orangés appelées « dunes jaunes » épaisses de 15 m. Ces dunes sont de direction N-NE et S-SE et constituent le cordon dunaire littoral de Cambérène qui s'étend sur une longueur d'environ 40 km entre Yoff et Kayar. Il s'élargit en allant vers le Sud. A Kayar, il ne mesure que quelques centaines de mètres de largeur mais atteint 2 km à Cambérène et se termine à Yoff en se plaquant sur les sables argileux et les roches volcaniques. Ces dunes sont essentiellement alimentées par les alizés maritimes. La zone du château d'eau de Cambérène représente le point culminant + 43 m (Elouard et Hébrard, 1976).

- d) Le Dakarien (3 000 ans BP)**

Cette période est caractérisée par la régularisation de la côte sénégalaise et la formation de longues plages sableuses rectilignes (Pointe des Almadies datée de 3 130 ans BP, Cap Manuel datée de 2 880 ans BP, Pointe de Fann datée de 1 910 ans BP). Le niveau de la mer est à la cote +2 m (Elouard et Hébrard, 1977).

### I.3.2. La Tectonique

L'instabilité tectonique qui a été observée dans la région de Dakar particulièrement au niveau de la presqu'île du Cap-Vert serait liée à l'ouverture de l'océan Atlantique. Cette ouverture a occasionné la fracturation du substratum anté-oligocène et la manifestation du volcanisme tertiaire et du quaternaire ancien. Cette partie du bassin est affectée par deux directions principales de fracturations : les failles orientés NE-SW à NNE-SSW parallèle à la ride médio-atlantique et qui sont à l'origine de la formation des horsts de Ndiass et de Dakar, et du graben de Rufisque Sangalkam ou les dépôts sont subsidents. Le massif de Diass est délimité par quatre grandes failles orientées NE-SW (Figure 11).

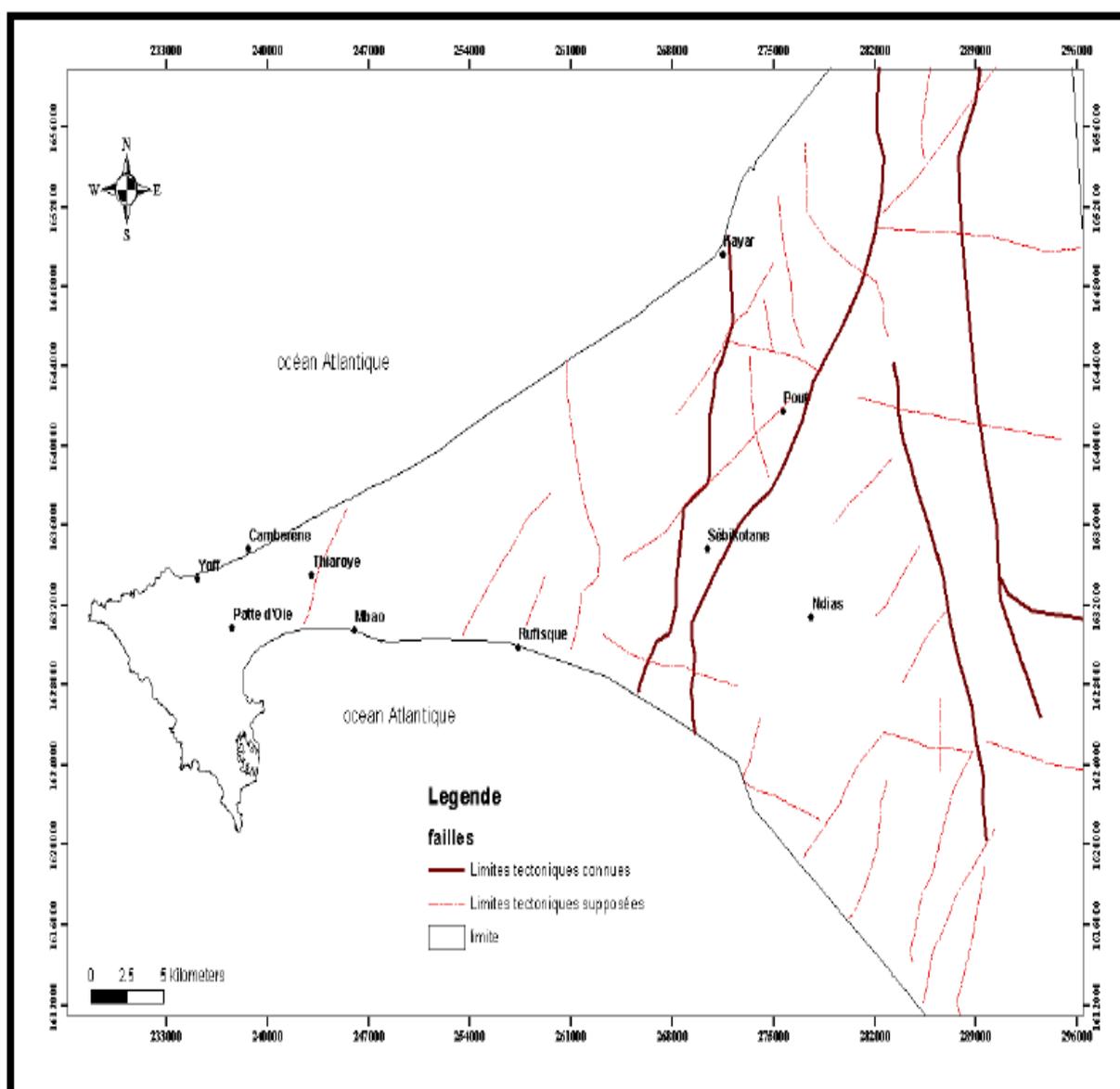


Figure 11 : Cadre structural de la presqu'île du cap vert (MH/OMS, 1972)



### I.4.1. L'aquifère des sables infrabasaltique

En 1925, un forage décèle la présence de sables aquifères sous les coulées de basaltes de la tête de la presqu'île du Cap-Vert. Ces sables marins quaternaires emprisonnés sous le volcanisme des Mamelles constituent ce que l'on a appelé la nappe infrabasaltique.

La nappe infrabasaltique, s'étend sous l'ensemble de la tête de la presqu'île du Cap-Vert, à l'exception du plateau de Dakar qui, formé essentiellement par des formations argilo-marneuses de l'éocène inférieur correspondant au relèvement du mur de la nappe (MH/OMS, 1972).

