

**Caractérisation hydrochimique et étude de l'impact des prélèvements
sur les nappes du maastrichtien, de l'oligo-miocène et du continental
terminal dans les régions de Kaffrine et Tambacounda**

Dédicaces

Avant tout,

Je rends grâce à *Allah, le tout puissant, le miséricordieux, le premier, le dernier, le visible, le caché*. Je prie sur le sceau des prophètes, **Mouhamad**, que la bénédiction et le salut soit sur lui ainsi que ses compagnons et ses serviteurs (**Cheikh Ahmad Tidiane, Cheikh Ibrahima Niass**) qu'*Allah* soit satisfait d'eux.

Je dédie ce travail :

A la mémoire de mon **Père** disparu trop tôt.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation. Sachez que nous avons toujours une pensée pieuse pour vous et prions qu'Allah vous accueille dans son paradis éternel.

A ma **Mère**,

Merci pour tous les sacrifices et l'affection que vous m'avez toujours entourée. Tout ce que je peux vous offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je vous porte.

A mes frères (**Babacar, Cheikh Tidiane, Mouhamadou Magaye, Modou et Ablaye**) et sœurs (**Rokhyatou et Mariama**) ; qui m'ont toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

A toute ma famille,

En particulier **Papa Lamine, Papa Mansour, Papa Ablaye, Tanti Fanta, Ndeye Adama, Pathé Diop, Maissa Fall**, pour leurs soutiens tout au long de mon parcours.

A mon oncle Baye Niass Touré,

Tu t'es toujours investi dans mes études. Trouves dans ce travail ma reconnaissance et ma gratitude pour ton soutien inconditionnelle.

A mes cousins et cousines en particulier **Aziz Kébé**, pour leurs soutiens et conseils

A mes amis **Abdou Wahab Diouf, Abdoulaye Wade, Thierno Ly, Pape Malick Dieng, Pape Souléye Sy, Mbagnick Thiaw alias Sang, Omar Diabaté, Papa Sarr, Yancoba Dia, Cheikh**

Tidiane alias Binôme, Ibrahima Diagne, Babacar Gaye, Kadiatou Ka, pour votre amitié sincère, votre disponibilité et vos prières.

A tous mes promotionnaires de Master du département de géologie.

Avant-propos

Au terme de ce travail, je souhaiterais adresser mes vifs et chaleureux remerciements à tous ceux de près ou de loin, par leurs actes ou leurs conseils, ont participé à la réalisation de ce mémoire, notamment au membre du jury composé de :

- Pr. Serigne Faye, directeur de l'école doctorale EDEQUE, c'est un honneur pour moi d'avoir un scientifique avéré comme président du jury. A travers votre personne je remercie l'ensemble du corps professoral et administratif du département de géologie.
- Dr. Mathias Diehiou, Maitre-assistant, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans votre aide et encadrement. Je salue la qualité de votre encadrement exceptionnel, votre rigueur, votre patience et surtout votre disponibilité durant la préparation de ce mémoire. Je vous témoigne toute ma gratitude et ma reconnaissance pour tout ce que vous avez pu accomplir dans l'aboutissement de ce travail. Merci infiniment ;
- Dr. Ousmane Coly, Maitre-assistant, votre disponibilité permanente et vos suggestions ont été un grand apport pour la réalisation de ce mémoire. Je réitéré mes sincère remerciements et expression de ma profonde gratitude.

Je remercie aussi

- Mr. Niokhor Ndour, Directeur de la DGPRE, pour m'avoir permis d'effectuer un stage au sein de sa structure. A travers votre personne, je remercie l'ensemble du personnel de la DGPRE.
- Tous mes camarades de Master : mention spéciale à Abdoulaye Wade et Hawlatou Diallo

Loin d'avoir cité tout le monde, je souhaite que tous ceux qui ont ensoleillé mon cursus académique trouvent ici ma reconnaissance.

Table des matières

RESUME	xi
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	3
I.1. Cadre physique	3
I.1.1. Localisation de la zone d'étude	3
I.1.2. Contexte géomorphologique et hydrologique	4
I.2. Contexte climatique	7
I.2.1. Puviométrie	9
I.2.2. Température moyenne	11
I.2.3. Humidité relative	11
I.2.4. L'insolation	12
I.3. Contexte géologique et hydrogéologique	13
I.3.1. Contexte géologique	13
I.3.2. Contexte hydrogéologique	16
CHAPITRE II: METHODES D'ANALYSE ET DONNEES DISPONIBLES	18
II.1. Description du réseau de suivi	18
II.2. Données disponibles pour l'étude	19
II.2.1. Données piézométriques	19
II.2.2. Données hydrochimiques	19
II.2.3. Données de prélèvement	19
II.3. Outils et Méthodes	19
II.3.1. Les outils	19
II.3.2. Les méthodes	19
CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS	20
III.1. Caractérisation hydrodynamique	20
III.1.1. Evolution des prélèvements	20
III.1.2. EVOLUTION DE LA PIEZOMETRIE	21

III.2. Hydrochimie	32
III.2.1. Hydrochimie de la nappe maastrichtienne	32
III.2.2. Hydrochimie de la nappe oligo-miocène	46
III.2.3. Hydrochimie de la nappe du continental terminal	51
Conclusion Générale et Recommandations:	54
REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES	55

Table des illustrations

Figure 1:Localisation de la zone d'étude.....	3
Figure 2:Géomorphologique de la zone d'étude	4
Figure 3:Carte pédologique de la zone d'étude.....	5
Figure 4:Réseau hydrographique de la zone d'étude.....	7
Figure 5:Carte des précipitations (UNICEF, 2010).....	8
Figure 6: Pluviométrie moyenne mensuelle aux stations de Tambacounda et Koungheul (1991-2017)	9
Figure 7:Chroniques pluviométriques entre 1991 à 2017 aux stations de Tambacounda et Koungheul	10
Figure 8: Evolution des températures moyennes mensuelles aux stations deTambacounda et Koungheul (1991-2017)	11
Figure 9:Moyenne mensuelle de l'humidité relative aux stations de Koungheul et Tambacounda (1991-2017).....	12
Figure 10: Moyenne mensuelle de l'insolation aux stations de Koungheul et Tamba (1991-2017).....	12
Figure 11: Carte géologique de la zone d'étude (DGPRE)	16
Figure 12:Carte hydrogéologique de la zone de suivi Tambacounda Kaffrine (DGPRE, 2017)	17
Figure 13: localisation du réseau de suivi dans les régions de Tambacounda.....	18
Figure 14: Evolution du volume des prélèvements entre 2010 et 2017 de la nappe maastrichtienne ...	20
Figure 15:Evolution du volume des prélèvements entre 2015 et 2017 des nappes maastrichtienne et oligo-miocène.....	21
Figure 16:Situation piézométrique de départ de la nappe maastrichtienne (juin 2013)	22
Figure 17:Situation piézométrique de départ de la nappe oligo-miocène (juin 2013)	23
Figure 18:Situation piézométrique de la nappe maastrichtienne en janvier 2017	24
Figure 19:Situation piézométrique de la nappe maastrichtienne en juin 2018	25
Figure 20: Relation débits pompés / niveaux piézométriques dans la zone de Kaffrine.....	26
Figure 21: Relation débits pompés / niveaux piézométriques dans la zone de Tambacounda.....	26
Figure 22: Evolution de la piézométrie dans le temps dans la nappe maastrichtienne.....	27
Figure 23: Situation piézométrique de départ de la nappe oligo-miocène en juin 2015	28
Figure 24:Situation piézométrique de départ de la nappe oligo-miocène en janvier 2016.....	29
Figure 25: Relation débits pompés/ aux niveaux piézométriques dans la nappe oligo-miocène	29
Figure 26: Evolution de la piézométrie dans le temps dans la nappe oligo-miocène.....	30
Figure 27:Fluctuations piézométriques du Continental Terminal (Bantanani, 2013 à 2018).....	31
Figure 28: Variations des teneurs en chlorure (juin 2013 et janvier 2018)	32
Figure 29: Spatialisation des teneurs en chlorure dans la nappe maastrichtienne.....	33
Figure 30: Variations des teneurs en sulfate (juin 2013 et janvier 2018).....	33

Figure 31: Variations des teneurs en nitrate (juin 2013 et janvier 2018)	34
Figure 32: Variations des teneurs en bicarbonate (juin 2013 et janvier 2018).....	35
Figure 33: Spatialisation des teneurs en bicarbonate dans la nappe maastrichtienne.....	35
Figure 34: Variations des teneurs en fluor (juin 2013 et janvier 2018).....	36
Figure 35: Spatialisation des teneurs en fluor dans la nappe maastrichtienne	36
Figure 36: Variations des teneurs en sodium (juin 2013 et janvier 2018).....	37
Figure 37: Variations des teneurs en calcium (juin 2013 et janvier 2018).....	38
Figure 38: Variations des teneurs en potassium (juin 2013 et janvier 2018)	39
Figure 39: Variations de teneurs en magnésium (juin 2013 et janvier 2018).....	39
Figure 40: Variations des teneurs en fer (juin 2013 et janvier 2018).....	40
Figure 41 : Diagramme binaire Na vs Cl.....	41
Figure 42: Diagramme binaire Ca+Mg vs HCO ₃	42
Figure 43: Diagramme binaires Ca+Mg vs HCO ₃ +SO ₄	42
Figure 44: Diagrammes Piper (nappe maastrichtienne)	44
Figure 45: Evolution de la minéralisation dans le temps dans la nappe maastrichtienne: zone Tambacounda	45
Figure 46: Evolution de la minéralisation dans le temps dans la nappe maastrichtienne: zone Kaffrine	46
Figure 47: Diagramme binaire Na vs Cl.....	47
Figure 48: Diagramme binaire Ca+Mg vs HCO ₃	48
Figure 49 : Diagramme binaire Ca+Mg vs HCO ₃ +SO ₄	48
Figure 50 : représentation des faciès hydro chimiques des eaux de l'Oligo-Miocène régions de Tambacounda et Kaffrine (juin 2013, juin 2014, janvier 2016 et janvier 2016 respective).....	49
Figure 51: Evolution de la minéralisation dans le temps dans la nappe oligo-miocène: zone Tambacounda	50
Figure 52: Evolution de la minéralisation dans le temps dans la nappe oligo-miocène: zone Kaffrine	51
Figure 53: représentation des faciès hydrochimiques des eaux du continental terminal dans régions de Tambacounda et Kaffrine (juin 2013, juin 2014, janvier 2016 et janvier 2017 respective).....	52
Figure 54: Evolution de la minéralisation dans le temps dans la nappe du continental terminal.....	53

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Valeurs statistiques de la pluie mensuelle à Tambacounda et Kounghoul (en mm).....	10
Tableau 2 : Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques.....	41
Tableau 3: Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques.....	47

Liste des acronymes

ZIC : Zone Intertropical de Convergence

FIT : Front Intertropical

ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie

CT : Continental Terminal

DGPRE : Direction de la Gestion et de le Planification des Ressources en Eau

H : Niveau Piézométrique

Z : Altitude

NS : Niveau Statique

T : Température

CE : Conductivité Electrique

pH : Potentiel en Hydrogène

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PSEA : Projet Sectoriel Eau et Assainissement

TDS : Total Des Solides Dissous

SONES : Société Nationale Des Eaux du Sénégal

IGN : Institut Géographique National

PSE : Plan Sénégal Emergent

RESUME

Le secteur étudié s'étend sur les régions administratives de Kaffrine et Tambacounda, situées au centre et à l'Est entre les latitudes 12°20' et 15°10' Nord et les longitudes 11°20' et 14°50' Ouest. Dans ces régions l'augmentation de la population a entraîné un accroissement des besoins en eau potable des populations. L'augmentation des débits de pompage pour satisfaire les besoins en eau potable a induit une surexploitation des aquifères et une variation de la qualité des eaux. Cette étude est faite sur les nappes du maastrichtien, de l'Oligo-miocène et du continental terminal et a comme objectif de caractériser l'hydrochimie et d'évaluer l'impact des prélèvements sur ces nappes.

Les résultats obtenus montrent une baisse progressive du niveau des nappes maastrichtienne et du continental terminal. Cependant, on constate une augmentation progressive du niveau de la nappe Oligo-miocène. Le faciès bicarbonaté calcique domine dans les nappes Maastrichtienne et Oligo-miocène tandis que la nappe du CT est caractérisée par une dominance du faciès chloruré calcique magnésium. Une variation spatio-temporaire remarquable des faciès est observée dans les nappes Maastrichtienne et Oligo-miocène.

L'évaluation de la variation de la composition chimique des eaux dans les différentes nappes montre la minéralisation des eaux est liée à des processus divers tel que la dissolution des minéraux et l'intrusion saline (extrême Ouest de Kaffrine).

L'étude comparative avec les normes de l'OMS indique que pour la plupart des points les eaux sont de bonne qualité avec des teneurs en éléments chimiques qui sont en dessous des normes de l'OMS.

Mots clés : hydrochimie, faciès chimique, hydrodynamique, maastrichtien, oligo-miocène, continental terminal

INTRODUCTION GENERALE

Le Sénégal est un pays sahélien disposant de ressources en eau fortement tributaires des conditions climatiques qui sont très variables dans la zone du sahel. Aujourd'hui les eaux souterraines constituent une composante essentielle du potentiel en eau douce destinée à l'alimentation des populations et les différentes activités économiques à travers le pays.

Depuis plusieurs décennies, le pays connaît les effets néfastes du changement climatique parfois combinés à l'exploitation non judicieuse des ressources en eau. Face à une demande croissante des besoins en eau, de nombreux programmes d'adductions en eau ont été mis en place pour améliorer l'approvisionnement en eau potable des populations sur l'ensemble du territoire surtout en milieu rural. Cette forte pression sur les ressources en eau douce a un impact sur la qualité et la quantité de la ressource en eau. Les eaux souterraines sont, dans certaines régions, fortement minéralisées alors que dans d'autres elles sont soumises à un risque élevé d'intrusion marine ou de pollution du fait d'une urbanisation rapide et mal contrôlée. Par conséquent, l'étude de l'évolution qualitative et quantitative de la ressource en eau de surface et surtout souterraine devient indispensable dans la politique de gestion durable de l'eau qui revêt à l'heure actuelle un enjeu mondiale dans la lutte contre les impacts négatifs du changement climatique sur l'environnement et l'approvisionnement correct des populations en eau potable.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude intitulée "caractérisation hydrochimique et étude de l'impact des prélèvements sur les aquifères du Continental terminal, de l'Oligo- miocène et du Maestrichtien dans les régions de Tambacounda et Kaffrine" ; et qui a comme objectif général d'évaluer la qualité des eaux et l'impact des prélèvement sur le niveau des nappes du maastrichtien, de l'oligo-miocène et du continental terminal dans les régions de Kaffrine et Tambacounda.

Cet objectif principal est soutenu par des objectifs spécifiques qui consistent à :

- faire une analyse de l'évolution de la qualité de 2013 à 2018 ;
- déterminer l'état de l'évolution du niveau piézomètre sur la même période ;
- déterminer l'impact des prélèvements sur ces différentes nappes.

Ce présent mémoire s'articule autour de trois chapitres :

- le chapitre I décrit la zone d'étude notamment la géographie, les contextes climatique, géomorphologique, géologique, hydrologique et hydrogéologique ;
- le chapitre II est consacré à la description du matériel et de la méthodologie utilisée dans le cadre de ce travail ;
- le chapitre III présente les résultats obtenus du point de vue hydrodynamique, et hydrochimique.

Enfin nous dégagerons une conclusion générale et des recommandations en vue d'une meilleure gestion des ressources en eau.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. Cadre physique

I.1.1. Localisation de la zone d'étude

Le secteur étudié s'étend sur les régions administratives de Kaffrine et Tambacounda, situées au centre et à l'Est entre les latitudes 12°20' et 15°10' Nord et les longitudes 11°20' et 14°50' Ouest. Il couvre une superficie de 53 626 Km² soit environ 27% du territoire national. Il est limité à l'Est par le Mali, à l'Ouest par les régions de Kaolack et Fatick, au Nord par les régions de Matam, Louga, Diourbel et la république de Mauritanie, et au Sud par la région de Kédougou et la république de Gambie (**figure 1**).

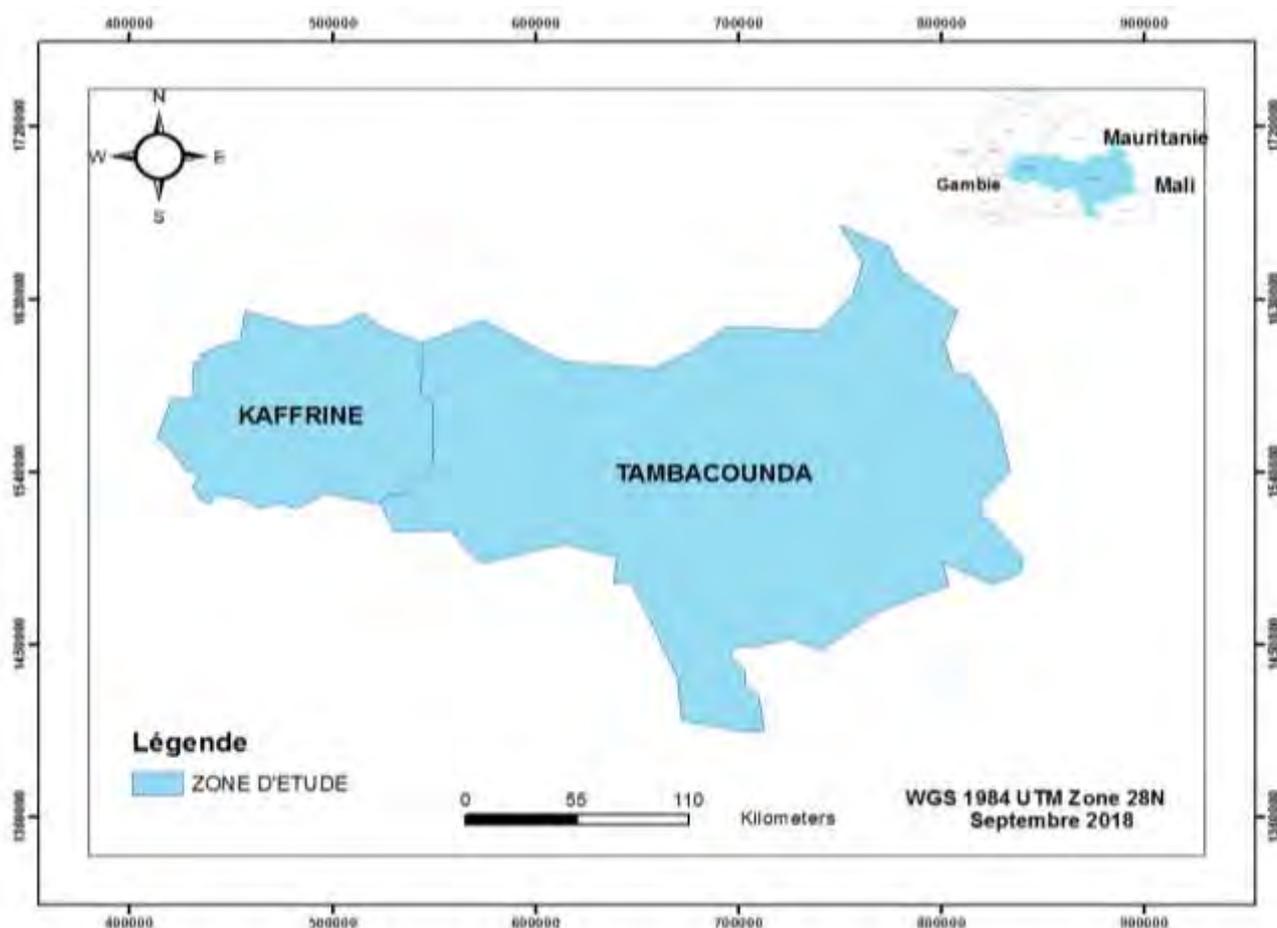


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

I.1.2. Contexte géomorphologique et hydrologique

I.1.2.1. Contexte géomorphologique

I.1.2.1.1. Relief

Les principaux ensembles naturels qui composent le territoire sénégalais sont : la plaine côtière relativement homogène sauf dans la presqu'île du Cap vert et l'intérieur constitué d'une plaine basse et de plateaux au Sud-est.

La zone d'étude est caractérisée dans son ensemble, par un relief plat et monotone. Cependant, elle présente quelques collines dans la région de Tambacounda où le relief est entrecoupé par de légères dépressions constituées de vallées fossiles de Sandougou et du Mayel diby. En effet, on y trouve des formations géologiques pouvant culminer de 250 m à 540 m, comme les Monts Bassaris et les collines de Boundou (www.economiesafricaines.com).