La nappe infrabasaltique, objet de notre étude, est largement en communication avec l'océan atlantique qui constitue ses limites Ouest, Nord et Sud-ouest, ce qui pose le problème d'une intrusion saline résultant souvent d'une surexploitation de la nappe. C'est une nappe peu profonde qui se trouve à l'état captive vers l'ouest et au-delà de la limite orientale d'extension du recouvrement basaltique, la nappe devient libre et se confond avec la nappe de thiaroye. A l'Est au niveau de la Patte d'Oie sa limite correspond à un dôme piézométrique qui la sépare de la nappe de Thiaroye. (Gaye, 1983). (Figure 13 et 14)

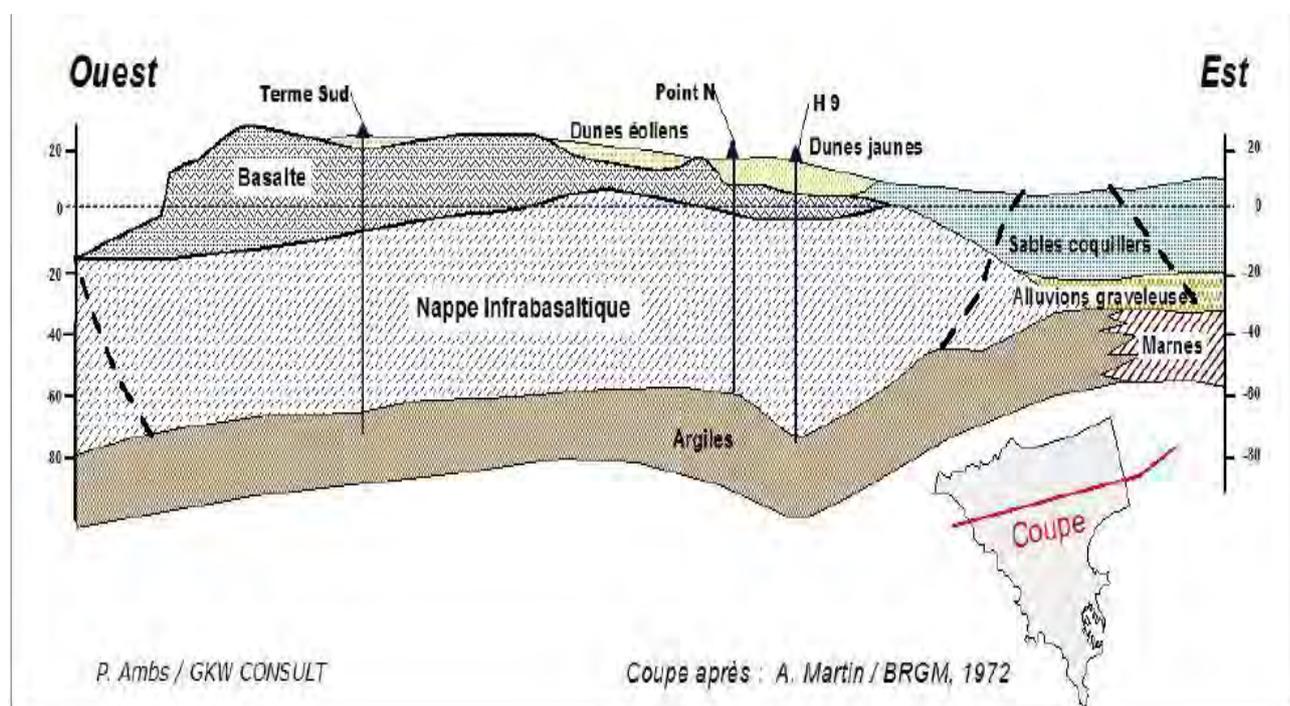


Figure 13: Coupe géologique E-O de la presqu'île du Cap-Vert (DGPRE, 2009)

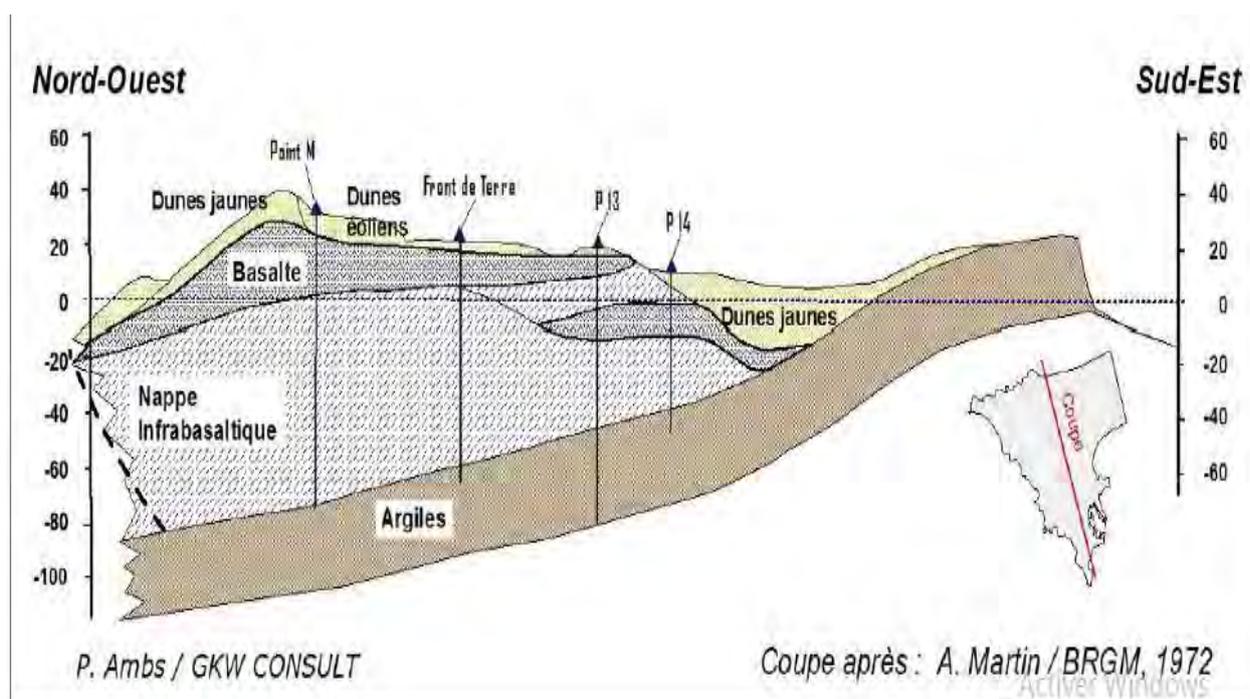


Figure 14 : Coupe géologique NW-SE de la presqu'île de Dakar (DGPRE, 2009)

#### I.4.1.1. Géométrie de l'aquifère

- **Le Toit de l'aquifère**

La nappe est captive à cause de la couverture volcanique issue de l'ancien volcanisme des Mamelles qui la surmonte dans toute sa partie occidentale. Cette couverture basaltique disparaît progressivement vers l'est en direction du col de la presqu'île et la limite orientale du recouvrement correspond à une ligne NW passant par la patte d'oie (OMS, 1972). Au delà du recouvrement volcanique la nappe devient libre (Gaye, 1983). (Figure 15).

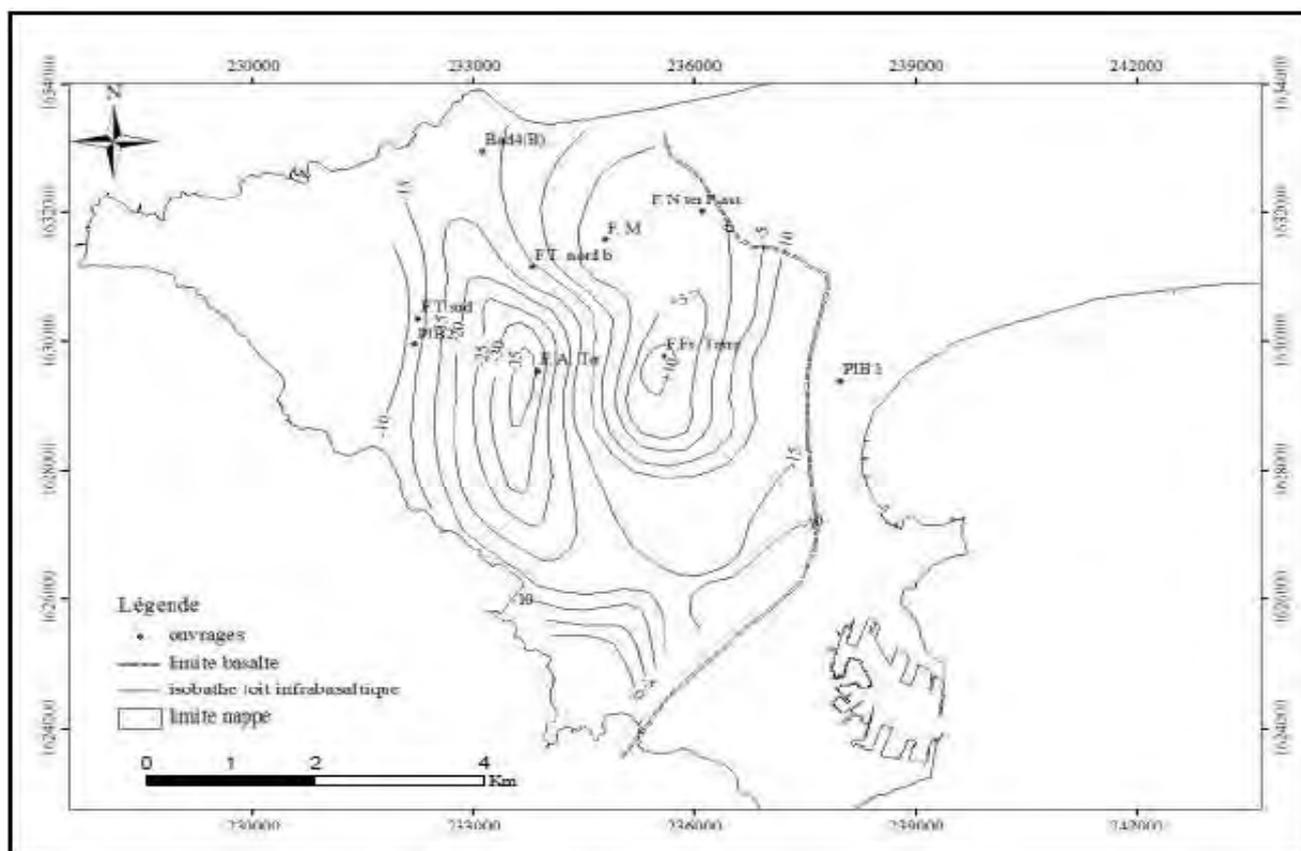


Figure 15 : Carte du toit de la nappe infrabasaltique (OMS, 1972 Modifié ; in Diouf 2012)

- **Le Mur de l'aquifère**

Le substratum de l'aquifère est composé de marnes et d'argiles de l'éocène inférieur. La profondeur du substratum est variable. Elle diminue globalement du N-S à cause du relèvement des formations marno-argileuses. Au Fort A, l'éocène (le mur) est argileux et se trouve entre 76 et 80 m. Par contre au niveau des ouvrages Terme Nord, Place OMVS et P3 bis Almadies, l'éocène marneux est rencontré entre les profondeurs de 62 et 92m (Figure 16).