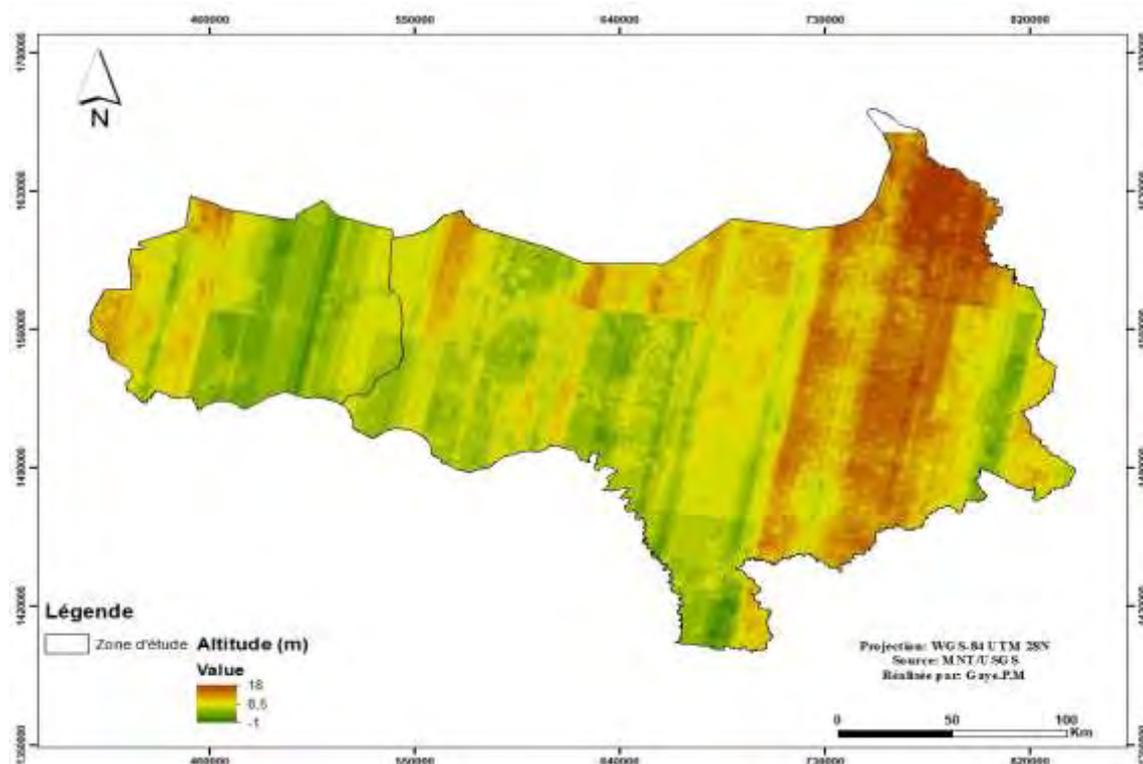


Figure 2: Géomorphologique de la zone d'étude

I.1.2.1.2. Aperçu pédologie

Le Sénégal est marqué par l'existence de plusieurs types de sols avec des caractéristiques et aptitudes différentes. Ces sols dont la formation est liée à la géologie, à la géomorphologie et aux conditions climatiques, jouent un rôle important dans l'agriculture et la préservation de l'environnement. On distingue deux grands groupes de sol au Sénégal, en fonction du critère « eau ».

- Les sols bruns, bruns-rouges, les sols ferrugineux et les sols ferralitiques des parties exondées.
- Les sols hydromorphes et vertisols des bas fond et zones humides

Ce pendant dans notre secteur d'étude, l'observation faite sur la base de la carte des sols (PNAT/ERO S/CS E in UNICEF 2010) nous a révélé la présence de plusieurs catégories de sols : bruns subarides, ferrugineux tropicaux, hydromorphes, peu évolués, les régosols et une prédominance des sols halomorphe dans notre zone d'étude.

La nature de ces sols est le résultat de leur sensibilité à l'érosion hydrique du fait de leur structure, du relief de la zone, des courants d'eaux pluviales et de l'agressivité des pluies. Dans ce contexte, les actions anthropiques augmentent les processus de dégradation du milieu naturel.

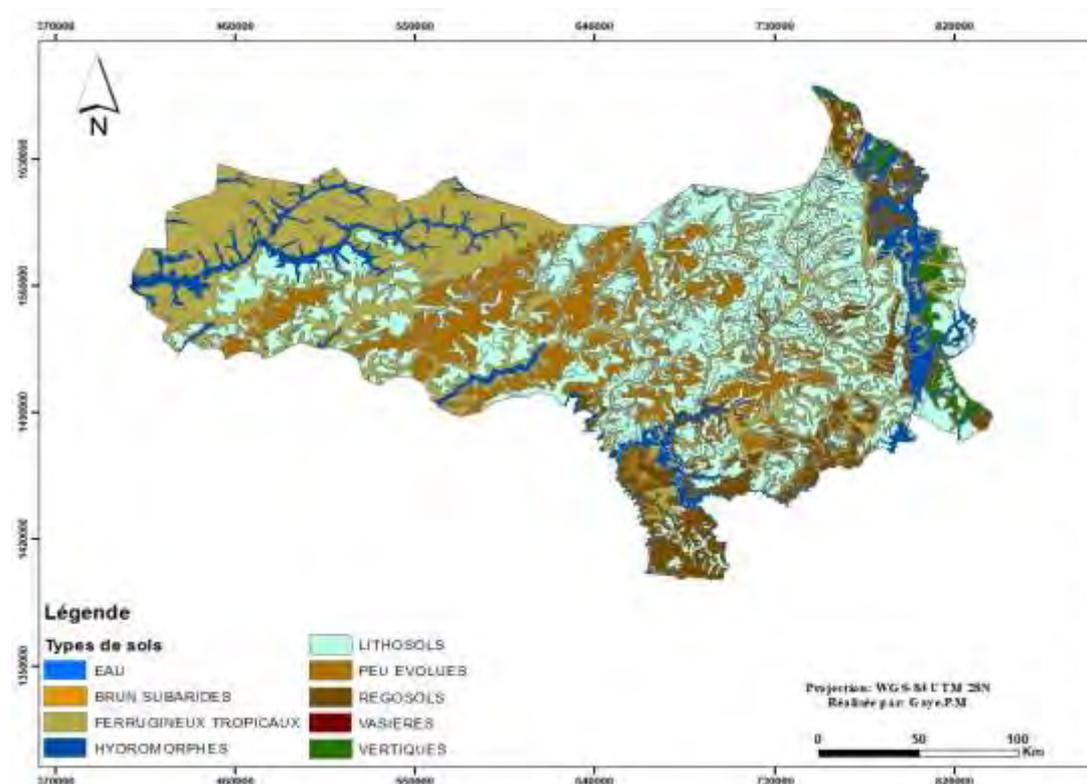


Figure 3: Carte pédologique de la zone d'étude

I.1.2.1.3. Couvert végétal

Au Sénégal trois types de végétations prédominent : les forêts primaires clairsemées de culture, les savanes arborées et la steppe. La végétation est abondante et variée compte tenu des conditions écologiques favorables à son développement et à la diversité des écosystèmes.

Dans la région de Kaffrine, on distingue plusieurs types de formations forestières du Nord vers le Sud :

- Au Nord nous avons la savane arbustive caractérisée par un écosystème qui regroupe les espèces forestières typiques de zone sahélienne. Il s'agit des Combretum sp, Balanite aegyptiaca, Andansonia digitata etc...
- Au Sud nous avons une savane arborée qui présente une composition floristique plus variée. Les espèces les plus fréquentes sont : Daniellia oliveri, Tamarindus indica, Prosopis africana, Sterculia setigera, Parinari macrophila, Cordyla pinnata, Pterocarpus erinaceus (SES-Kaffrine in ANSD 2014).

Par contre on note dans la région de Tambacounda un développement du tapis herbacé et de la végétation arborée. Les formations arborées sont diverses et sont réparties comme suit :

- Forêts galeries 20000 ha
- Steppe arborée 5400 ha
- Savanes arborées 3684500 ha
- Savanes boisées 1496400 ha
- Savanes arbustives 200000 ha

Le peuplement des formations est dominé par les espèces telles que Combretum glutinosum, Combretum nigérian, Pterocarpus erinaceus, Strychnos spinosa, Grossopteryx febrifuga etc... (Source Web : Senegal.org/Tambacounda).

I.1.2.2. Contexte hydrologique

Le réseau hydrographique du pays est tributaire d'une part de la configuration géologique et géomorphologique et d'autre part du régime et de la répartition de la pluviométrie dans la sous-région. Il est mal réparti sur l'ensemble du pays. Les cours d'eau sont caractérisés par un régime tropical avec une période annuelle de hautes eaux après le maximum pluviométrique en août septembre et une période de basses eaux assez longues. Le Sénégal dispose de quatre systèmes hydrographiques que sont : le fleuve Sénégal, la cour moyenne de la Gambie, le Sine Saloum et la Casamance (PNAT/ERO S/CS E in UNICEF 2010).

Ainsi, la région de Tambacounda est traversée par un réseau hydrographique important constitué par le fleuve Sénégal, la Falémé et le fleuve Gambie ainsi que plusieurs affluents et marigots.

Le réseau hydrographique de la région de Kaffrine est caractérisé par deux principaux cours d'eau :

- Le prolongement Nord du « Saloum », cours d'eau salée pérenne qui s'étend sur une partie du département de Birkelane.
- Le « Baobolang », défluent du fleuve Gambie, qui est asséché dans sa partie aval en milieu de saison sèche. Douces en saison des pluies, les eaux deviennent saumâtres à salées en saison sèche. La vallée du « Baobalang » traverse la région du Sud-Ouest vers l'Est et s'étend jusqu'à Maka-Yopp sur une largeur de 150 km environ (SES-Kaffrine *in* ANSD 2014).

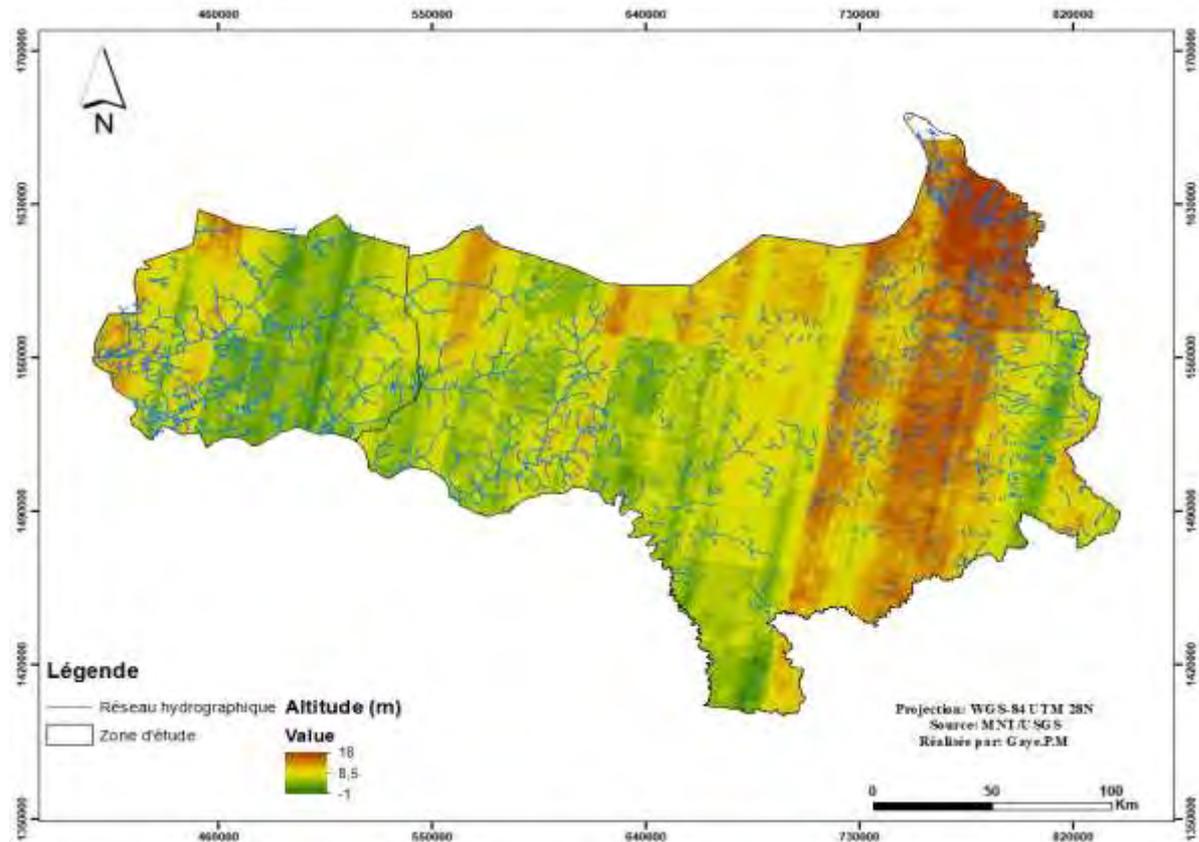


Figure 4: Réseau hydrographique de la zone d'étude

I.2. Contexte climatique

Le Sénégal est divisé en deux grandes régions climatiques de part et d'autre de l'isohyète 500mm (**figure 5**) :

- la région sahélienne au Nord de cette isohyète comprend deux régimes pluviométriques (le régime Nord sahélien avec une pluviométrie inférieure à 300 mm et le régime Sud sahélien avec une pluviométrie comprise entre 300 et 500 mm) ;
- la région soudanienne au Sud de l'isohyète 500 mm comprend les régimes Nord soudanien (entre 500 et 800 mm) et Sud soudanien (au-delà de 800 mm).

La zone d'étude se situe dans la région climatique Nord soudanienne entre les isohyètes 500 et 1000 mm, ce qui la place parmi les régions les plus pluvieuses du pays.

Dans le cadre de cette étude, les paramètres climatiques utilisés sont ceux observés dans les stations de Tambacounda et Kougheul. Ces paramètres ont été recueillis à l'ANACIM et concernent la pluviométrie qui est un paramètre d'entrée du bilan hydrique, la température, l'humidité relative et l'insolation.

Le climat de la zone d'étude s'intègre dans le cadre général du climat tropical soumis au cours de l'année aux mouvements alternatifs de masses d'air d'origine et de caractères hygrothermiques différents. Ce climat est régi par la circulation de l'atmosphère induite par les anticyclones des Açores (océan Atlantique) et Libyen, et l'anticyclone de Sainte Hélène dans l'océan Atlantique australe. L'anticyclone des Açores au Nord associé en hivers à la cellule Maghrébine donne naissance aux alizés et l'anticyclone de Sainte Hélène au Sud est génératrice de la mousson. Les masses d'air provenant du Nord (alizés) et celles provenant du Sud (mousson) sont séparées par le Front Intertropical (FIT) qui est la trace au sol de l'équateur météorologique. Ces deux flux, différenciés par leur humidité, permettent de diviser l'année en deux saisons bien distinctes :

- la saison sèche qui va de novembre en mai, les vents dominants sont les flux alizé maritime et continental ;
- la saison des pluies dure trois à quatre mois avec une pluviométrie croissante du Nord vers le Sud du pays. La circulation des vents est dominée par le flux de mousson.

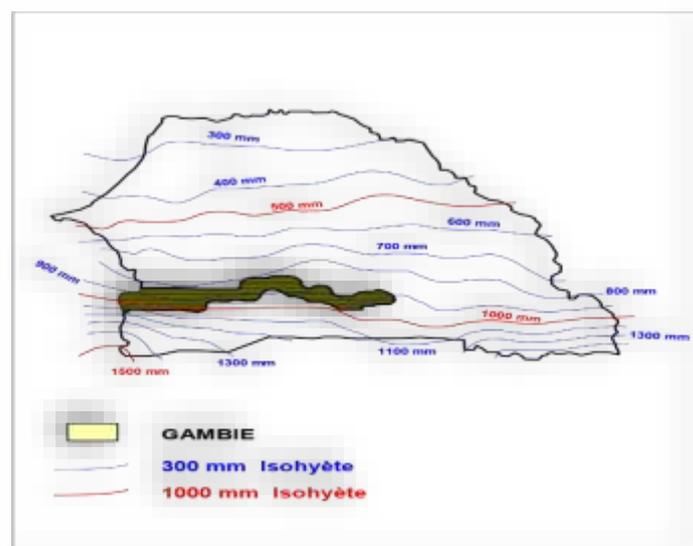


Figure 5: Carte des précipitations (UNICEF, 2010)

I.2.1. Puviométrie

L'analyse de la pluviométrie de 1991 à 2017 (**figure 6**) montre que la saison des pluies dans la zone d'étude dure de juin à octobre. Les mois de juillet, août et septembre sont les plus pluvieux. Le nombre de jour de pluie est très variable d'une année à une autre.

L'analyse des valeurs statistiques de la série considérée (**tableau 1**) montre que les valeurs les plus importantes vont du mois de juin au mois d'octobre avec des maximums au mois d'août. Les maximums de pluie qui peuvent tomber durant ce mois sont de 360 mm pour la station de Tambacounda et de 388.8 mm pour celle de Koungheul. Les valeurs minimales sont de 94.9 mm pour Tambacounda, avec une moyenne de 226.4 mm et un ECARTYPE de 70,21 mm, et de 112.9 mm pour la station de Koungheul avec une moyenne de 240.87 mm et un ECARTYPE de 74.28 mm.

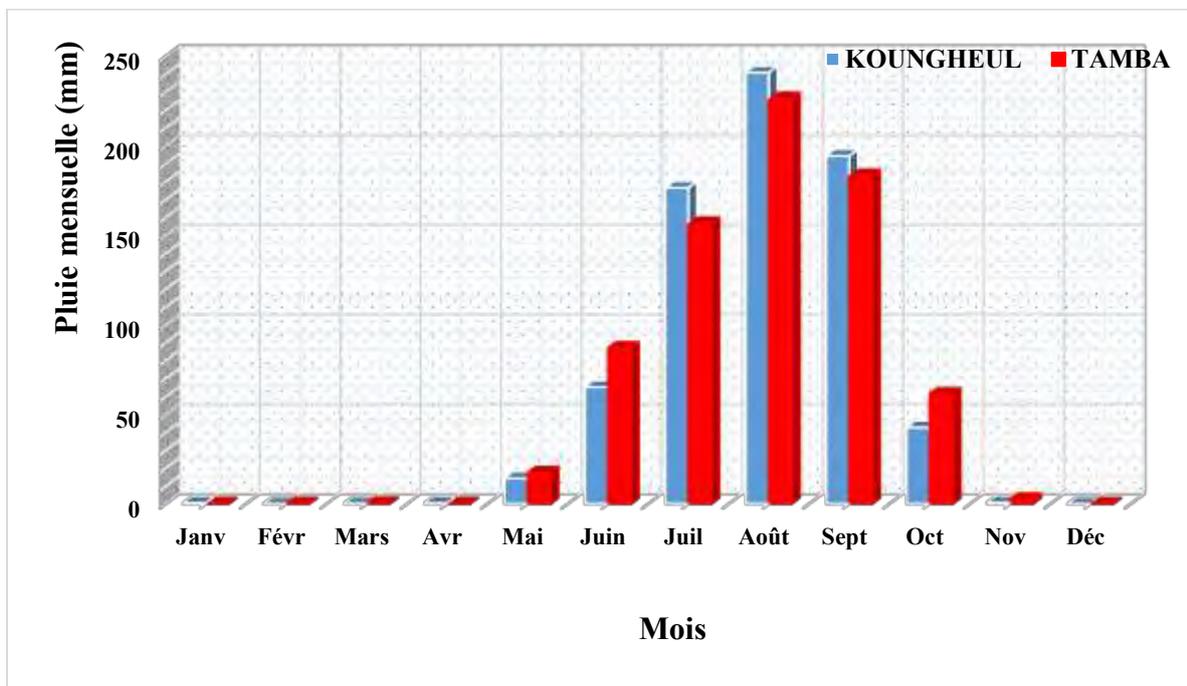


Figure 6: Pluviométrie moyenne mensuelle aux stations de Tambacounda et Koungheul (1991-2017)

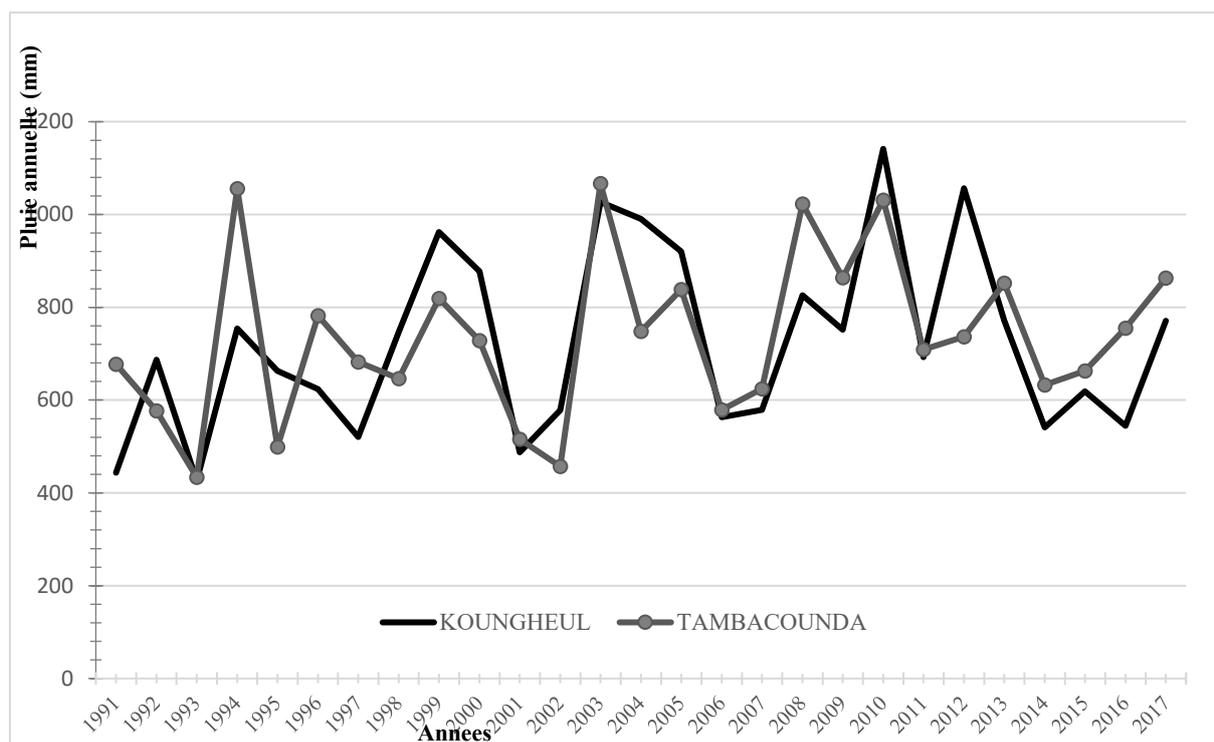


Figure 7:Chroniques pluviométriques entre 1991 à 2017 aux stations de Tambacounda et Kougheul

Tableau 1 : Valeurs statistiques de la pluie mensuelle à Tambacounda et Kougheul (en mm)

Station s	Pluie mensuelle	Janv	Févr	Mar s	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
TAMBACOUNDA	Moy	0.05	0.15	0.26	0.06	17.35	87.03	156.72	226.40	183.44	61.45	2.63	0.02
	Max	1	1.8	4	2	105.9	216.6	336.1	360.0	325.9	288.8	58	1
	Min	0	0.0	0	0	0.0	24.3	56.8	94.9	55.0	0.6	0	0
	ECARTYPE	0.15	0.48	0.79	0.33	25.78	43.87	69.88	70.21	80.05	57.14	11.29	0.10
KOUNGHEUL	Moy	0.52	0.08	0.20	0.37	14.26	65.18	176.54	240.87	194.34	42.64	0.82	0.00
	Max	12.9	1.3	5.4	8.6	109.8	186.1	361.2	388.8	391.4	129.8	20.2	0.0
	Min	0	0	0	0	0	4.1	36.0	112.9	121.4	2.0	0.0	0.0
	ECARTYPE	2.53	0.30	1.04	1.69	29.46	46.37	84.31	74.28	82.59	31.57	3.96	0.00

I.2.2. Température moyenne

L'évolution de la température moyenne mensuelle est étudiée sur une période de 26 ans (1991-2017) pour les deux stations. D'une manière générale on remarque que les températures, dans le secteur d'étude, reste relativement élevées bien que les températures moyennes mensuelles ne dépassent pas 35°C (maximum 33° entre avril et mai). Les fluctuations, plus ou moins importantes des moyennes mensuelles de la température, déterminent le régime thermique qui sévit dans la zone. La période de basse température s'étend de juillet à février avec plus de fraîcheur au mois de décembre et janvier et la période de forte température se situe entre mars et juin (**figure 8**).