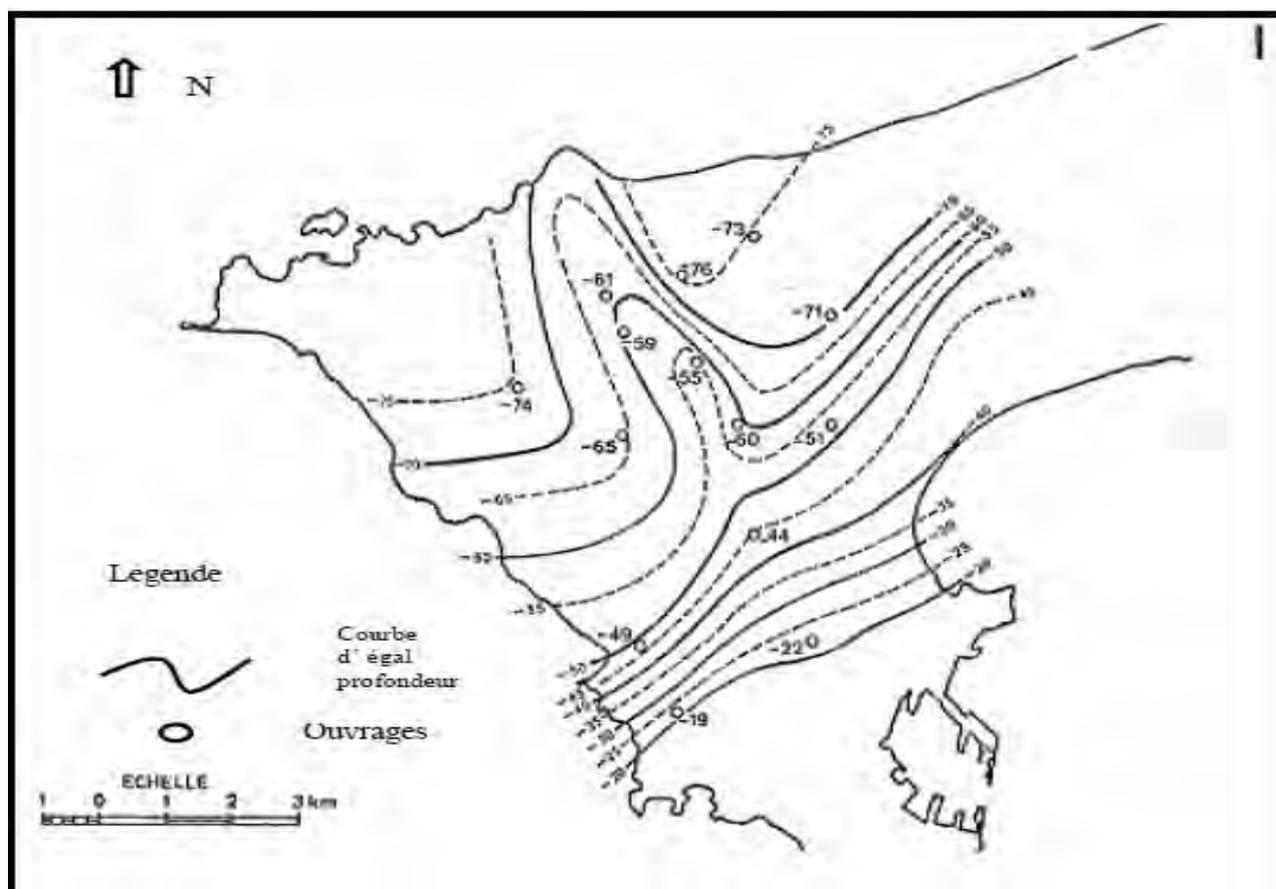


Figure 16 : Carte du mur de la nappe infrabasaltique (OMS, 1972 Modifié ; in Diouf 2012)

- **L'épaisseur de l'aquifère**

La morphologie du substratum marneux incliné vers le N-W et la forme irrégulière du toit basaltique, confèrent à l'aquifère des variations d'épaisseurs d'un point à un autre.

L'épaisseur des sables de la nappe infrabasaltique varie entre 9m (Fort A) et 42 m (Terme Nord) (Figure 17). On observe une épaisseur de 44 m au P3 bis Almadies à l'Ouest et une forte épaisseur de 78 m au P1 Stade LSS à l'Est. Dans cette partie, la nappe devient libre.

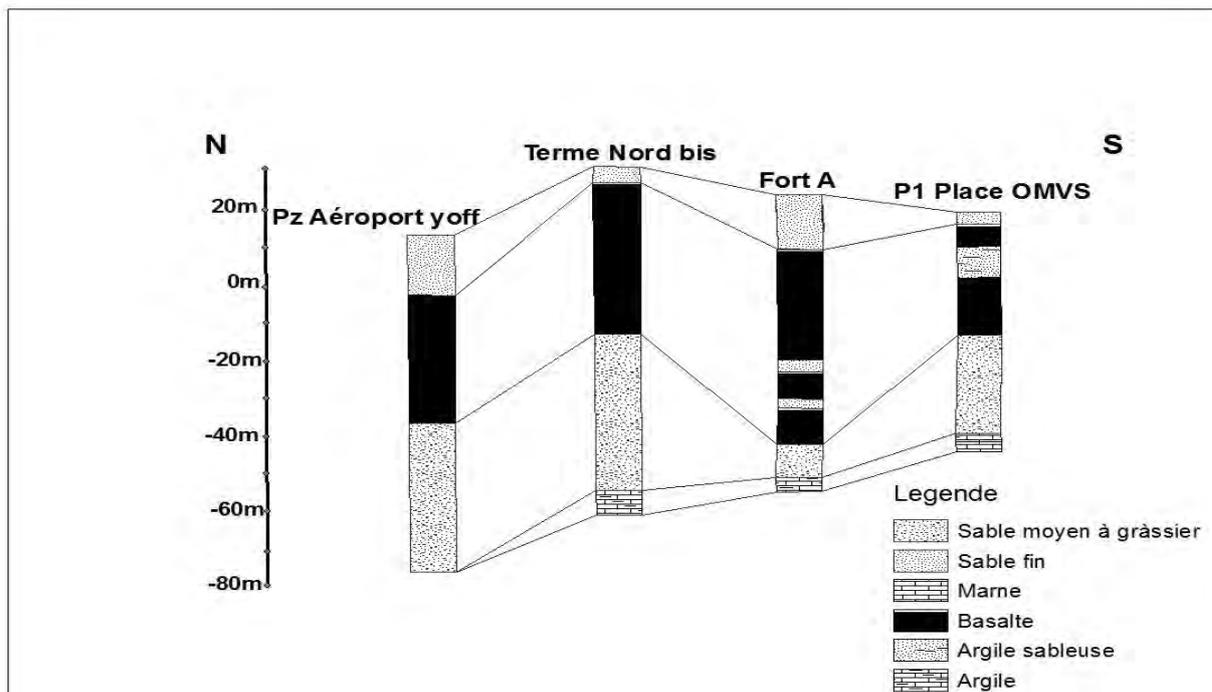


Figure 17: Corrélation lithologique N-S à travers la zone d'étude

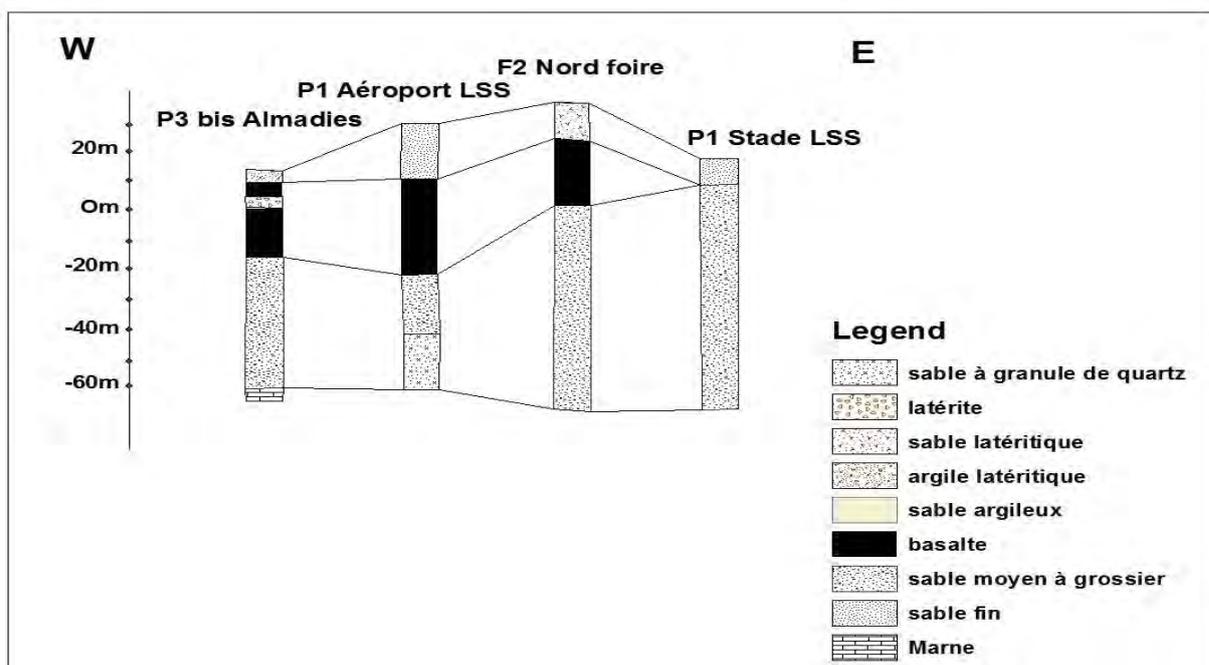


Figure 18 : Corrélation lithologique W-E à travers la zone d'étude

Les corrélations lithologiques (Figure 17 et 18) mettent en évidence les variations d'épaisseurs des formations suivant les directions N-S et W-E.

Les sables suprabasaltiques présentent des variations latérales d'épaisseurs. Ils forment une couche mince au-dessus des basaltes au niveau de Terme Nord et des piézomètres Place OMVS, P3 bis Almadies et P1 Stade LSS.

La figure 17 montre que la couverture basaltique qui provient de l'ancien volcan des Mamelles et recouverte par des sables et alluvions récentes, présente des épaisseurs variant entre 30m (Place OMVS) et 52m (Fort A). La couche basaltique est plus épaisse au forage Fort A (52m). La puissance de la couverture basaltique diminue progressivement lorsqu'on se dirige vers le sud.

Cette couverture basaltique présente également des variations de puissance d'Ouest vers l'est. A l'ouest on y distingue des épaisseurs de 25 m (dans le piézomètre P3 bis Almadies) et de 32 m (P1 Aéroport LSS). A l'Est, la nappe devient libre par exemple au niveau du piézomètre P1 Stade LSS où on observe une absence d'un recouvrement basaltique.

#### **I.4.1.2. Les paramètres hydrodynamiques**

Les données des paramètres hydrodynamiques sont extraites essentiellement des travaux antérieurs réalisés dans la zone. Ces paramètres hydrodynamiques sont la perméabilité, la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement.

##### **a) La perméabilité**

L'étude faite par l'MH/OMS (1972) montre que dans l'aquifère infrabasaltique, la valeur moyenne de perméabilité est de l'ordre de  $1,2 \cdot 10^{-4}$  m/s.

##### **b) La transmissivité**

Les transmissivités de la nappe infrabasaltique varient entre  $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  dans la zone Nord-Est axée sur le forage Front de Terre et  $5,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  vers le Terme Sud. Au niveau du forage Fort A, la transmissivité est de l'ordre de  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  (OMS, 1972).

##### **c) Le coefficient d'emmagasinement**

Les valeurs de coefficient d'emmagasinement sont déterminées au forage de Cambérène qui disposait d'un ouvrage d'observation. Ces valeurs sont comprises entre 1,25 et 1,5 % (OMS, 1972).

### **I.4.1.3 Historique de l'exploitation de la nappe infrabasaltique**

Mise en exploitation pour l'alimentation en eau de Dakar depuis 1925 avec l'exécution d'un premier forage à raison de  $3000 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ , la nappe infrabasaltique a subi par la suite une surexploitation causée par une augmentation des besoins en eau du fait de l'accroissement de la population. (Gaye, 1980) (Figure 19)