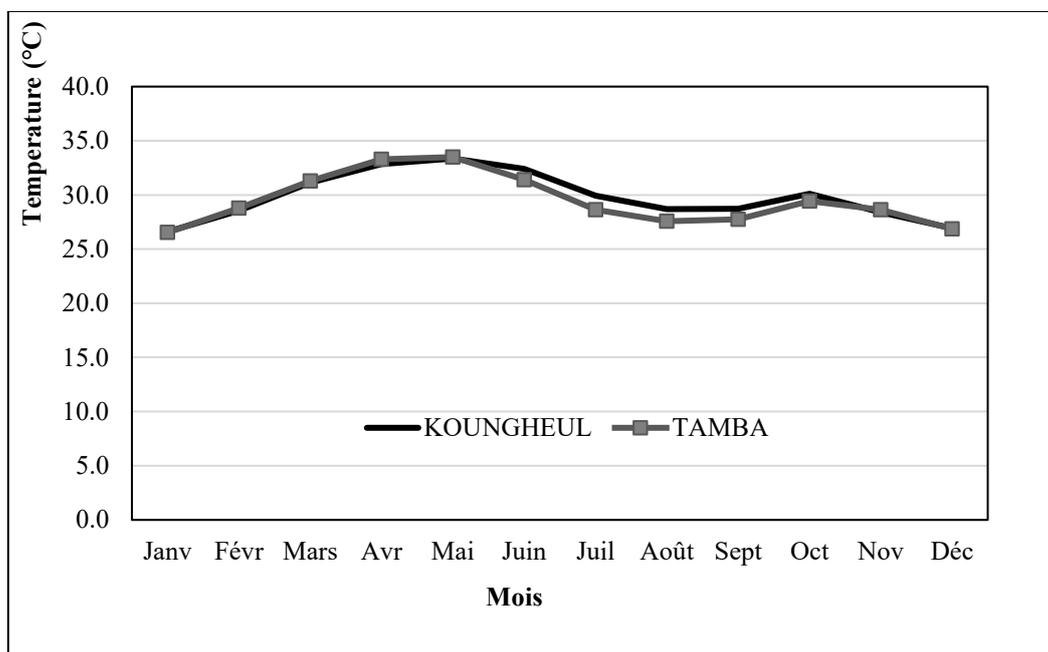


Figure 8: Evolution des températures moyennes mensuelles aux stations de Tambacounda et Kougheul (1991-2017)

I.2.3. Humidité relative

L'évolution de l'humidité relative moyenne entre 1991 et 2017, suit relativement l'évolution de la température (**figure 9**). Pendant l'hivernage (entre août et septembre) l'humidité relative atteint 81% pour la station de Kougheul et 79% pour celle de Tambacounda. En saison sèche, elle atteint 26% entre janvier et juillet à Tambacounda et 30% à Kougheul.

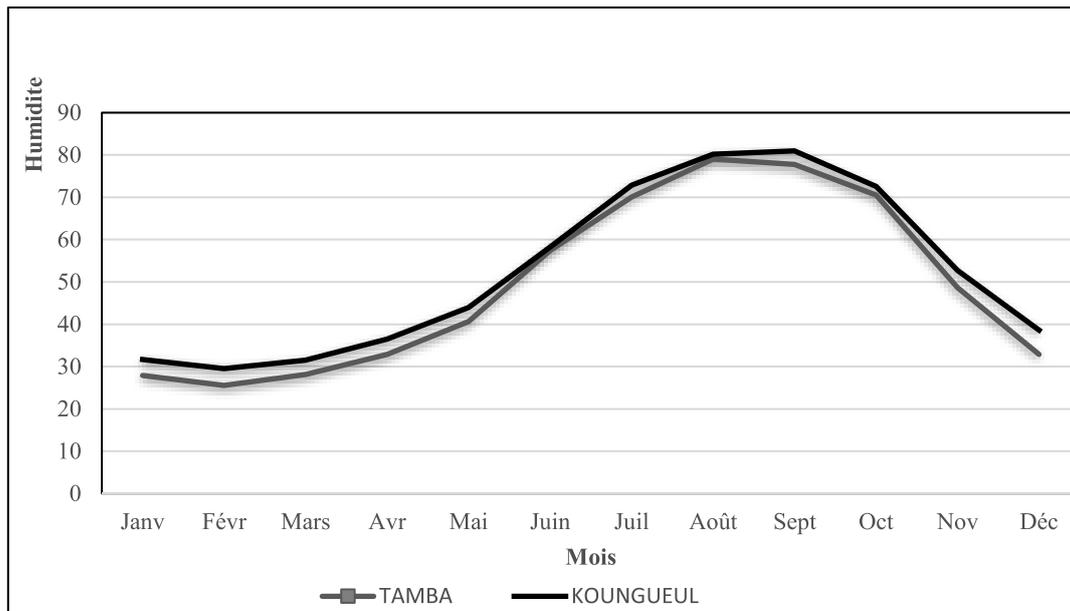


Figure 9: Moyenne mensuelle de l'humidité relative aux stations de Kougheul et Tambacounda (1991-2017)

I.2.4. L'insolation

L'insolation moyenne annuelle dépasse 3000 heures, soit 8 à 9 heures d'ensoleillement par jour. En saison sèche l'insolation est plus importante et le mois d'avril reçoit la durée la plus longue (9.4 et 9.3 h/j respectivement à Tambacounda et Koungheul. Par contre, la durée de l'insolation la plus courte est observée au mois d'août avec respectivement 6.7 h/j à Koungheul et 6.2 h/j Tambacounda (figure 10).

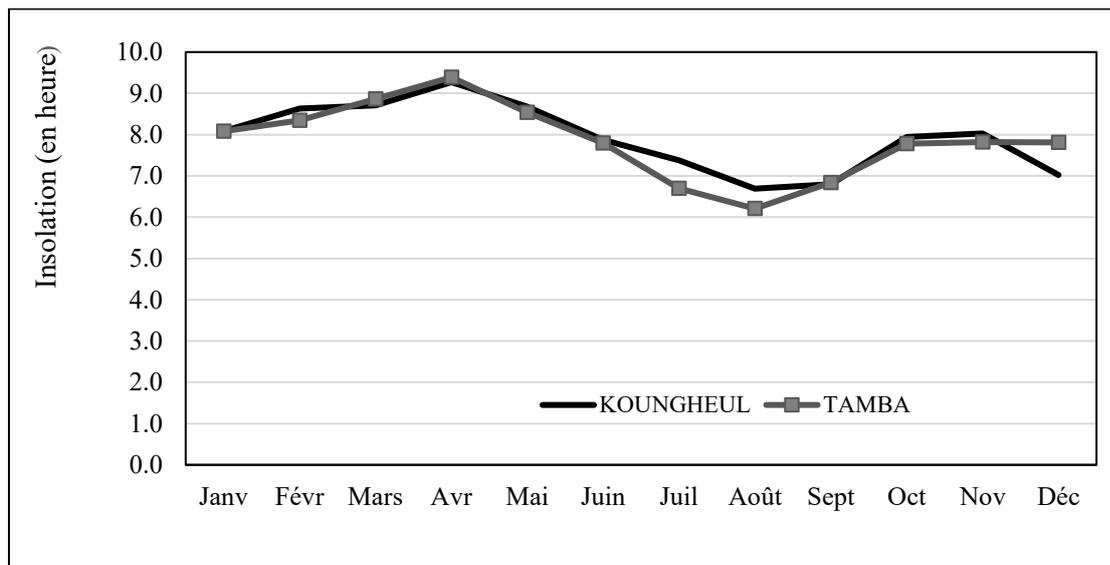


Figure 10: Moyenne mensuelle de l'insolation aux stations de Kougheul et Tamba (1991-2017)

I.3. Contexte géologique et hydrogéologique

I.3.1. Contexte géologique

La zone d'étude se situe à cheval entre le bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien et la zone de transition vers le socle granitique, dont les formations font parties des formations post-éburnéennes qui définissent en partie le craton Ouest Africain.

Le bassin sénégalo-mauritanien

La géologie de la région de Kaffrine et une partie de Tambacounda s'intègre dans celle du bassin Sénégalo-mauritanien qui est le plus vaste et le plus étendu des bassins meso-cénozoïque de la marge atlantique africaine.

I.3.1.1. Lithostratigraphie

Elle est connue grâce aux données de nombreux sondages de recherches d'eau et d'hydrocarbure. Concernant notre secteur d'étude nous avons en plus du maastrichtien, les formations qui lui sont postérieures. Nous distinguons de bas en haut les formations géologiques du continental terminal, de l'éocène, du paléocène et du maastrichtien.

Le Continental Terminal

Renommé << Formation du Saloum >> en raison de son caractère marin, il est surmonté par le Quaternaire et renferme les formations du Pliocène et de l'Oligo- Miocène. Le Continental Terminal se présente sous forme de grès argileux et argiles sableuses jaunes et rouges, argiles bariolées lie-de-vin et blanches.

L'Eocène

Il occupe une part assez importante des affleurements au niveau du bassin sénégalais. Les terrains éocènes sont en majorité marneux et comportent des intercalations de calcaire, des calcaires marneux et de grés plus ou moins calcaire.

L'éocène (épaisseur 40 à 400 m) dans le secteur d'étude est composé essentiellement de marne et de calcaire gréseux.

Trois étages caractérisent l'éocène :

L'Eocène supérieur

En partie érodé, cet étage correspond au substratum du Continental Terminal est souvent constitué d'argiles compactes ou de marno-calcaires ou de calcaires (Diluca, 1976 *in*

Coulibaly, 2013). Une variation latérale de faciès est notée passant des argiles sableuses au Nord à des argiles et marnes au Sud.

L'Eocène moyen (Lutétien et Bartonien)

Epaisse de 127,5 m au Nord, il se rétrécit considérablement pour passer à 5 m au Sud où il n'y que des argiles et marnes (Tendeng, 2002).

L'Eocène inférieur (Yprésien)

Mieux connu dans l'Ouest du pays, l'éocène inférieur est constitué d'argiles, de marnes et de calcaires à silex. Son épaisseur varie de 97,5 m au Nord, à 2,5 m Sud où on rencontre que des argiles et des marnes (Tendeng, 2002).

Le Paléocène

Il correspond à la fin d'un épisode sédimentaire détritique et au début d'une sédimentation chimique calcaires (Diluca, 1976 in Coulibaly, 2013). Cet étage est représenté essentiellement par des calcaires, et des marnes. Il est transgressif sur le Maastrichtien qu'il surmonte parfois en discordance.

Le Maastrichtien

Affleurant sur le horst de Diass, les formations secondaires forment un puissant dépôt reposant sur le socle primaire, correspondent à l'échelle du bassin aux terrains les plus anciens connus en surface. Il est constitué sur la majeure partie du Sénégal, par des sables plus ou moins grossiers et plus ou moins argileux. Localement ces sables s'indurent et passent à des grès (Depagne et Moussu, 1967). Selon ces mêmes auteurs le caractère argileux du Maastrichtien s'affirme au fur et à mesure qu'on s'approche de l'océan et également la profondeur et l'épaisseur de ces formations s'accroissent.

Les données des forages montrent de façon schématique que le toit du Maastrichtien s'approfondit vers l'Ouest (Atlantique) depuis la bordure orientale du bassin. La profondeur du toit passe ainsi de quelques dizaines de mètre (50 en moyenne) à plusieurs centaines de mètres (400 à 500 m). On note donc un approfondissement très rapide vers le littoral nord et vers la Gambie (Projet MN/PNUD/DADSG-SEN/87/006, 1994 in Faye 2005).

I.3.1.2. Particularité Géologique des zones étudiées

➤ la région de Kaffrine

Tributaire du bassin sédimentaire sénégal-mauritanien, elle est surtout marquée par les formations du tertiaire. Le continental terminal s'y retrouve avec des faciès composés de grès

argileux, hétérométrique, bariolé. Le paléocène et l'éocène composé essentiellement de marne et de calcaire gréseux se mettent en place sur toute la partie orientale et centrale. Le Maastrichtien est composé de sable et d'argile. **(Voir coupe lithologique du forage de Niayene Waly à l'annexe 1).**

➤ **la région de Tambacounda**

La région de Tambacounda est formée par des faciès composés de grès, sable et d'argile. En effet nous observons des argiles ocre-jaune et ocre-rouge ayant un aspect bariolé, au sommet de la série, la présence de la cuirasse ferrugineuse compacte qui s'est mise en place à la fin du Pliocène en climat tropical humide (Lienou, 1966 in Correa 2015). **(Voir coupe lithologique du forage de Goudiri à l'annexe 1).**

Le craton Ouest Africain

Rencontré au sud-Est de la zone d'étude, le craton est caractérisé par une évolution polycyclique et constituée de deux dorsales (la dorsale de Réguibat au Nord et la dorsale de Leo Man au Sud) et de deux boutonnières (Kédougou-Kéniéba et Kayes). D'âge précambrien, ce craton est limité à l'Est par la zone mobile d'Afrique centrale et à l'Ouest par la zone mobile d'Afrique de l'Ouest.

Au Sénégal, il est représenté par la boutonnière de Kédougou-Kéniéba qui est constituée de formations granitiques très peu déformées et faiblement métamorphisées. Cette dernière est bordée à l'Ouest par une zone mobile qui correspond à la chaîne des Mauritanides. Elle comprend un ensemble de formations plissées et métamorphisées où l'on distingue d'anciennes roches volcaniques basiques ou neutres, et d'anciennes roches sédimentaires. Cet ensemble relativement complexe a subi diverses granitisations pouvant être syntectoniques, tarditectoniques ou atectoniques (Bassot, 1966).

Nous distinguons d'Ouest en Est trois séries birimiennes d'après Bassot (1966) : la série de Mako, la série du Dialé et la série du Daléma.

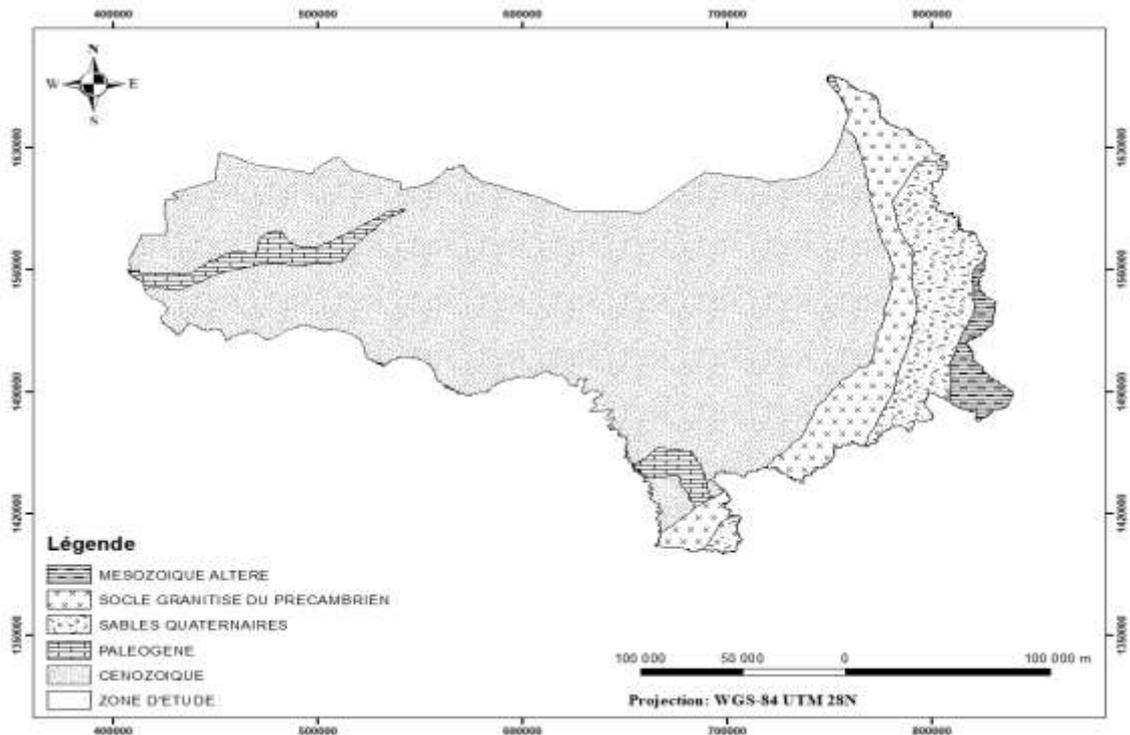


Figure 11: Carte géologique de la zone d'étude (DGPRE)

I.3.2. Contexte hydrogéologique

La majeure partie des ouvrages hydrauliques rencontrés dans la zone capte différents types d'aquifères. Parmi ceux-ci on peut citer :

- l'aquifère du Continental Terminal (CT) et de l'Oligo-Miocène

Ces aquifères appartiennent dans la nomenclature retenue dans l'étude hydrogéologique du Maastrichtien (COWI/Polyconsult 2001) à "L'ensemble supérieur" appelé Complexe Terminal. Ce dernier regroupe les assises géologiques de l'Oligocène du Néogène et du Quaternaire.

Dans cet ensemble et dans le contexte du bassin sénégalo-mauritanien, le système aquifère dénommé "Complexe Terminal" comprend tous les niveaux plus ou moins producteurs de l'Oligocène, du Miocène, du Pliocène ainsi que les dépôts sableux du Pléistocène et de l'Holocène. Il couvre ainsi la quasi-totalité du bassin sédimentaire sénégalais.

La nappe est contenue dans les dépôts sableux, sablo argileux ou grés-argileux d'origine marine qui reposent sur l'épaisse série marno-calcaire du Paléocène et de l'Eocène. Son extension couvre une grande partie du territoire sénégalais, depuis le Ferlo septentrional jusqu'à la Casamance, en passant par le Sine Saloum. Elle est mieux connue dans la zone de Kaffrine - Tambacounda et en Casamance, où elle est captée par de nombreux forages. Elle présente là un aspect "multicouche" caractérisé par différents niveaux aquifères séparés par des horizons plus

ou moins argileux. Les épaisseurs sont relativement grandes et sont liés aux variations morphologiques du toit des marnocalcaires de l'éocène et du paléocène. Ils varient de 20 à 175m

- la nappe profonde du Maastrichtien avec une superficie de plus de 150 000 km², s'étend presque sur la totalité du bassin sédimentaire et renferme des réserves exploitables estimées entre 30 et 40 milliards de m³ d'eau (COWI/Polyconsult 2001). Le système aquifère du Maastrichtien se présente souvent sous un faciès sableux pyriteux et glauconieux. La surface piézométrique montre généralement un écoulement du sud-Est vers le nord-Ouest avec un gradient très faible ($2 \cdot 10^{-4}$ -- $5 \cdot 10^{-5}$) qui s'inverse très localement sur les bords Ouest et Nord du bassin (Travi, 1988). Les transmissivités sont comprises entre 10^{-2} et 10^{-4} m²/s.