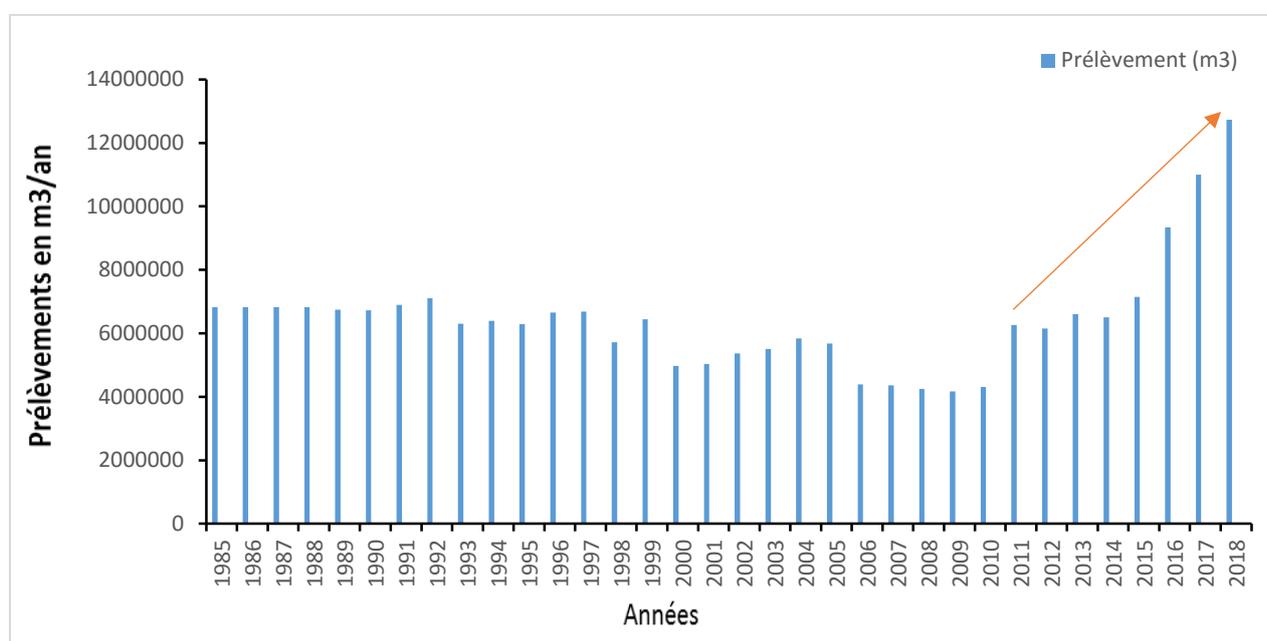
En 1940, ce débit passe à  $12\ 000 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ . A partir de 1947, les prélèvements atteignent  $24\ 000 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ . Cette augmentation des prélèvements avait pour conséquence la venue d'eau salée dans certains ouvrages tels que le puits du centre de captage de Hann, Km5, Université (Martin, 1970). Entre 1960 et 1978, pour une exploitation rationnelle et équilibrée, le pompage fut réduit à  $18000 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$  ce qui représenterait le débit équilibré de la nappe et les ouvrages envahis par le biseau salé furent abandonnés (Sarr, 2000). De 1979 à 1982, ces volumes exploités furent réduits à nouveau jusqu'à  $13\ 777 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$  pour être ensuite ramenés à  $18\ 000 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$  (SONEES, 1986, 1989). Les prélèvements au niveau des forages ont fortement diminués depuis 1989. Cette diminution est due à une panne des ouvrages (ensablement ou rouille des crépines) (Diouf, 2005). Ensuite, on observe une baisse progressive de la production des forages de 1989 à 2010. Cette baisse de la production s'expliquerait par une dégradation de la qualité des eaux du fait de la surexploitation de la nappe. Toutefois, en 2007 et 2008, les productions des forages Terme Sud, Terme Nord, Camp Pénal et Front de Terre ont été augmentées pour combler les déficits en eau suite à l'arrêt de pompage des forages Autoroute, Point M, Point N Ter. Entre 2000 et 2009, cette production varie entre  $11000 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$  et  $15\ 000 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$  (Figure 16 et 17). De 2009 à 2013, la production des forages est passée de  $11418 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$  à  $18\ 105 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ .

Dans le cadre du programme d'urgence de renforcement de l'AEP de Dakar, la SONES a eu à réaliser 12 nouveaux forages entre 2015 et 2018. (Tableau 1)

Entre 2015 et 2018, on observe une augmentation progressive de la production des forages suite à la contribution des nouveaux forages pour l'AEP de Dakar. La production des forages est passée de  $19562 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$  en 2015 à  $25595 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$  en 2016 et de  $30130 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$  en 2017 à  $37270 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$  en 2018. Cette production actuelle a largement dépassé le débit d'équilibre supposé de la nappe infrabasaltique qui est de  $18000 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ .

**Tableau 1: Les nouveaux forages captant la nappe infrabasaltique et leurs caractéristiques**

Désignation	X	Y	Prof total(m)	Débit d'exploitation (m <sup>3</sup> /h)	Date de réception
Cices-F3	234967	1631387	108	125	31/07/2015
F1 Camp Leclerc	233908	1630291	100	117	10/08/2015
F2 Point G	235294	1628400	97		25/09/2015
F1 ouest foire	233794	1631796	100	150	07/12/2016
PtN4 HLM Grand Yoff	235448	1631566	105	130	21/03/2017
F2 CAMP LECLERC(liberté 6)	234386	1630778	118.8	50	19/05/2017
F3 terme sud Ouakam	231933	1630322	95	100	28/06/2017
F1 L.SMC	235540	1631750	105	100	11/08/2017
F2 Nord Foire (Yengoulène)	235184	1632061	105	100	17/08/2017
F1 BIS Nord Foire	235005	1632063	114	120	06/08/2018
F2 Terme Nord Tobago	233493	1630665	126	150	09/08/2018



**Figure 19 : Evolution des prélèvements de la nappe infrabasaltique de 1985 à 2018**

## **I.4.2. La nappe de Thiaroye**

La nappe des sables quaternaires de Thiaroye est une nappe libre ; elle est le prolongement Est de la nappe infrabasaltique et s'étend de la Patte d'Oie à Kayar sur une superficie d'environ 300 km<sup>2</sup>. A l'Ouest, la nappe est séparée de l'infrabasaltique par un dôme piézométrique au niveau de la zone basse de Dagoudane-Pikine. Elle est limitée au Nord par l'Océan Atlantique, au Sud par le substratum marneux éocène du graben de Rufisque et à l'Est par la dépression du lac Tanma à Kayar. Le réservoir est constitué par des sables dunaires d'âge différents reposant sur les marnes et argiles de l'Eocène.

### **Conclusion partielle**

La zone d'étude, située au niveau de la presqu'île du Cap Vert est caractérisée par un microclimat particulier. La région présente une saison sèche et fraîche de Novembre à Mai et une saison humide, chaude et pluvieuse de Juin à Octobre et pendant lesquelles s'établissent respectivement des vents qui sont l'alizé maritime et la mousson suivant les directions N-NW et S-SE.

Sur le plan géologique les formations du quaternaire sont subdivisées en quaternaire ancien et en quaternaire récent. Le quaternaire ancien renferme la nappe des sables infrabasaltique. L'épaisseur des sables de cette nappe est très variable. Elle diminue du Nord vers l'Est à cause du relèvement des formations marno-argileuses qui constituent le substratum de l'aquifère.

La nappe infrabasaltique est mise en contribution pour l'alimentation en eau de Dakar depuis 1925 à un débit de 3000 m<sup>3</sup> / j. Ainsi la production de la nappe passe de 18 297 m<sup>3</sup> / j en 1985 à 11 418 m<sup>3</sup> / j en 2009 et à 42 489 m<sup>3</sup> / j en 2019.

## **CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES**

### **II.1. Matériels**

Pour réaliser cette étude différentes données ont été utilisé à savoir

#### **II.1.1. Les données climatiques**

Les données climatiques (la pluviométrie, la température, l'humidité relative, l'insolation et la vitesse du vent) durant la période 1989-2019 ont été recueillies à l'ANACIM (Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie). Elles ont permis de caractériser le climat de la région en particulier la pluviométrie qui joue un rôle important dans la recharge des nappes.

#### **II.1.2. Les données de prélèvements**

Les données sur les prélèvements de la nappe infrabasaltique ont été recueillies à la SONES (Société Nationale des Eaux du Sénégal), il s'agit des prélèvements mensuels et annuels des forages de Dakar pour la période 1985-2018.

#### **II.1.3. Les données piézométriques**

Les données piézométriques ont été collectées à la DGPRE (Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau). Elles ont permis la réalisation des cartes piézométriques et ont été corrélées aux pompages ce qui a permis de voir l'impact de ces derniers sur le niveau de la nappe. Il s'agit essentiellement :

-d'une série chronologique de données de suivies de la nappe infrabasaltique durant la période 2000-2013.

-d'un suivi mensuel des niveaux piézométriques couplés à des mesures physico-chimiques (pH, Température, Conductivité électrique) durant la période 2017-2019. Ces données sont recueillies sur 9 piézomètres (Dakar Mamelles BAD P2 Bas bis, Dakar Mamelles BAD P2 Haut bis, Ouakam PIB2, Parcelles Assainies PIB3, Aéroport Yoff BAD P4 Bas bis, Stade Léopold Senghor P1, Cimetière Yoff P1, Hann P, Seydou nourou).

-Un recueil bibliographique des études antérieures réalisées dans la zone d'étude nous a permis d'acquérir un certain nombre de données à savoir les niveaux piézométriques de 11 ouvrages (Bad 1, Bad 2H, Bad 3H, Bad 4H, Bad 5H, Bad 6, Km 5, Point M, Front de Terre, Camp pénal, Point N bis) pour l'année 1995, les niveaux piézométrique de 12 ouvrages (Fort A, Front de Terre, Terme nord, P-2H, P-2B, P-3H, P-3B, P-5H, P-5B, P-6H, P-6B, Km5) pour la période 1987-1991.

Dans cette étude, nous avons choisi d'utiliser les niveaux piézométriques du mois de juin (basses eaux) et du mois de novembre ou Décembre (haute haut).

#### II.1.4. Les données chimiques

Les données chimiques ont été recueillies à la SONES et à la DGPRE. Elles ont permis d'évaluer la qualité des eaux de la nappe, de caractériser l'évolution des éléments chimiques et l'évolution de la salinité dans le temps et dans l'espace.

Notre stage à la Société Nationale des Eaux du Sénégal (SONES) nous a permis de recueillir un certain nombre de données qui sont consignées dans le tableau 2.

**Tableau 2: Récapitulatif des données physico-chimique et chimique de la nappe infrabasaltique**

Ouvrage	Typologie	Période	Source
Dakar Mamelles BAD P2 Bas bis, Dakar Mamelles BAD P2 H bis, Ouakam PIB2, Parcelles Assainies PIB3, Aéroport Yoff BAD P4 Bas bis, Stade Léopold Senghor P1, Cimetière Yoff P1, Hann P, Pz Place OMVS, Dakar Camp Leclerc F1, Nord Foire F1, Dakar Foire Point M3, Dakar Ouest Foire	Donnée physico-chimique (pH, Température, CE) et chimique ( $\text{Ca}^{2+}$ ; $\text{Mg}^{2+}$ ; $\text{Na}^{+}$ ; $\text{Cl}^{-}$ ; $\text{K}^{+}$ ; $\text{SO}_4^{2-}$ ; $\text{HCO}_3^{-}$ )	2017-2019	DGPRE
Camp pénal ; Terme Nord ; Terme Sud ; Fort A ; Front de Terre ; Point G ; Cité Tobago ; Ouest Foire ; Cices bis ; HLM Grand Yoff ; Point M ; Camp Leclerc 1 ; Camp Leclerc 2 ; F1 Nord Foire ; F2 Nord Foire	Donnée physico-chimique (pH, Température, CE) et chimique ( $\text{Cl}^{-}$ ; $\text{HCO}_3^{-}$ )	2014-2019	SONES

Les données chimiques antérieures disponibles et intégrées à la présente étude, sont les suivantes :

- les données physico-chimiques et chimiques de 6 ouvrages pour la période 2000-2010,
- les données physico-chimique et chimique de 10 ouvrages (Autoroute, Point N, Terme sud, Point N bis, Point M, Terme nord, Camp pénal, Front de Terre, Fort A, N Ter) pour les années 1978, 1995 et 2004.
- les données chimiques des piézomètres P2 bas et P2 haut pour la période 1978-2019
- les données chimiques des piézomètres PIB1, PIB2 et PIB3 pour la période 2000-2019.

## **II.2. Méthodes**

Différents logiciels (méthodes) ont été utilisés pour traiter les données. Ces logiciels sont :

- **Excel**

Il a permis de réaliser des graphiques pour bien évaluer et mettre en évidence les tendances et les variations du contexte climatique et de suivre l'évolution des prélèvements.

- **Surfer**

Le logiciel surfer a permis la réalisation de cartes piézométriques pour une analyse de la fluctuation de la nappe afin d'évaluer la dynamique de la nappe. La comparaison des variations des niveaux piézométriques actuelles avec celles des années précédentes nous a permis de suivre les variations des côtes d'eaux. Enfin une analyse des impacts des pompages à travers les résultats du suivi piézométriques a été réalisée.

- **Arc GIS**

La distribution spatiale et l'évolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques et chimique des eaux a été faite à l'aide du système d'information géographique (Arc GIS).

- **Diagramme de Piper**

La détermination des faciès chimiques nécessite l'utilisation du programme informatique « Diagramme » pour l'élaboration des diagrammes de Piper.

- **Statistica 7**

L'analyse en composantes principales (ACP) et les diagrammes binaires ont été réalisés à l'aide du logiciel Statistica pour pouvoir mettre en évidence les liens qui existent entre les différents paramètres chimiques.

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

### III.1. PIEZOMETRIE DE LA NAPPE

#### III.1.1. Evolution inter annuelle de la piézométrie

##### III.1.1.1. Morphologie de la nappe entre 1995 ; 2009 et 2019

L'établissement des cartes piézométriques de Décembre 1995, Juin 2009 et Décembre 2019, a permis de décrire la morphologie globale de la nappe et de caractériser les sens d'écoulement de la nappe.