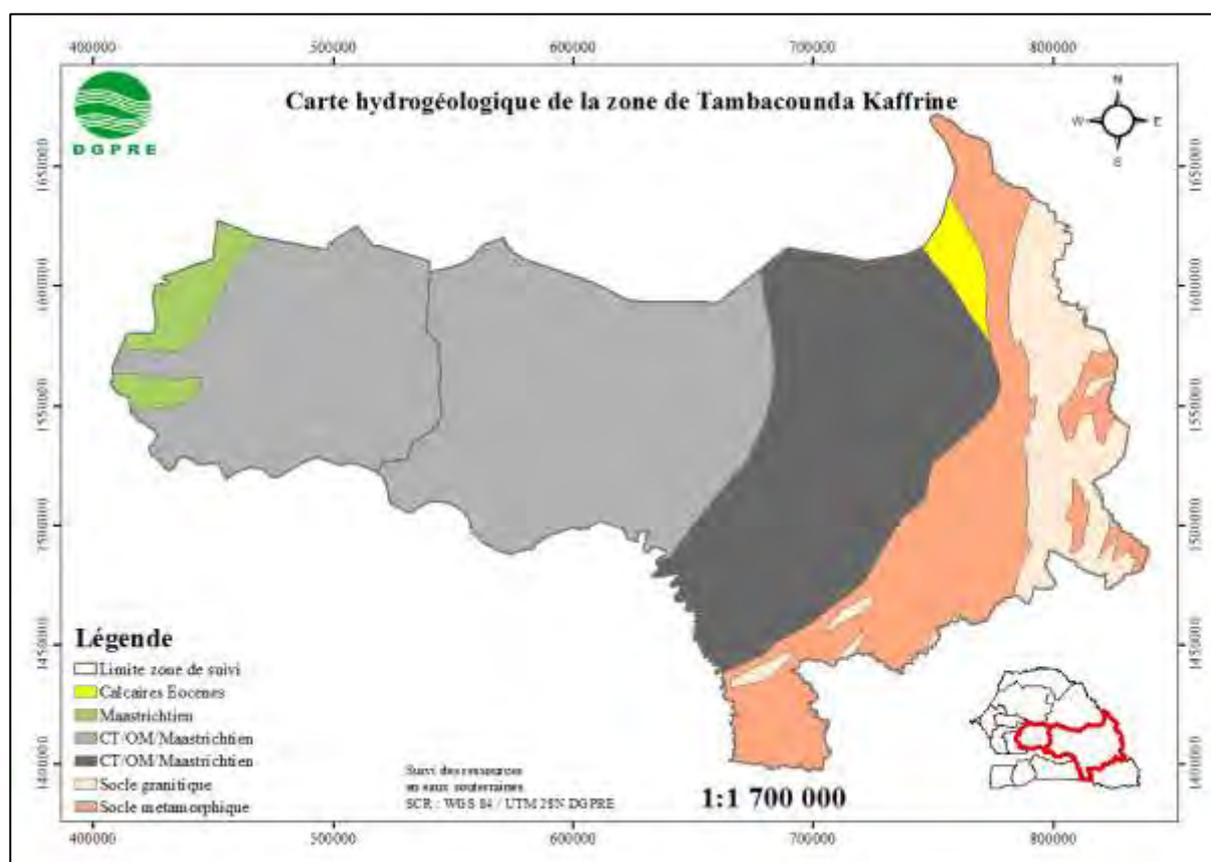


Figure 12: Carte hydrogéologique de la zone de suivi Tambacounda Kaffrine (DGPRE, 2017)

II.2. Données disponibles pour l'étude

II.2.1. Données piézométriques

La chronique des données de la piézométrie dont nous disposons concerne la période allant de 2013 à 2017. Ces données ont été recueillies à la DGPRE dans le cadre du rapport de mission programme sectoriel de l'eau et de l'assainissement (PSEA). Ce programme couvre un important réseau d'ouvrage issu de l'étude hydrogéologique du PSE, dont l'objectif est de faire des campagnes de suivi piézométrique et d'observation sur les différents aquifères.

II.2.2. Données hydrochimiques

A travers ce programme, des mesures in situ des paramètres physico-chimiques (pH et CE) et des prélèvements d'échantillons d'eau ont été réalisés. Les analyses chimiques faites au laboratoire d'hydrochimie du département de Géologie sont issues de 20 ouvrages captant les nappes du Maastrichtien, de l'Oligo-Miocène et du Continental Terminal.

II.2.3. Données de prélèvement

Les données d'exploitation des ouvrages ont été recueillies à la société d'Exploitation Nationale des Eaux du Sénégal (SONES). La chronique dont nous disposons intéresse la période allant de 2010 à 2017 pour la nappe maastrichtienne et de 2015 à 2017 pour la nappe oligo-miocène. Cependant pour la nappe du continental terminal nous ne disposons pas de données de débit d'exploitation.

II.3. Outils et Méthodes

Pour collecter les données et procéder à leur analyse nous avons utilisé différents outils et méthodes.

II.3.1. Les outils

Ce sont des outils informatiques qui nous permis d'analyser et de traiter les données. Il s'agit essentiellement du tableur MS Excel pour l'analyse statistique des données. Le logiciel ARCGIS a servi à la réalisation des cartes piézométriques. La détermination des faciès a nécessité l'utilisation du logiciel « DIAGRAMME LHA » et Statistica pour les diagrammes binaires.

II.3.2. Les méthodes

Le diagramme de Piper a permis de déterminer les faciès chimiques des eaux échantillonnées d'eau. La méthode d'interpolation par krigeage (outil de géo traitement Arcgis) est utilisée pour la réalisation des cartes piézométriques.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Caractérisation hydrodynamique

III.1.1. Evolution des prélèvements

III.1.1.1. Nappe Maastrichtienne

La figure 14 montre une variation du régime d'exploitation de cette nappe au cours de la période considérée. Entre 2010 et 2013, les volumes d'eau extraits sont pratiquement constants et tournent en moyenne au tour de 146m³/mois ; ce qui correspond à un débit horaire de l'ordre de 203 m³. On note à partir de 2014 une augmentation générale des débits d'exploitations qui varient entre un minimum de 954.540 m³ et un maximum de 1.347.010 m³.

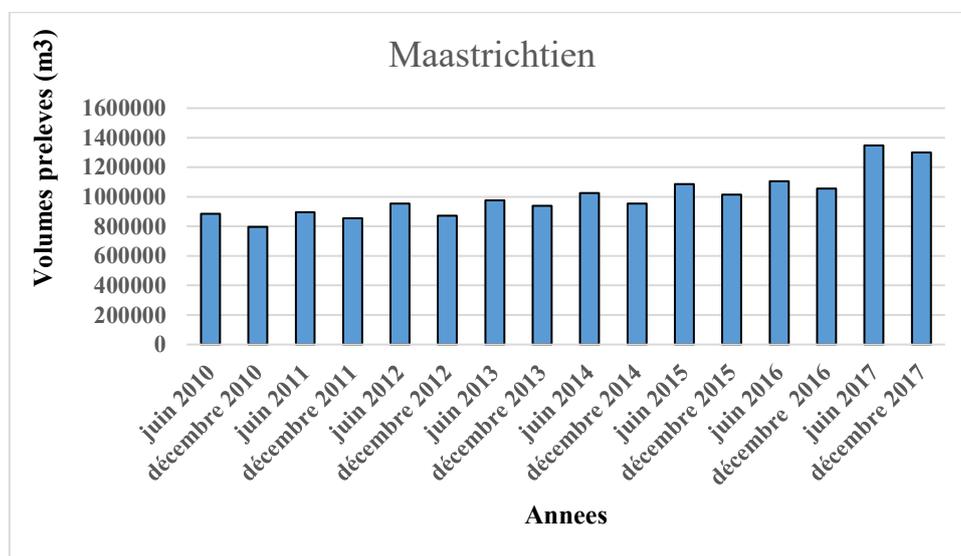


Figure 14: Evolution du volume des prélèvements entre 2010 et 2017 de la nappe maastrichtienne

III.1.1.2. Nappe Oligo-Miocene

La figure 15 montre que le régime d'exploitation de la nappe Oligo-miocène varie légèrement au cours de la période considérée. Elle montre à partir de 2016 une baisse régulière du volume des prélèvements.

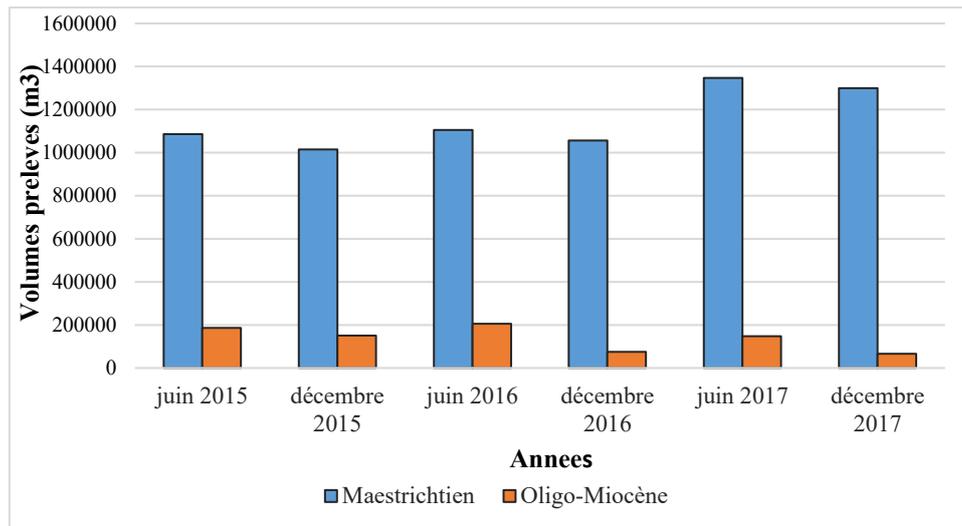


Figure 15: Evolution du volume des prélèvements entre 2015 et 2017 des nappes maastrichtienne et oligo-miocène

III.1.2. EVOLUTION DE LA PIEZOMETRIE

III.1.2.1. Situation hydrogéologique de référence

Dans ce paragraphe nous présentons une analyse de la situation hydrogéologique des différentes nappes étudiées au début de la période considérée, c'est-à-dire en juin 2013.

III.1.2.1.1. Situation de la nappe maastrichtienne

Les données piézométriques nous ont permis de dresser la carte piézométrique de référence (Juin 2013). Elle définit la morphologie globale du toit de la nappe maastrichtienne qui montre (fig16) :

- d'une part des zones de dépression centrées sur le forage de Méréto Dialoubé (-6,22m/IGN) au Sud-Ouest de Tambacounda et sur Diamaguène (-7,21m/IGN) au Nord-Est de Kaffrine. Ces dépressions seraient certainement liées aux pompes dans cette nappe.

L'espacement des courbes isopièzes beaucoup important sur les parties latérales, serait la manifestation dans ce secteur des zones de meilleures transmissivités hydrauliques.

- d'autre part l'existence de trois dômes piézométriques situés :
 - au Nord-Est du secteur d'étude, dans la zone de Fété Niébé avec une cote piézométrique de +32,73m/IGN ;

- au Nord de la zone d'étude, dans la communauté rurale de Koussanar. Le dôme centré sur Sam Gounass, présente une altitude de +19,16m/IGN ;
- au Sud-Ouest de la région de Tambacounda, le dôme est localisé sur le forage de Koundiao Souaré avec une cote piézométrique de +12,05m/IGN.

Ces dômes orientent probablement l'hydrodynamique du système vers toutes les directions en particulier vers les zones de dépression.

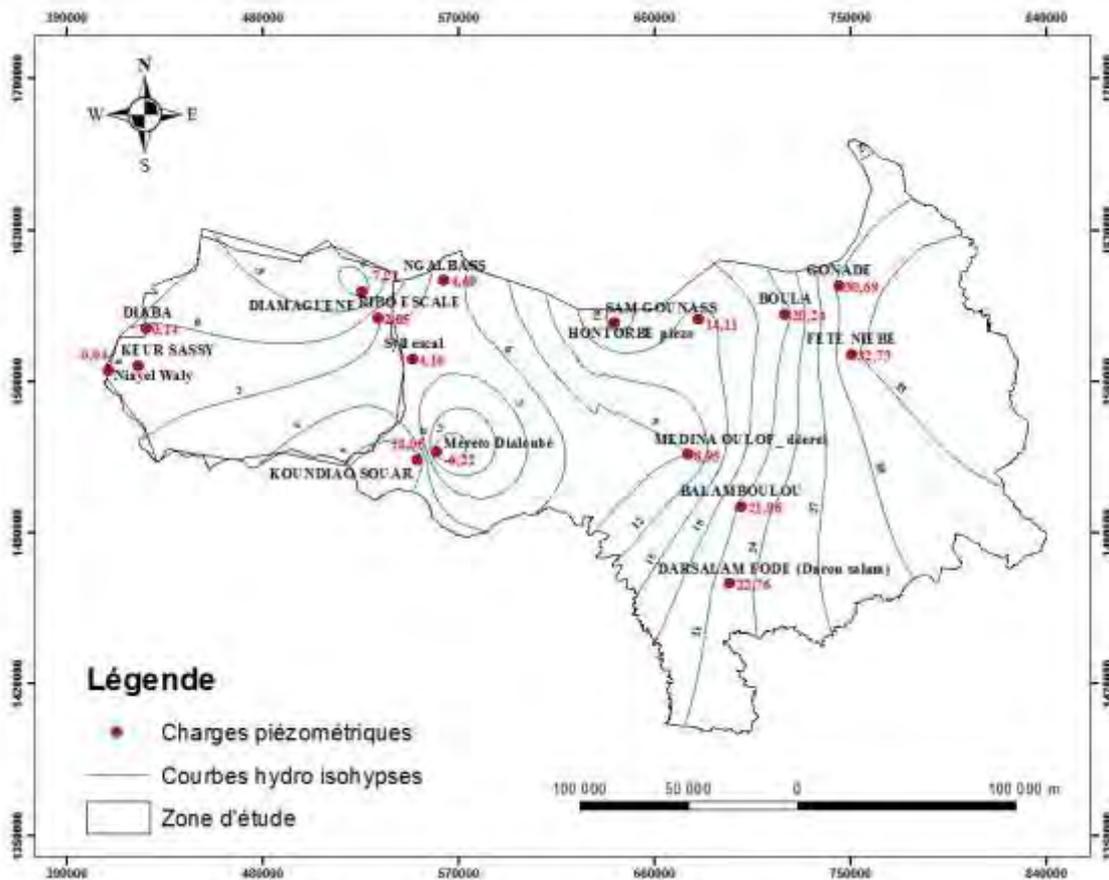


Figure 16: Situation piézométrique de départ de la nappe maastrichtienne (juin 2013)

III.1.2.1.2. Situation de la nappe oligo-miocène

La **figure 17** représente le modèle de la situation piézométrique dans cette nappe en juin 2013. L'analyse de la figure 17 montre les particularités suivantes :

- l'existence d'une grande dépression qui va du centre vers la partie nord de la région de Kaffrine avec des côtes pouvant atteindre -25m/IGN . Cette dépression s'accroît autour de Delbi, Keur Gaye, Ngouye Siwakh et Kaffat.

Cette dépression est localisée à peu près au même endroit que celle qui est centrée sur Diamaguene dans la nappe maastrichtienne.

- deux dômes sont situés autour de Mayel Dibi et Pakeba, dans la région de Tambacounda, avec des cotes piézométriques de +1,16m et 2,19m/IGN respectives.

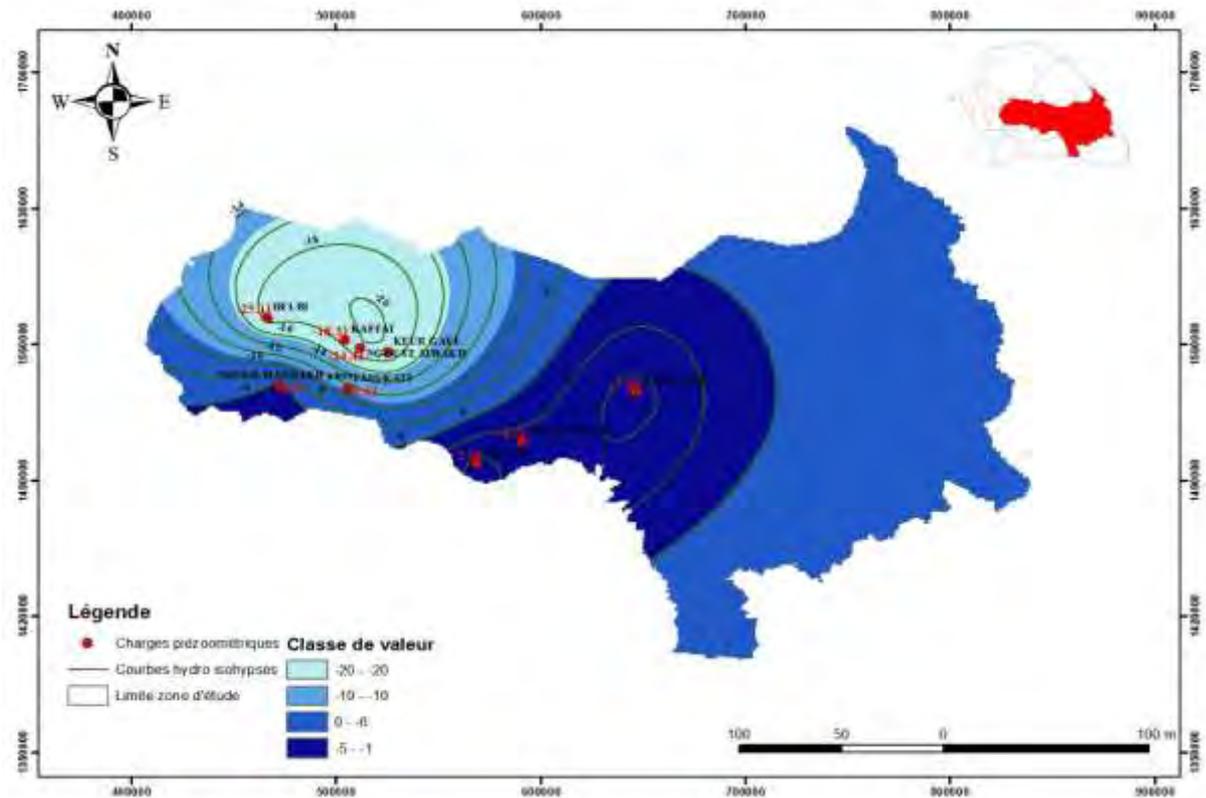


Figure 17: Situation piézométrique de départ de la nappe oligo-miocène (juin 2013)

III.1.2.1.3. Situation de la nappe du continental terminal

La spatialisation des valeurs de niveaux piézométriques dans cette nappe n'est pas possible du fait de l'insuffisance des ouvrages de suivi. Nous disposons que de quatre ouvrages, un puits et trois forages, et le plus souvent c'est le niveau dynamique qui est mesuré. Parmi ces ouvrages un seul forage se trouve dans la région de Kaffrine.

III.1.2.2. Tendance du comportement hydrodynamique à l'échelle de l'année

Dans ce paragraphe nous allons présenter l'évolution annuelle de la piézométrie dans chaque nappe pour la période allant de 2013 à 2018. Pour chaque année nous avons choisi de présenter la configuration piézométrique de chacune d'elle avant et après hivernage et si nécessaire

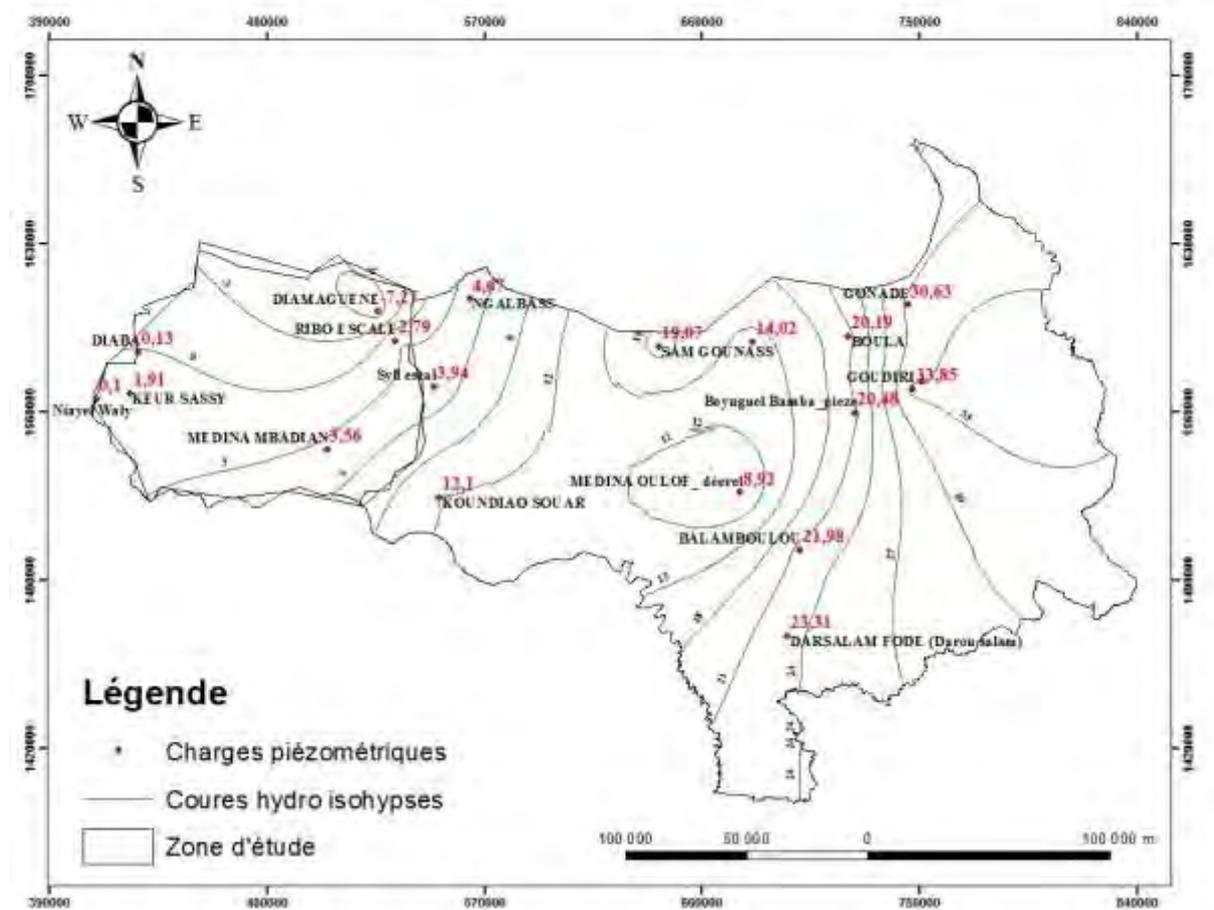


Figure 19: Situation piézométrique de la nappe maastrichtienne en juin 2018

Les figures 20 et 21 montrent que le niveau de la nappe maastrichtienne est en baisse continue en fonction des prélèvements. Une hausse du niveau de la nappe est notée cependant en janvier 2015 dans le secteur de Tambacounda. Cette remontée correspond à la période où on note une diminution des prélèvements qui sont passés de 118 000 à 90 000m³. Nous pouvons noter que les minima des prélèvements observés en janvier 2013, 2014 et 2015 ont entraîné une remontée du niveau de la nappe visible sur les ouvrages de Diamaguene, Diaba, Koundioa Souaré, DarSalam Fodé...