La morphologie globale de la nappe se présente sous forme de creu du au pompage. L'observation des cartes piézométriques de Décembre 1995 (Figure 20) et de Juin 2009 (Figure 21), montre pratiquement une même allure de la surface piézométrique. Les courbes iso pièzes sont circulaires, fermées et centrées sur les principaux forages d'exploitation. On observe un cône de dépression accentué au niveau des forages Front de Terre et Camp pénal. Cette dépression axée autour des forages d'exploitation dans la partie centrale de la nappe pourrait être due aux prélèvements importants dans ce secteur. En 1995, la production de la nappe était de  $17\,127\text{ m}^3/\text{j}$  et les pompages les plus élevés sont notés au niveau des forages Point N, Point M, Terme Nord, Fort A, Front de Terre et Camp pénal situées dans la partie centrale de la nappe. En 2009, on note une baisse des pompages (jusqu'à  $11\,420\text{ m}^3/\text{j}$ ) suite à la diminution de la contribution des forages. L'influence des pompages se fait ressentir sur les côtes piézométriques. Ces dernières observées au niveau des forages Front de Terre, Camp Pénal et Fort A en Décembre 1995 étaient respectivement de  $-7\text{m}$ ,  $-4\text{m}$  et  $-3\text{m}$ . Ces niveaux augmentent jusqu'à atteindre respectivement  $-4\text{ m}$ ,  $-2\text{ m}$  et  $-1\text{m}$  en Juin 2009. La dépression piézométrique est beaucoup plus importante en Décembre 1995 qu'en Juin 2009. En plus des pompages, les variations saisonnières pourraient avoir un impact sur la diminution de la piézométrie entre Décembre 1995 (hautes eaux) et Juin 2009 (basses eaux). 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.

L'analyse de la carte piézométrique de Décembre 2019 (Figure 22) montre une modification de la morphologie observée en Décembre 1995 et Juin 2009. Dans la zone Nord, la surface piézométrique se situe à des côtes inférieures à celle du niveau de la mer. Cette dépression piézométrique pourrait être dû à l'augmentation des prélèvements dans cette zone car en 2018, on note 19 forages fonctionnels au niveau de la nappe qui fournissent une production de

34 890 m<sup>3</sup>/j. Parmi ces forages fonctionnels 14 forages sont situés dans le secteur Nord et qui contribuent à hauteur de 25 695 m<sup>3</sup>/j. La dépression piézométrique est légèrement orientée vers le N-E. Ces écoulements qui convergent vers le regroupement des forages d'exploitation permettent de mettre en évidence l'influence de l'exploitation. En effet, la forte exploitation de la nappe a entraîné une baisse considérable sur la piézométrie particulièrement dans la zone nord. A l'Est, on note un relèvement des niveaux piézométriques au niveau du piézomètre PIB3 qui pourrait être dû par la recharge de la nappe qui vient de la partie orientale (l'écoulement des eaux souterraines à partir des sables de Thiaroye). Vers le Sud-Est, on observe aussi un relèvement de la nappe qui peut être expliqué par une diminution des pompages dans ce secteur et l'infiltration direct des eaux de pluie (car c'est une zone de limite des couches basaltiques).

La comparaison des cartes piézométriques de Décembre 1995 et Décembre 2019, montre qu'en Décembre 1995, la dépression piézométrique était localisée au niveau de la partie centrale de la nappe avec des côtes piézométriques négatifs observés au niveau des forages Front Terre, Camp pénal et Fort A. Par contre en Décembre 2019, on observe un déplacement de la dépression piézométrique dans la partie Nord et une légère augmentation des niveaux piézométriques des forages Front Terre, Camp pénal et Fort A.

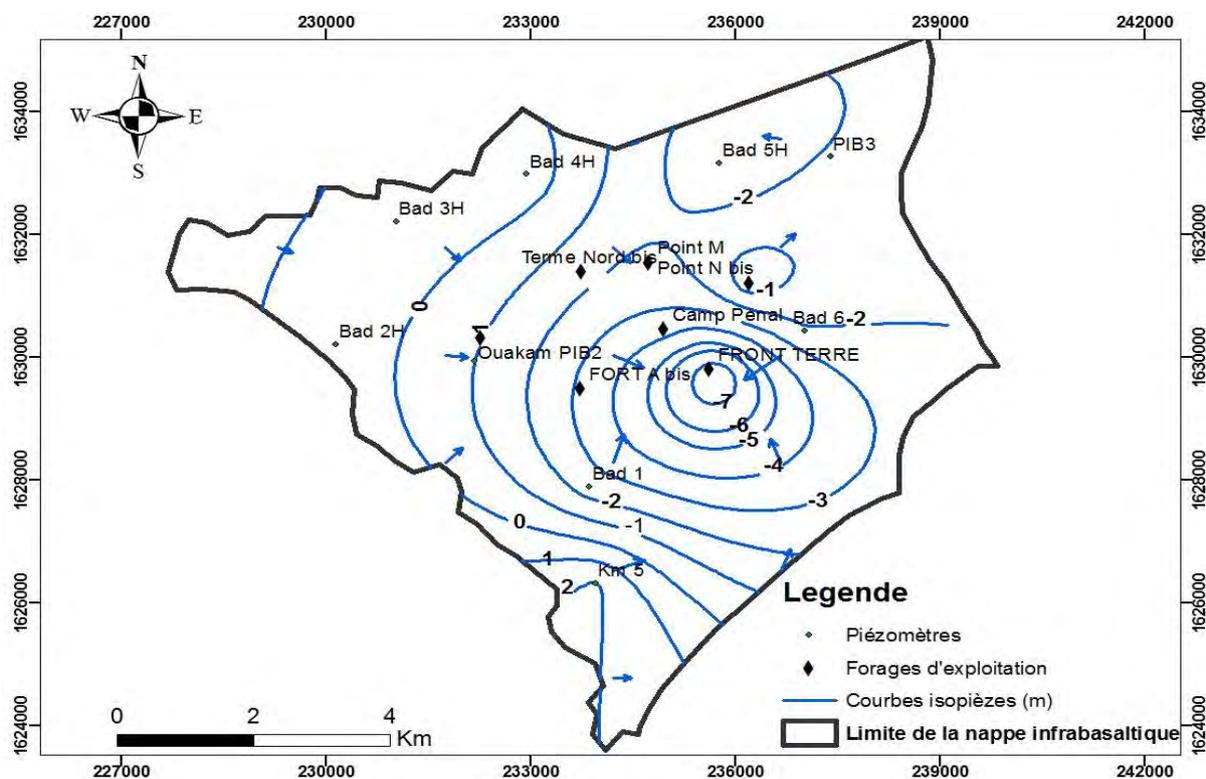


Figure 20: Carte piézométrique de la nappe infrabasaltique (Décembre 1995)