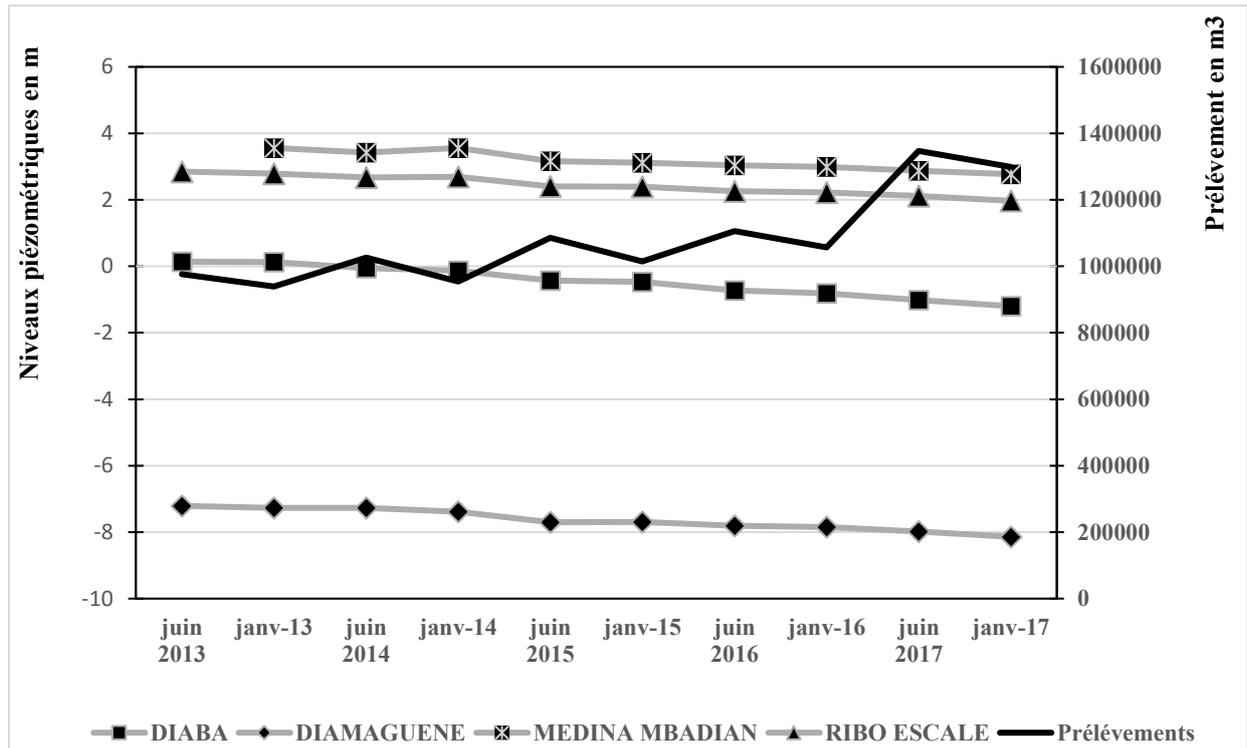


Figure 20: Relation débits pompés / niveaux piézométriques dans la zone de Kaffrine

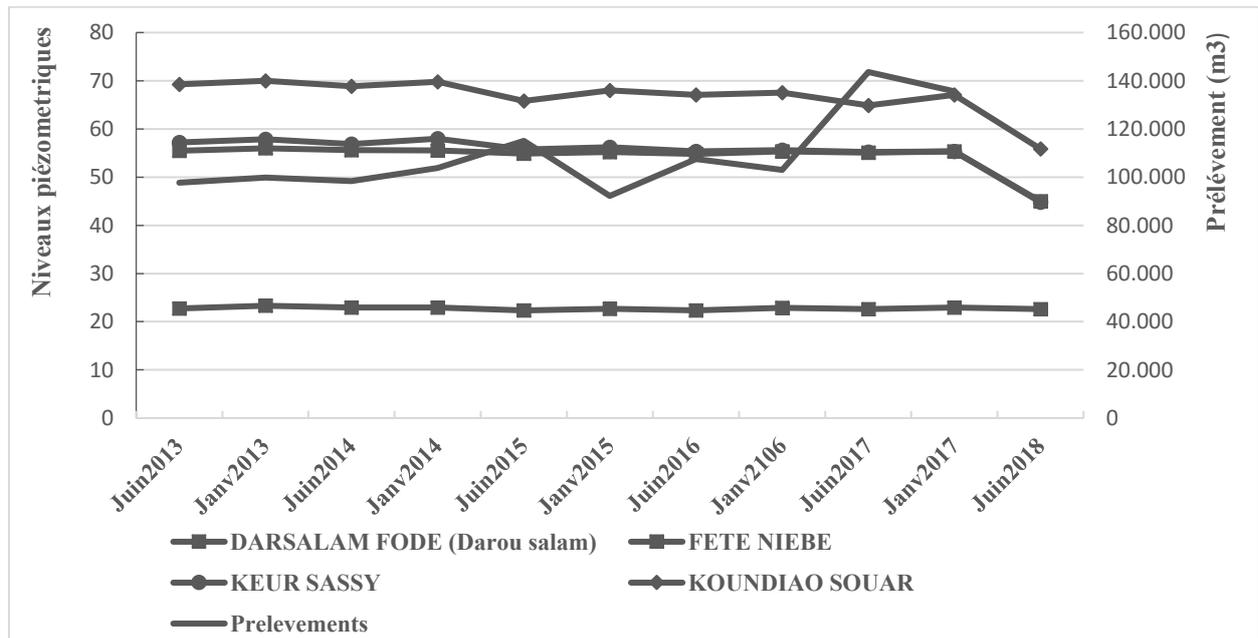


Figure 21: Relation débits pompés / niveaux piézométriques dans la zone de Tambacounda

III.1.2.2.2. Evolution spatio-temporelle de la piézométrie

Pour mieux expliquer l'évolution des niveaux, huit ouvrages ont été choisis. D'une manière générale la nappe maastrichtienne a connu baisse durant ces six dernières années (**figure 22**). Durant ces dernières années, avec la baisse de la pluviométrie qui sévit dans le secteur d'étude, on a une diminution de la recharge de la nappe par les eaux de pluie. L'accroissement des

besoins en eaux potables a entrainé une surexploitation de la nappe car les prélèvements ne sont pas modulés en fonction des conditions climatiques actuelles. La conjonction de ces facteurs a occasionné une baisse générale du niveau de la nappe maastrichtienne.

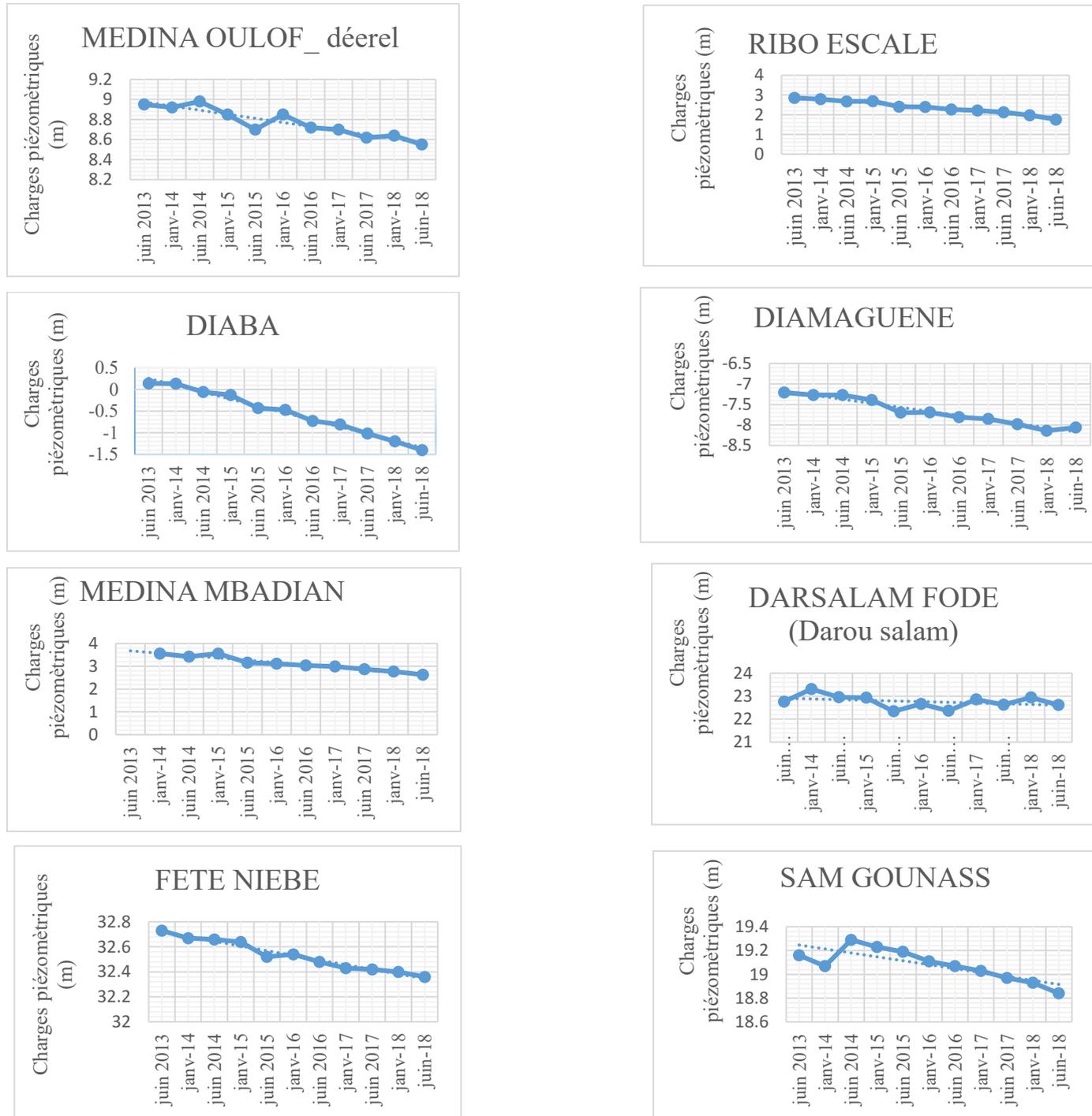


Figure 22: Evolution de la piézométrie dans le temps dans la nappe maastrichtienne

III.1.2.2.2. Tendence dans la nappe oligo-miocène

L'étude comparative des cartes piézométriques juin 2015 et janvier 2016 avec la situation de référence (**juin 2013**) nous a permis d'analyser l'évolution de la morphologie de la surface piézométrique. La **figure 23** montre une baisse du niveau de la nappe perceptible à travers le rétrécissement des iso pièzes au tour de Mayel Dibi. Cependant par rapport à la situation de juin 2013 on note une hausse des niveaux piézométriques au niveau de la dépression matérialisée par un recul des isopièzes. La dépression aux environs de Kaffrine traduit une baisse du niveau de la nappe qui peut être liée à la surexploitation de l'aquifère. L'état piézométrique de janvier 2016 (**figure 24**) montre une certaine remontée de la nappe après l'hivernale à travers un redressement des iso pièzes au tour de Mayel Dibi. Ce phénomène est noté également dans la grande dépression par une inflexion de l'iso pièze -20m/IGN aux environs de Delbi. Ces apports peuvent provenir des pluies infiltrées.

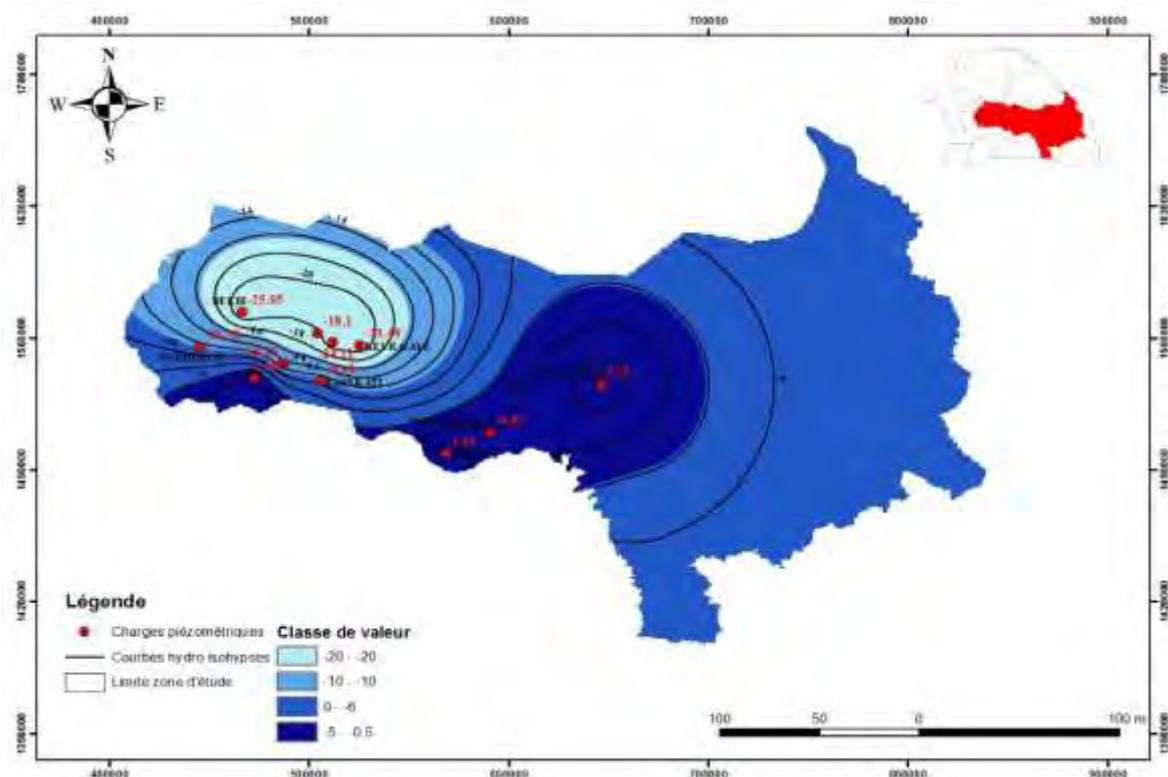


Figure 23: Situation piézométrique de départ de la nappe oligo-miocène en juin 2015

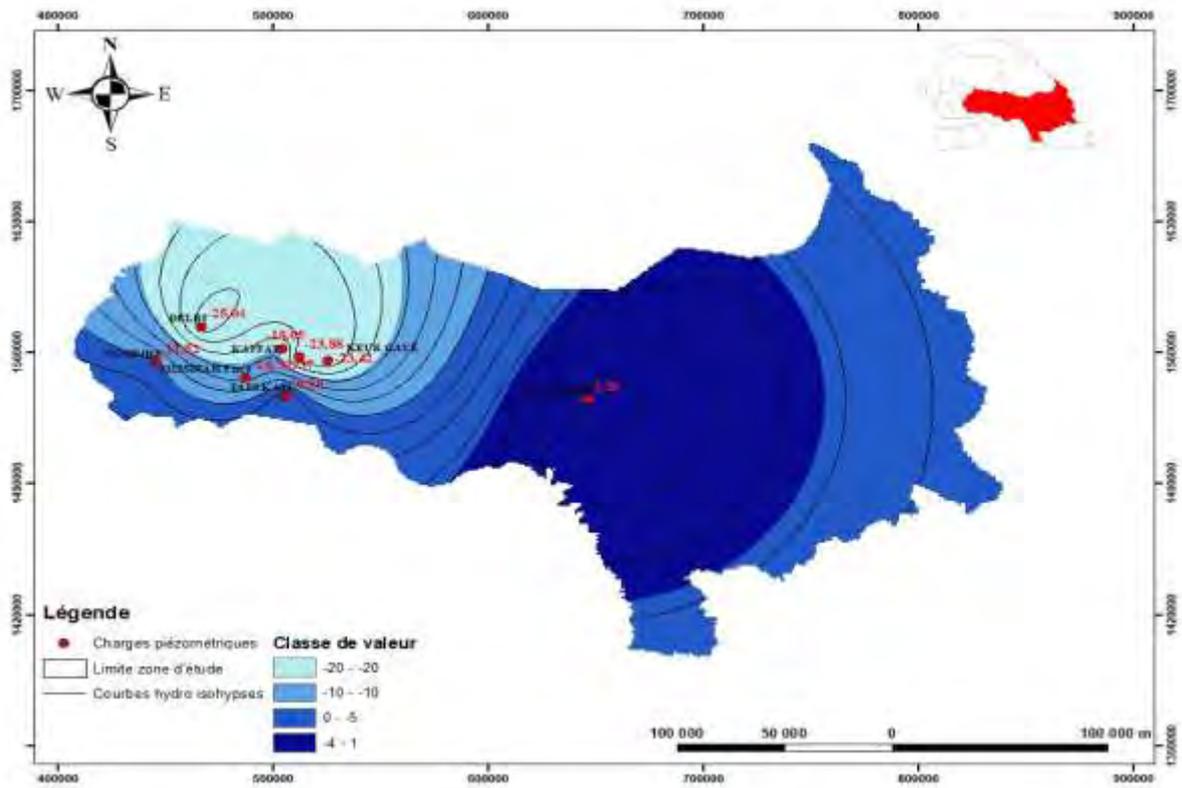


Figure 24: Situation piézométrique de départ de la nappe oligo-miocène en janvier 2016

La figure 25 indique que le niveau piézométrique à l'inverse des prélèvements qui sont en baisse dans l'ensemble, est en train de remonter. Les fluctuations du niveau piézométrique correspondent à des variations saisonnières et peuvent confirmer l'effet de la recharge hivernale.

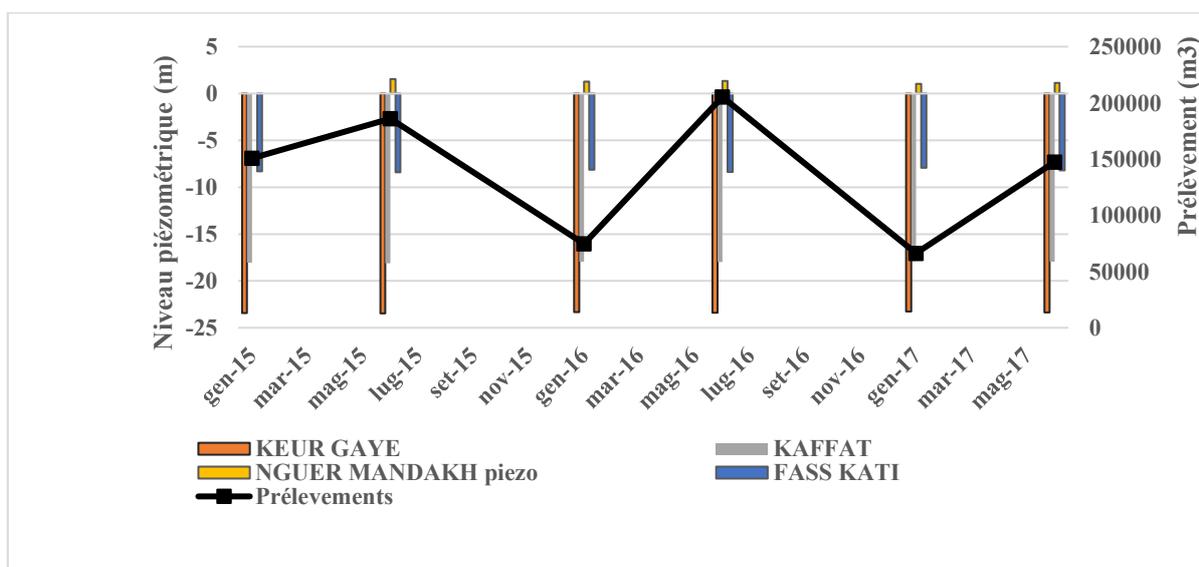


Figure 25: Relation débits pompés/ aux niveaux piézométriques dans la nappe oligo-miocène

III.1.2.2.2. Evolution spatio-temporelle de la piézométrie de la nappe oligo-miocène

Les courbes d'évolution de la piézométrie de la nappe oligo-miocène (**figure 26**) durant la période considérée (**juin 2013**) comporte trois phases :

- une hausse de 2013 à 2015 ;
- une baisse en juin 2015
- une nouvelle remontée en janvier 2016

Les remontés du niveau de la nappe correspondent à des années où la pluviométrie est très importante et à une diminution des volumes d'eau prélevés.

La baisse du niveau piézométrique peut être expliquée par un déficit pluviométrique intervenue en 2015.

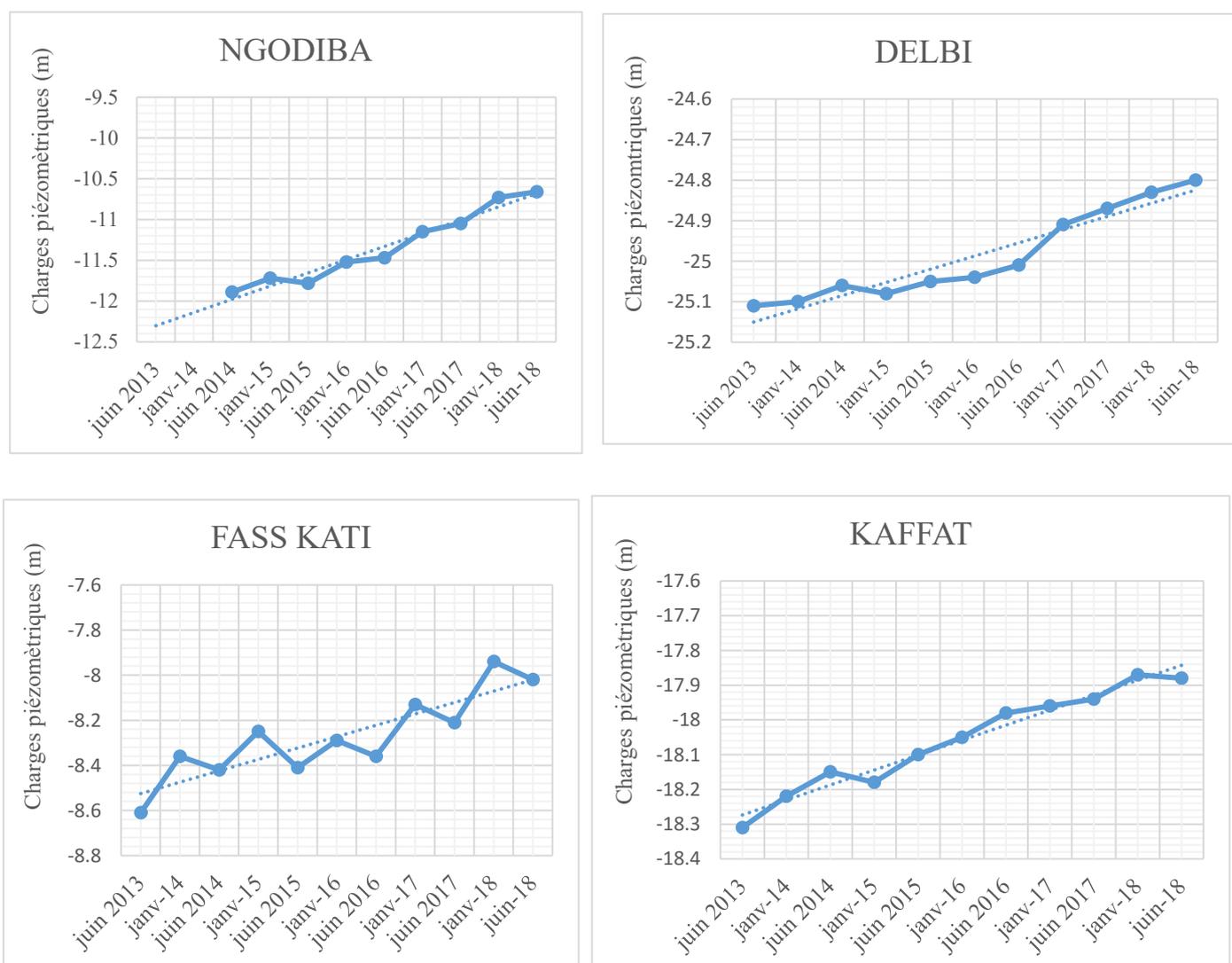


Figure 26: Evolution de la piézométrie dans le temps dans la nappe oligo-miocène

En définitive nous pouvons retenir que le niveau de cette nappe augmente progressivement même si les côtes piézométriques restent toujours négatives. Cette hausse du niveau de la nappe peut être expliquée à l'évidence par une baisse des volumes d'eaux extraits au niveau de la nappe oligo-miocène durant ces dernières années (**figure15**).

III.1.2.2.3. Tendence dans la nappe du continental terminal

Pour cette nappe avec l'insuffisance des ouvrages de suivi, nous avons choisi de suivre l'évolution du niveau piézométrique au puits de Bantanani. La **figure 27** montre :

- une évolution irrégulière de 2013 à 2015 avec une charge maximale de +28,67m/IGN atteint en juin 2014.
- de 2015 à 2017 on enregistre une hausse de 0.6m ; on remarque ensuite une tendance de baisse jusqu'à atteindre plus ou moins le niveau qui était obtenu en 2013.

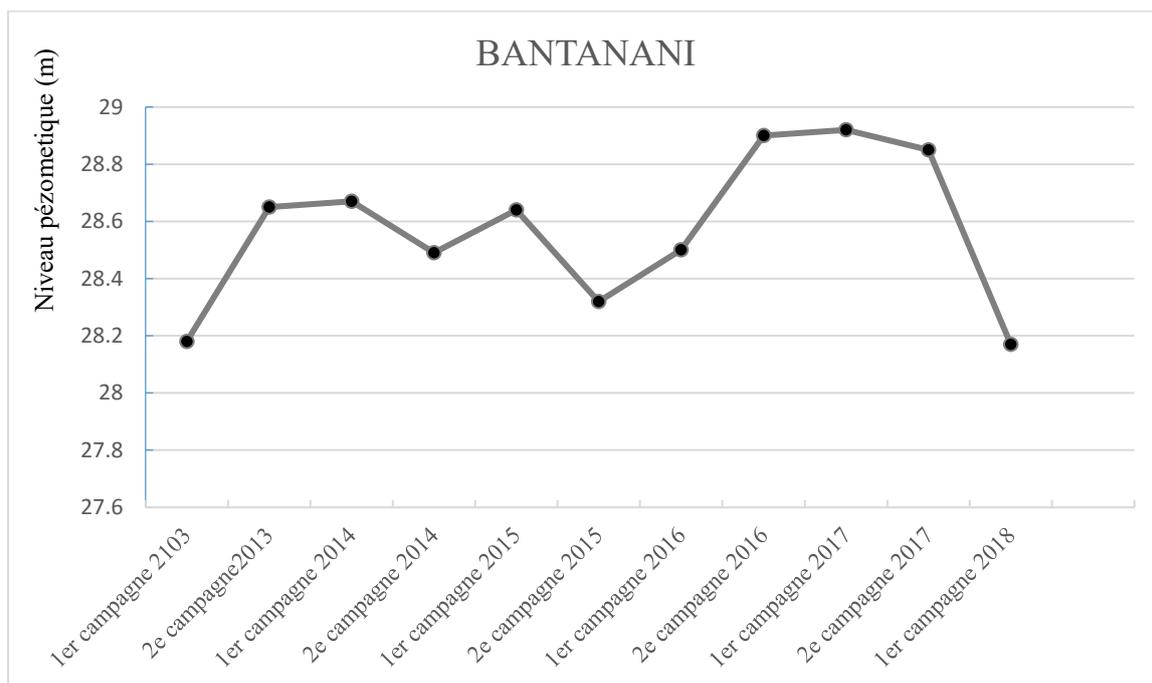


Figure 27: Fluctuations piézométriques du Continental Terminal (Bantanani, 2013 à 2018)

III.2. Hydrochimie

III.2.1. Hydrochimie de la nappe maastrichtienne

III.2.1.1. Variation des teneurs en anions dans la nappe maastrichtienne

- le chlorure

Les teneurs en chlorure sont généralement associées à celles du sodium. Les concentrations en chlorures varient entre 2,5 et 328,91mg/l en juin 2013 et entre 3,76 et 362,31mg/l en janvier 2018. Les plus fortes teneurs sont observées dans les ouvrages situés à l'extrême Ouest de la région de Kaffrine proche de la bande salée et du fleuve Gambie. Les teneurs en ions chlorure augmentent de 2013 à 2018. Elles restent plus ou moins constantes au niveau e certains points comme l'atteste la **figure 28**. Comparées aux normes de l'OMS, les eaux du maastrichtien présentent 67% d'eau admissible pour la consommation humaine. Seuls quelques points comme Mabo forage, Sorocogne, Niayel Waly et Keur Sassy ont des teneurs supérieures à la norme OMS (250 mg/l) (**figure 29**).

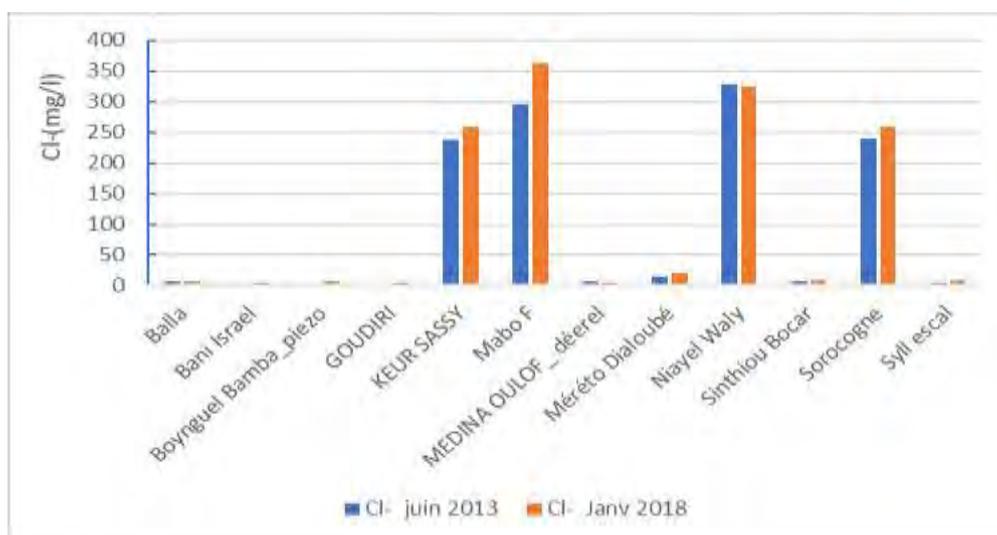


Figure 28: Variations des teneurs en chlorure (juin 2013 et janvier 2018)

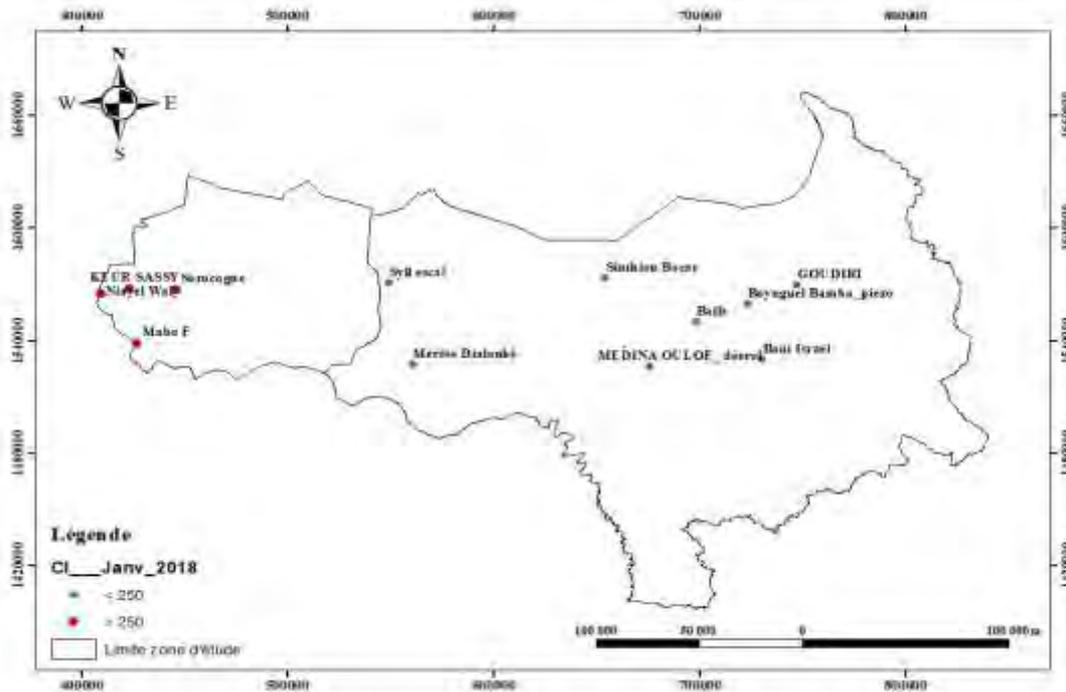


Figure 29: Spatialisation des teneurs en chlorure dans la nappe maastrichtienne

- le sulfate

On le retrouve dans presque toutes les eaux naturelles, provenant de l'oxydation des minerais de sulfites, de la présence de schiste ou encore de déchets industriels. Il est aussi présent dans l'eau de pluie.

Les teneurs en sulfate dans la nappe maastrichtienne varient entre 0,24 et 96,6mg/l en juin 2013 et entre 0,02 et 94,28mg/l en 2018 (**figure 30**). La norme de l'OMS pour la consommation humaine 250mg/l n'est pas dépassée sur l'ensemble des ouvrages.

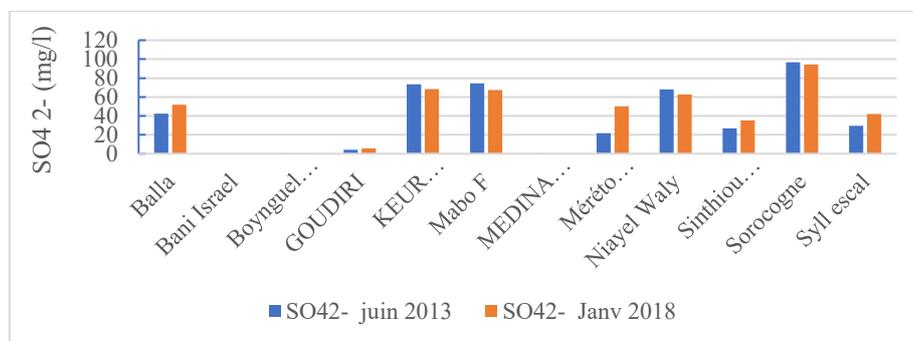


Figure 30: Variations des teneurs en sulfate (juin 2013 et janvier 2018)

- **Les nitrates**

Les eaux souterraines sont naturellement pauvres en nitrates. La forte teneur en nitrate, rencontrée dans les eaux souterraines est généralement liée à l'action anthropique (utilisation des engrais organiques dans l'agriculture, eaux usées ou les déchets industriels). Les nitrates qui proviennent de la minéralisation de l'azote organique ou de l'oxydation de l'azote inorganique (NH_4^+), des déchets et de l'agriculture, ne sont pas tous absorbés par le sol. Ils migrent par la suite vers la nappe pour arriver au niveau des points de captages. L'analyse des données chimiques montre que les concentrations en nitrate dans la nappe maastrichtienne varient entre 0,45 et 40,69mg/l en 2013 et entre 2,2 et 7,74mg/l en 2018 (**figure 31**). Cette diminution de la concentration des ions peut être liée à la dilution des eaux de la nappe par la pluie infiltrée. La norme de l'OMS pour la consommation humaine 50mg/l n'est pas dépassée sur l'ensemble des ouvrages.

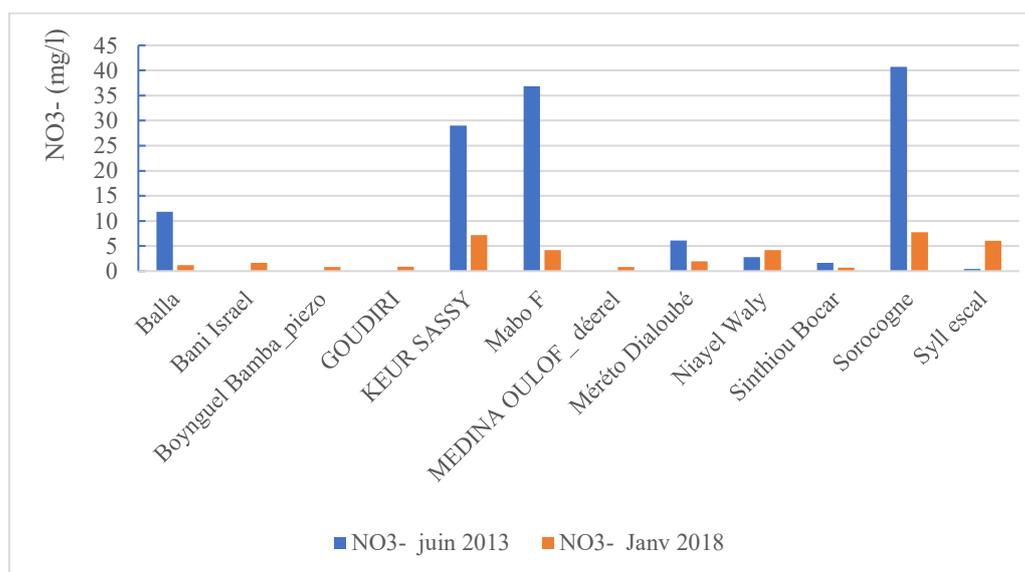


Figure 31: Variations des teneurs en nitrate (juin 2013 et janvier 2018)

- **Les bicarbonates**

Les concentrations en bicarbonate varient de 12,2 à 384,4mg/l en juin 2013 et de 12,2 à 396,5mg/l en janvier 2018 (**figure 32**). Elles montrent une augmentation pour la plupart des ouvrages d'observation en 2018. Cette augmentation peut être liée au lessivage dans la zone

non saturée. Les valeurs les plus importantes sont observées aux environs de Kaffrine (**figure 33**) où la norme de l'OMS pour la consommation humaine est dépassée (250mg/L).

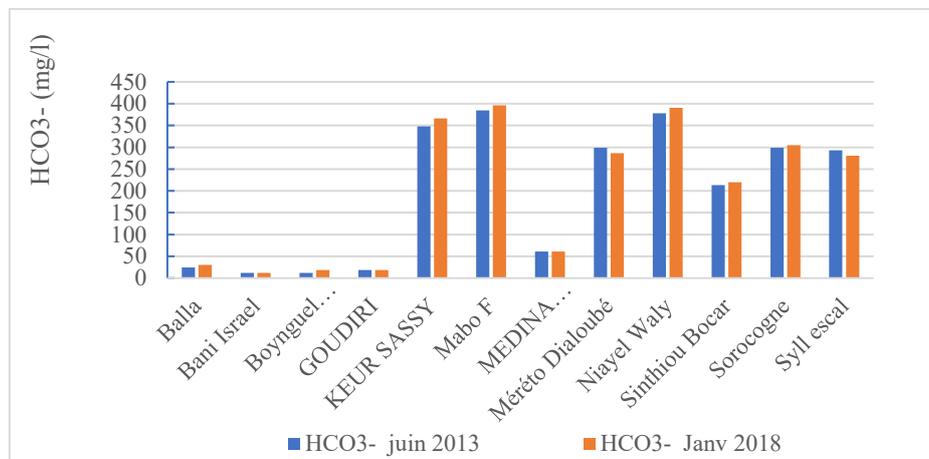


Figure 32: Variations des teneurs en bicarbonate (juin 2013 et janvier 2018)

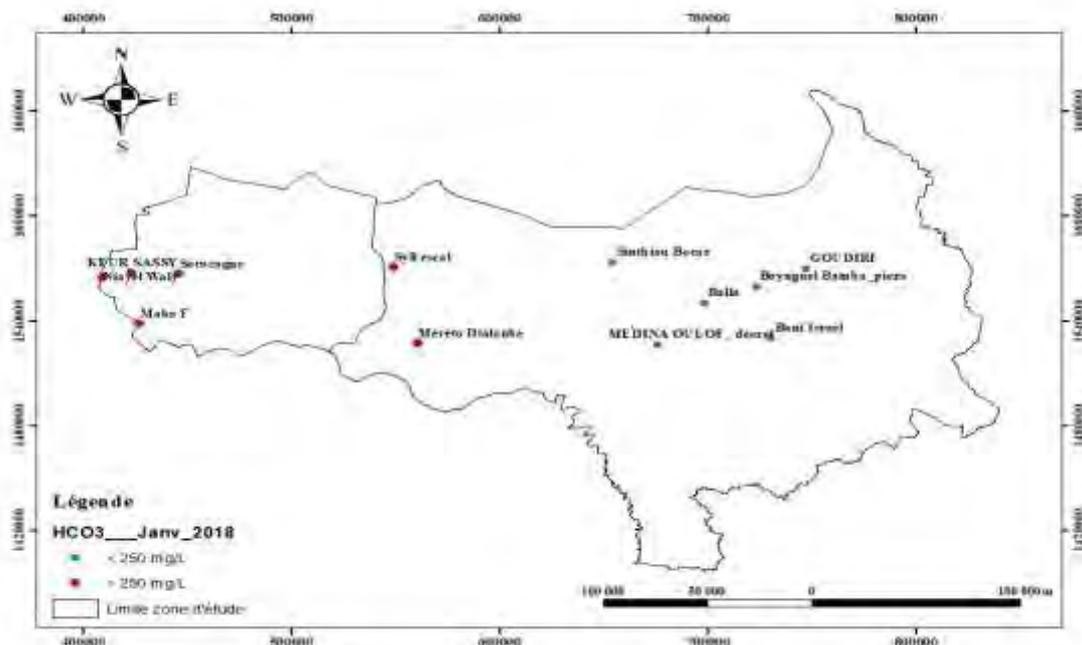


Figure 33: Spatialisation des teneurs en bicarbonate dans la nappe maastrichtienne

- **Le fluor**

Les concentrations en fluor varient entre 0,06 et 3,72mg/l en 2013 et entre 0,08 et 3,82mg/l en 2018. Les teneurs en fluor augmentent de 2013 à 2018 (**figure 34**). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les ouvrages localisés aux environs de Kaffrine (**figure 35**). La norme de l'OMS pour la consommation humaine (1,5mg/l) n'est pas dépassée sur l'ensemble des

ouvrages à l'exception de Mabo forage, Niayel Waly, Keur Sassy et Sorocogne. Ces derniers se situent sur la bande centrale salée, ce qui augmente leurs concentrations en fluor.

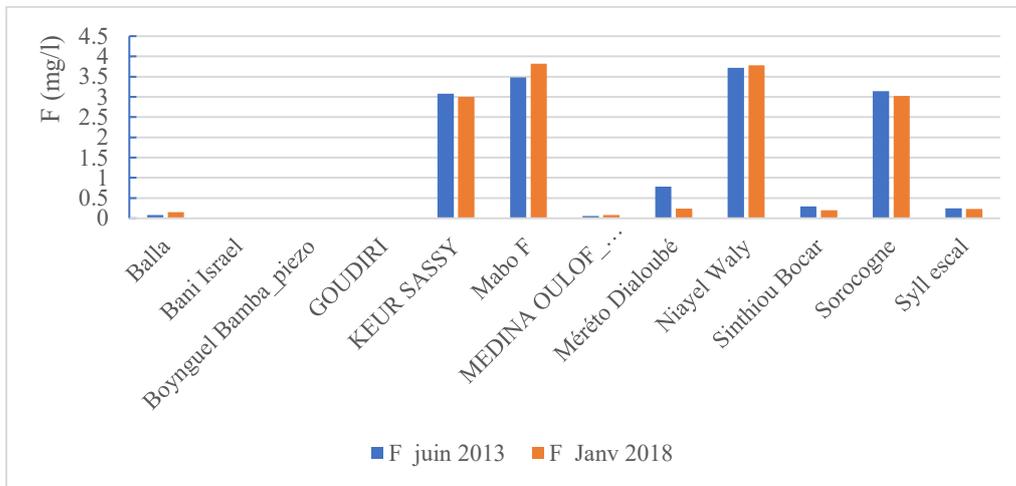


Figure 34: Variations des teneurs en fluor (juin 2013 et janvier 2018)

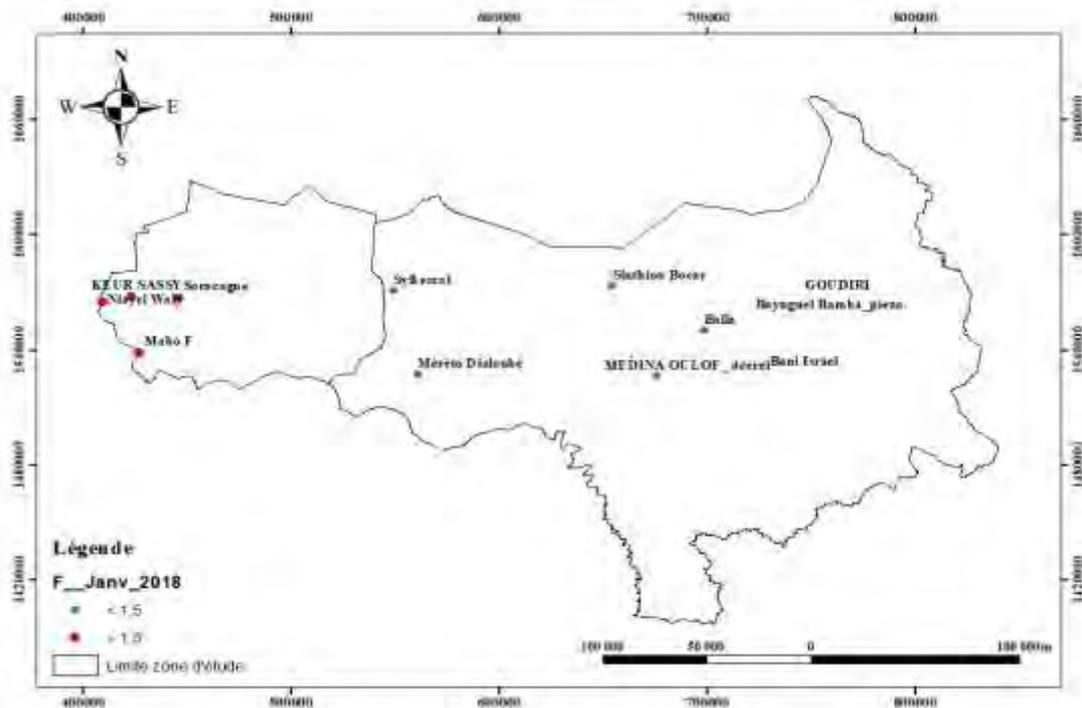


Figure 35: Spatialisation des teneurs en fluor dans la nappe maastrichtienne

III.2.1.2. Variation des teneurs en cations dans la nappe maastrichtienne

- **Le sodium**

Il est toujours présent dans les eaux naturelles en proportions variables. Il provient de la dissolution des minéraux des roches riches en sodium comme les minéraux argileux, les silicates primaires à titre plagioclases (albite) et des eaux usées d'origine domestique et/ou industrielle.

Les teneurs en ions sodium suivent la même répartition que les ions chlorure. Elles varient entre 2,95 et 361,3mg/l en 2013 et entre 0,85 et 379,58mg/l. Elles augmentent dans le temps (**figure 36**). Cette augmentation pourrait être liée à un apport d'ions provenant du lessivage de la zone non saturée de l'aquifère traversé par les eaux d'infiltration. Les concentrations en sodium sont plus élevées dans la zone de Kaffrine. La valeur maximale admissible de 200mg/l pour la consommation humaine n'est dépassée que dans quelques endroits de la nappe. Il s'agit des points d'observation situés à Keur Sassy, Mabo forage, Sorocogne et Niayel waly.

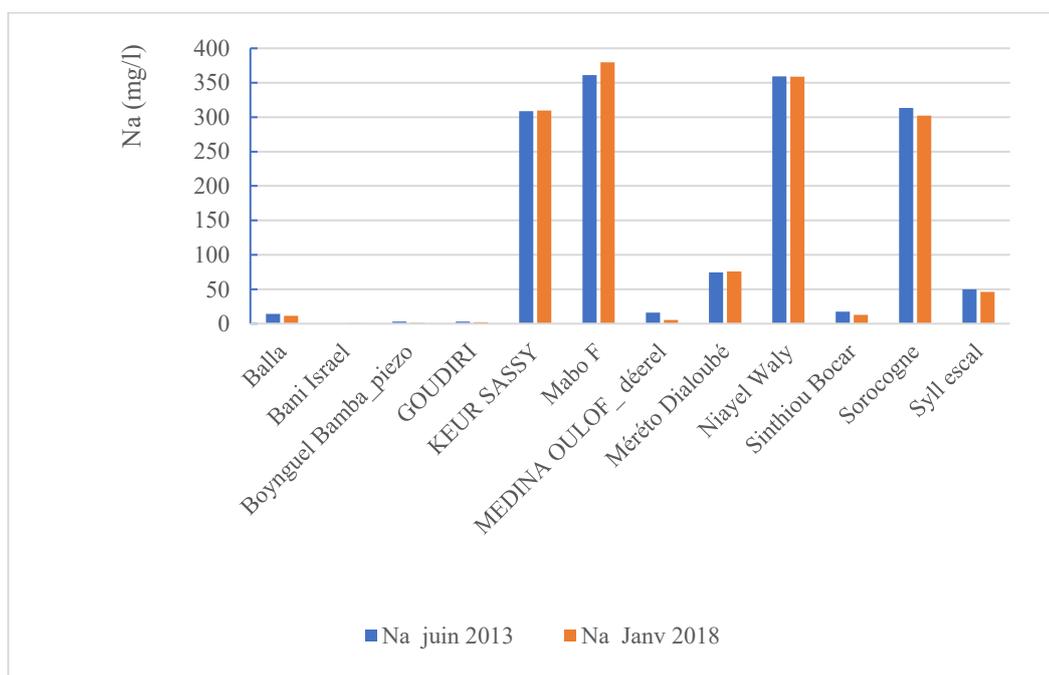


Figure 36: Variations des teneurs en sodium (juin 2013 et janvier 2018)

- **Le calcium**

Les ions calcium dans la nappe varient entre 1,6 et 430,06mg/l en 2013 et entre 3,41 et 58,81mg/l en 2018 (**figure 37**). Les teneurs les plus élevées sont observées dans les points situés dans la région de Tambacounda.

Les concentrations en calcium augmentent progressivement pour la plupart des ouvrages d'observations en janvier 2018. Elles sont inférieures à la valeur maximale admissible 200mg/l pour la consommation humaine.

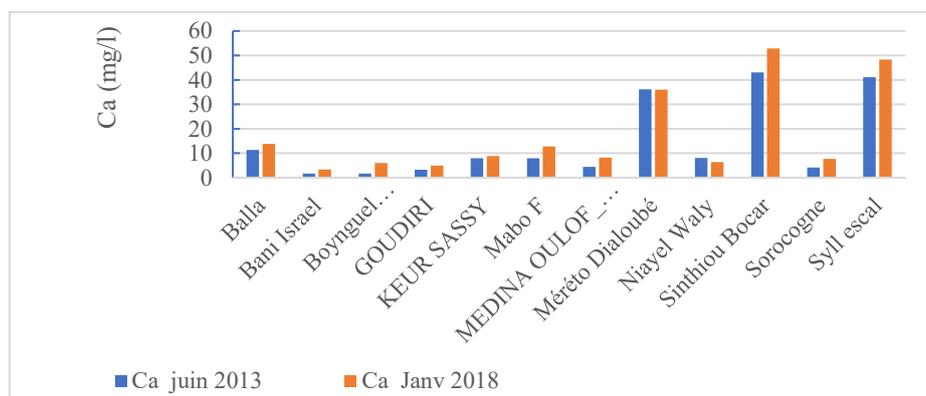


Figure 37: Variations des teneurs en calcium (juin 2013 et janvier 2018)

- **le potassium**

Les teneurs en potassium dans la nappe maastrichtienne varient entre 0,34 et 20,42mg/l en juin 2013 et entre 0,33 et 10,45mg/l en 2018. Elles diminuent dans le temps (**figure 38**). Une légère augmentation est notée ce pendant au niveau de certains points d'observation (Balla, Méréto Dialoubé, Sinthiou Bocar). La diminution de la concentration en potassium peut être liée à la dilution des eaux de la nappe par les eaux de pluie. Ceci se ressent plus facilement dans les zones à faibles profondeurs de la nappe où la recharge est plus rapide cas de Sorocogne, Niayel waly et Mabo forage. La norme maximale admissible 12mg/l pour la consommation humaine est respectée.

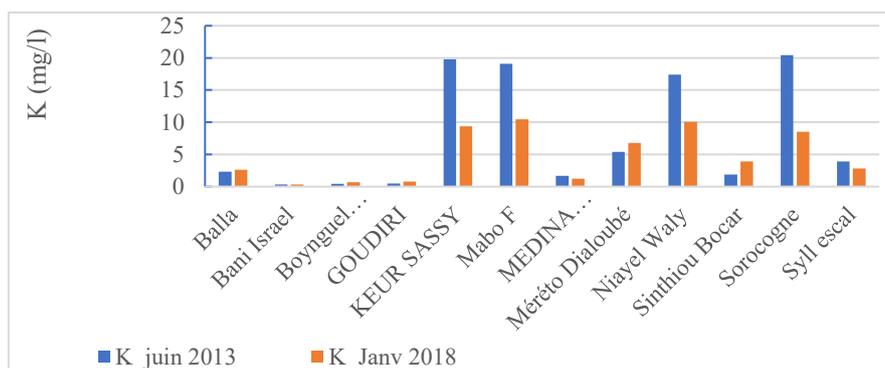


Figure 38: Variations des teneurs en potassium (juin 2013 et janvier 2018)

- **Le magnésium**

Les concentrations en magnésium (Mg^{2+}) sont comprises entre 0,49 et 16,37 mg/l en juin 2013 et entre 1,05 et 13,18 mg/l en janvier 2018. Dans l'ensemble les plus faibles valeurs sont enregistrées à l'Ouest. Pour la plupart des ouvrages les teneurs en magnésium ont augmenté en 2018 (**figure 39**). Les teneurs en magnésium sont en dessous de la norme de l'OMS pour la consommation humaine (50mg/l).

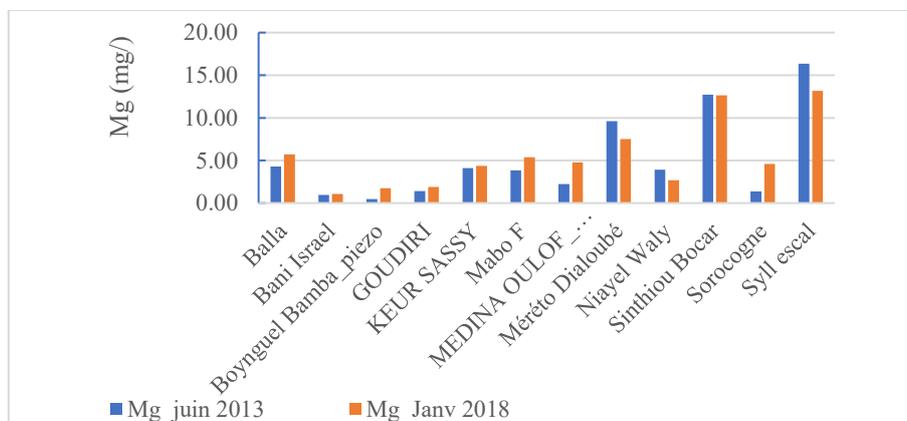


Figure 39: Variations de teneurs en magnésium (juin 2013 et janvier 2018)

- **Le fer**

Les teneurs en fer varient entre 0,21 et 1,19mg/l en juin 2013 et entre 0,01 et 3,52mg/l en janvier 2018 (**figure 46**). Les ouvrages situés dans la région de Tambacounda présentent les teneurs les plus élevés (**figure 40**). Ceci peut être dû à la cuirasse latéritique et des sols ferrugineux qui affleurent dans cette région (**voir coupe lithologique du forage de Goudiry à l'annexe 1**). La

norme de l'OMS pour la consommation humaine 0,3mg/l est dépassée sur l'ensemble des ouvrages à l'exception de Bani israel, Keur sassy et Niayel waly.

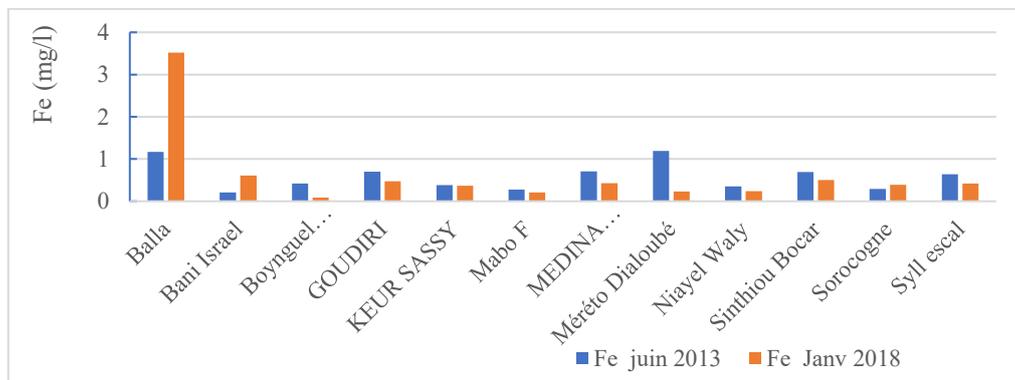


Figure 40: Variations des teneurs en fer (juin 2013 et janvier 2018)

III.2.1.3. Analyse corrélative

La matrice de la corrélation a été obtenue grâce à l'analyse en composantes principales. Cette dernière met en évidence les liens qui semblent exister entre les éléments physico-chimiques. L'étude statistique englobe 12 échantillons prélevés dans une seule campagne (janvier 2018).

L'analyse du tableau 2 montre l'existence d'une forte corrélation entre le TDS et les ions Na (0,98), K (0,98), HCO₃ (0,94), Cl (0,95), SO₄ (0,85) et le NO₃ (0,77). Ces fortes corrélations indiquent que les variations des charges ioniques dissoutes sont entièrement ou en partie liées à des variations des teneurs de ces différents ions. Ceci indique également que les différents paramètres ont tendances à évoluer concomitamment par concentration sous l'effet de la lithologie. La minéralisation des eaux fortement influencée par les ions sodium, chlorure, potassium, bicarbonate, sulfate et nitrate qui présentent une forte corrélation avec le TDS. Le calcium et le magnésium sont fortement liés entre eux (0,95).

Tableau 2 : Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques

	TDS	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3
TDS	1									
pH	0,8	1								
Ca	-0,05	0,44	1							
Mg	0,06	0,52	0,95	1						
Na	0,98	0,72	-0,26	-0,15	1					
K	0,98	0,87	-0,02	0,06	0,94	1				
HCO3	0,94	0,96	0,27	0,34	0,84	0,93	1			
Cl	0,95	0,66	-0,33	-0,21	0,99	0,91	0,79	1		
SO4	0,85	0,85	0,11	0,24	0,80	0,88	0,82	0,74	1	
NO3	0,77	0,68	-0,02	0,14	0,74	0,68	0,74	0,68	0,78	1

La figure 41 montre un excès de sodium par rapport au chlorure. Cet excès en sodium par rapport aux chlorures indique un apport important de sodium par lessivage des roches, pour les eaux non influencées par des apports anthropiques.

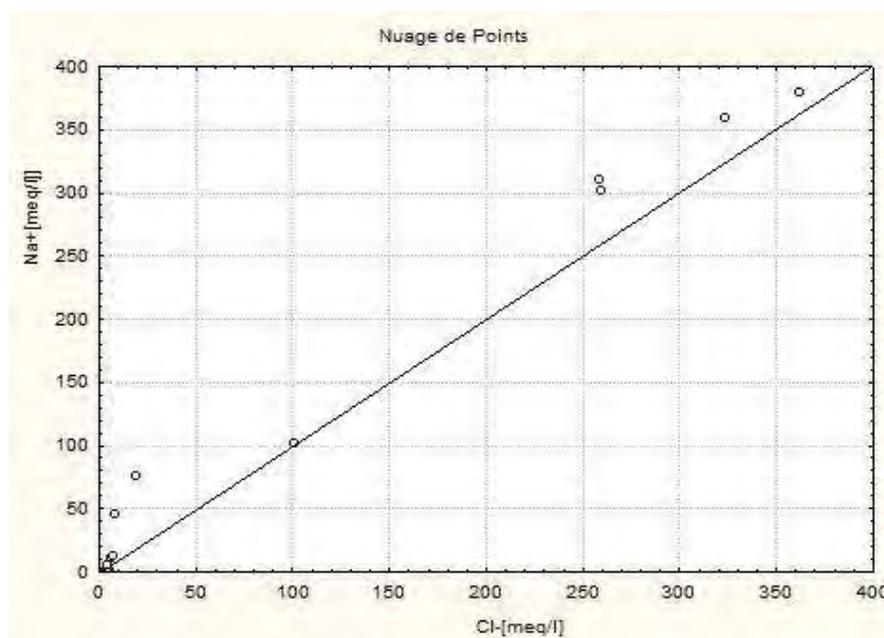


Figure 41 : Diagramme binaire Na vs Cl

Les figures 42 et 43 montrent une dominance des ions bicarbonatés sur les ions alcalino-terreux. Cet enrichissement pourrait être lié à des phénomènes de dissolution des roches favorisés par la présence de pH relativement élevés.

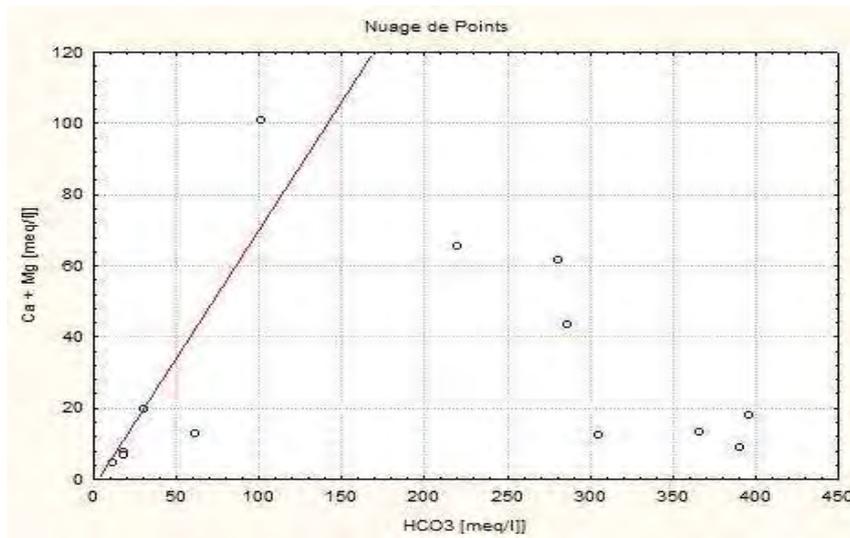


Figure 42: Diagramme binaire Ca+Mg vs HCO₃

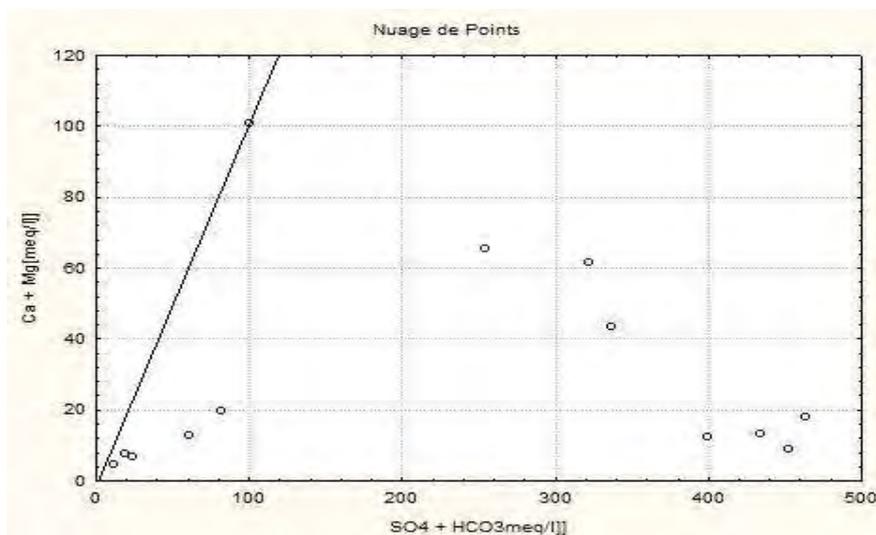


Figure 43: Diagramme binaires Ca+Mg vs HCO₃+SO₄

III.2.1.4. La qualité de l'eau

Le diagramme de Piper nous a permis de connaître les différents faciès hydrochimiques des eaux de la nappe maastrichtienne. Ainsi sur toute la période considérée, les eaux présentent les même faciès chimiques (**figure 44**) :

- faciès bicarbonaté calcique
- faciès bicarbonaté calcique magnésien
- faciès chloruré sulfaté calcique magnésien
- faciès chloruré sodique potassique

Ce pendant nous avons remarqué un déplacement considérable de certains points, traduisant une évolution de la minéralisation dans le secteur (**voir les autres diagrammes en annexe 2**). On peut citer les piézomètres de Boygueul Bamba et Médina Oulof où les eaux passent du faciès bicarbonaté sodique et potassique au faciès bicarbonaté calcique magnésien. L'évolution des faciès se fait surtout dans le sens d'une augmentation de la minéralisation.

Les mécanismes qui sont entrés dans le processus de la minéralisation :

- ✓ les fleuves Saloum et Gambie, qui pourraient favoriser un mélange eau douce et eau salée dans les eaux des ouvrages situés à l'extrême ouest de la région de Kaffrine. Par exemple à Mabo, Sorocogne, Keur Sassy et Niayel Waly où les teneurs en chlorure sont élevés et dépassent mêmes les normes de l'OMS.
- ✓ La nature des terrains géologiques peut influencer la minéralisation. Ces derniers sont essentiellement formés de sable et d'argiles, on peut avoir des échanges de bases entre les alcalino-terreux (Mg et Ca) et les alcalins (sodium et potassium) par la réaction :
$$\text{ARGILE SODIQUE} + \text{Ca} (\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{ARGILE CALCIQUE} + 2\text{CO}_3\text{Na}$$

Les échanges de bases entraînent une libération des alcalins qui seront mis en solution en grande quantité du fait de leur forte solubilité. Ils entraînent également la concentration des bicarbonates dans les eaux.

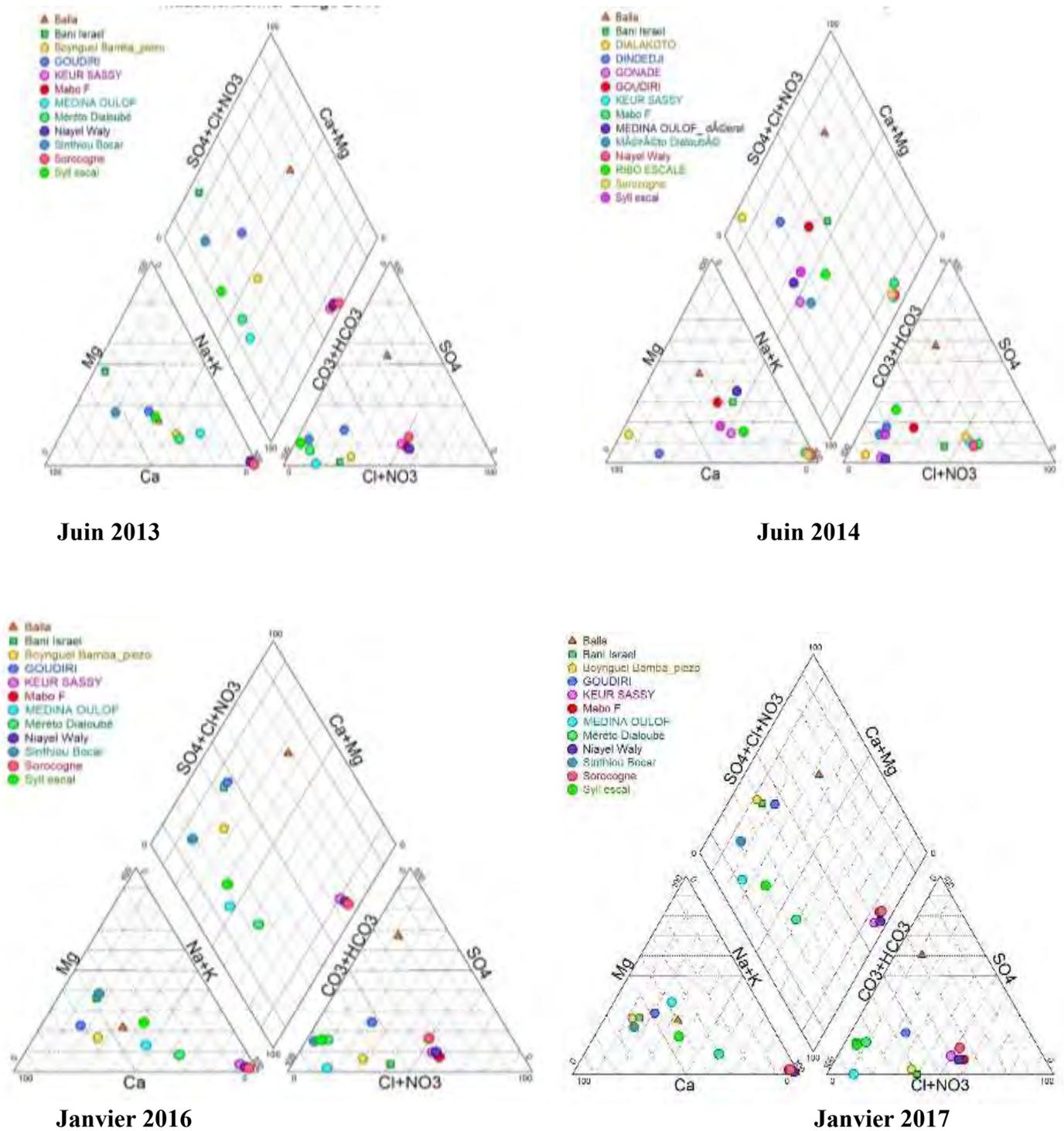


Figure 44: Diagrammes Piper (nappe maastrichtienne)

III.2.1.5. Evolution de la minéralisation dans le temps

Les diagrammes de l'évolution de la minéralisation révèlent des variations de concentration en fonction de la localisation des différents points. La minéralisation est importante, avec des valeurs comprises entre 500 et 1500 mg/l dans la région de Kaffrine, tandis que la région de Tambacounda présente une faible minéralisation avec des valeurs inférieures à 500mg/l (**figure 45**). Cette zonation est en relation avec la présence de la bande salée dans la région de Kaffrine.

Durant la période de 2013 à 2017, les diagrammes d'évolution sont relativement stables mais marqués par des ruptures brusques par moment. Pour les ouvrages situés dans la région de Kaffrine on note en 2013 une baisse considérable des teneurs en résidus sec. Cette baisse pourrait être liée à l'abondance de la pluie de l'année précédente c'est-à-dire en 2012 où on a enregistré 1056,4mm. Après l'hivernage 2016, on observe une augmentation de la minéralisation (**figure 46**).

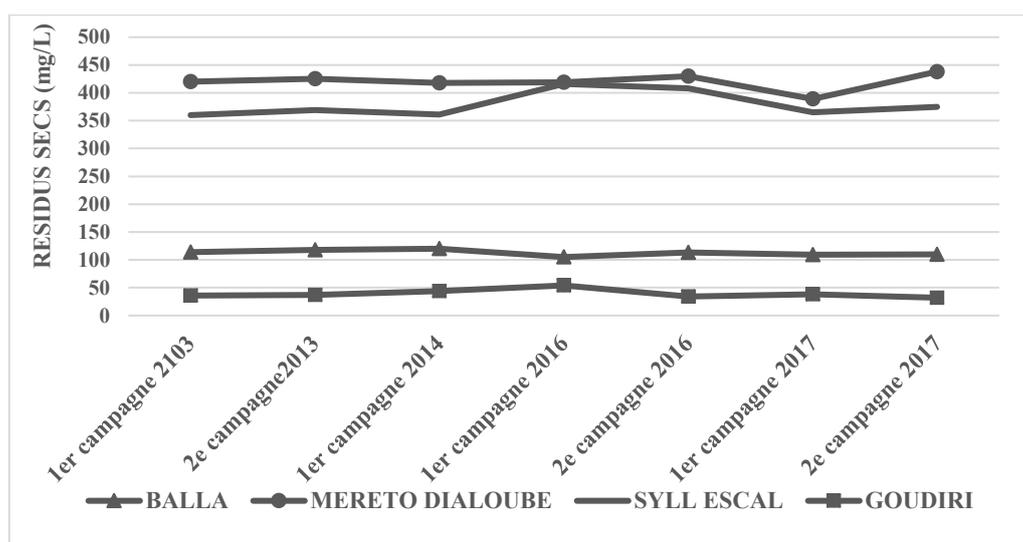


Figure 45: Evolution de la minéralisation dans le temps dans la nappe maastrichtienne: zone Tambacounda

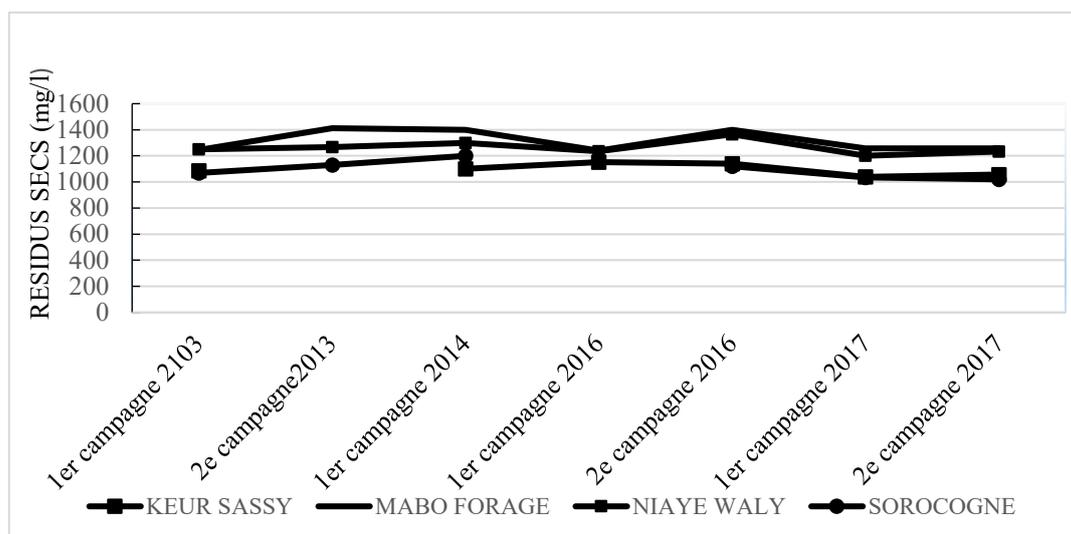


Figure 46: Evolution de la minéralisation dans le temps dans la nappe maastrichtienne: zone Kaffrine

III.2.2. Hydrochimie de la nappe oligo-miocène

III.2.2.1. Ions majeurs

Les résultats des analyses montrent que l'ensemble des échantillons ont des concentrations en éléments majeurs (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Na^+ ; K^+ ; Cl^- ; NO_3^- ; HCO_3^- et SO_4^{2-}) très faibles situées en dessous des normes de l'OMS. En ce qui concerne les éléments traces, on constate des teneurs en fer qui dépassent largement la norme OMS (0.3 mg/l) (**voir carte de spatialisation en annexe 2**). Ce qui montre le caractère ferreux de la nappe oligo-miocène dans la zone d'étude. Pour le fluor, les concentrations sont en dessous de la norme OMS.

III.2.2.2. Analyses corrélatives

Le tableau 3 montre une bonne corrélation entre les ions Na^+ , K^+ et Cl^- . Ces fortes corrélations peuvent indiquer une origine commune de ces éléments (dissolution des formations salifères évaporitiques). Une corrélation significative est observée entre le calcium et le magnésium. Ceci suggère que ces deux ions sont impliqués dans les mêmes processus géochimiques. En dehors du sulfate et du nitrate, les ions Ca, Mg, Na... sont moyennement à fortement corrélés avec les solides totaux dissouts ; ce qui implique qu'ils contribuent significativement à la minéralisation des eaux de la nappe.

Tableau 3: Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques

	TDS	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3
TDS	1									
pH	0,4	1								
Ca	0,88	0,03	1							
Mg	0,91	0,41	0,83	1						
Na	0,56	0,42	0,22	0,26	1					
K	0,77	0,08	0,78	0,57	0,62	1				
HCO3	0,52	0,85	0,14	0,55	0,36	-0,01	1			
Cl	0,67	-0,26	0,86	0,53	0,31	0,89	-0,27	1		
SO4	0,43	0,22	0,44	0,66	-0,24	-0,06	0,42	0,05	1	
NO3	0,33	-0,36	0,46	0,33	0,12	0,39	-0,32	0,54	0,4	1

La figure 47 montre une bonne corrélation entre le Na et le Cl pour la plupart des points même si certains présentent un enrichissement en chlorure ou en sodium.

Les figures 48 et 49 montrent une domination des ions bicarbonatés et sulfatés par rapport aux ions calcium et magnésium.

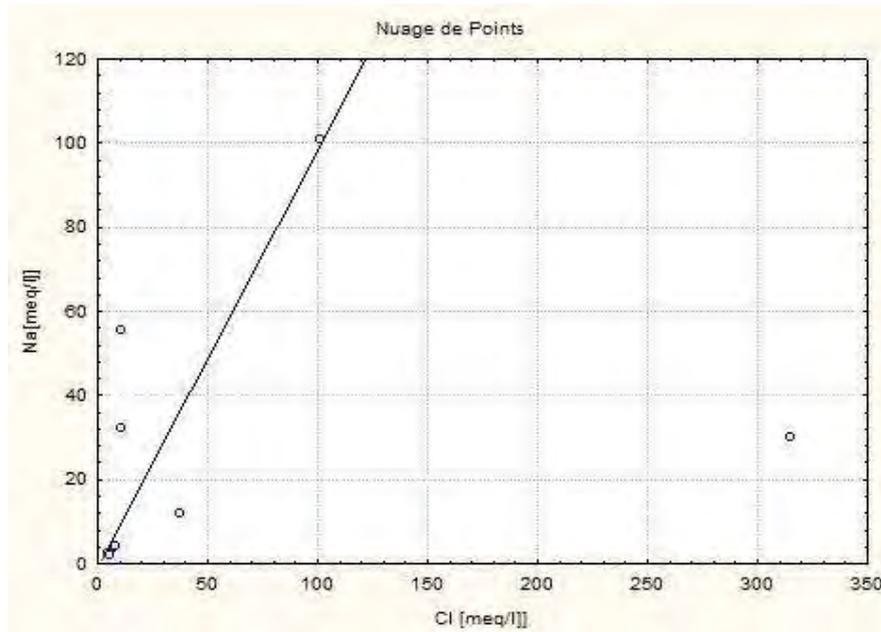


Figure 47: Diagramme binaire Na vs Cl

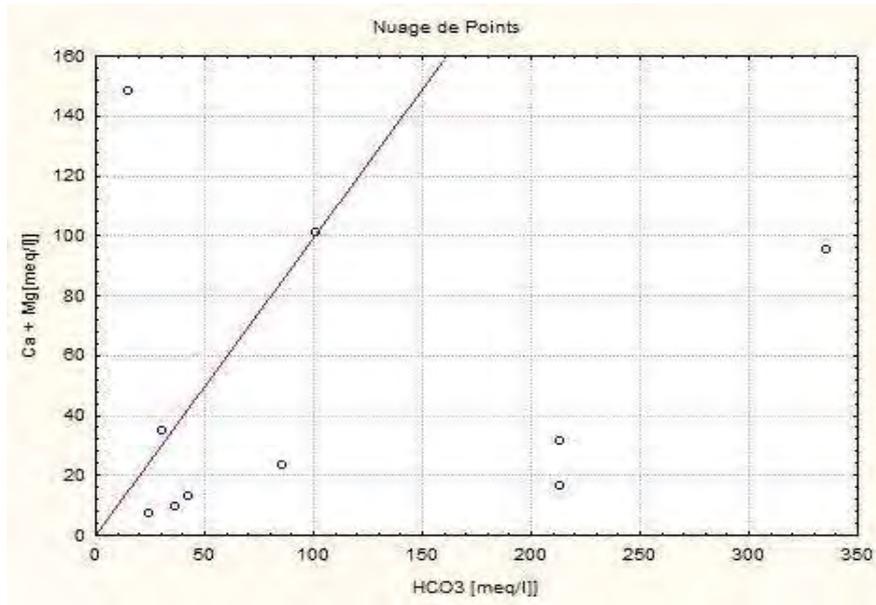


Figure 48: Diagramme binaire Ca+Mg vs HCO₃

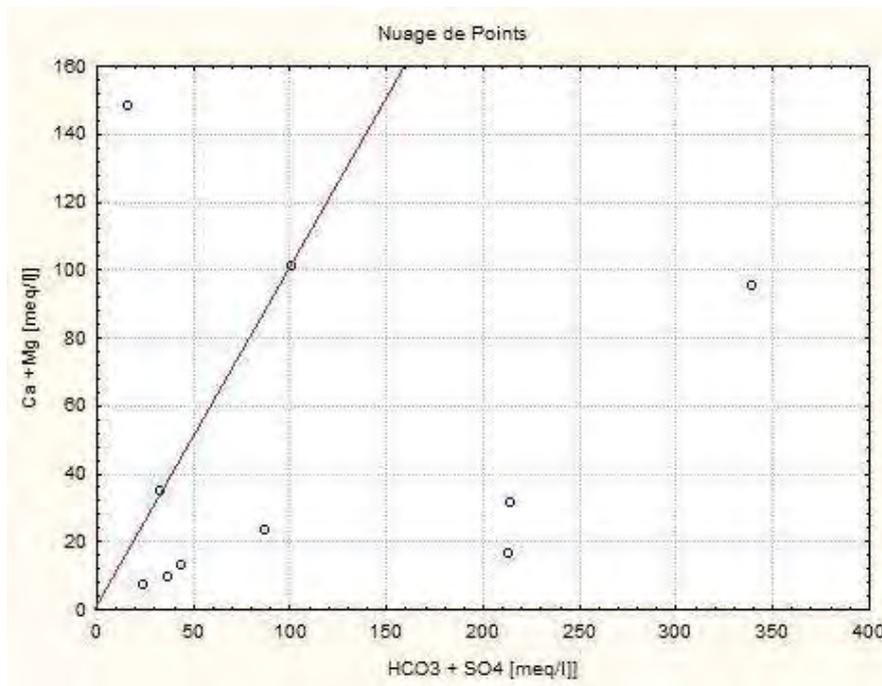


Figure 49 : Diagramme binaire Ca+Mg vs HCO₃+SO₄

III.2.2.3. La qualité des eaux

La représentation sur Piper pendant l'année de référence (2013) montre les mêmes familles hydro chimiques suivantes

- le faciès bicarbonaté calcique magnésien
- le faciès bicarbonaté calcique

➤ le faciès bicarbonaté sodique potassique

Entre 2013 et 2018, on n'a pas une évolution notable dans la minéralisation globale des eaux de l'aquifère. Cependant on note un déplacement considérable de certains points. A Fass Kati les eaux qui avaient un faciès bicarbonaté calcique et magnésien passent en 2014 à un faciès bicarbonaté sodique potassique, à Pakeba et Fadiacounda, les eaux évoluent également des faciès calciques et magnésiens aux bicarbonatés calciques. En 2018, à Missira et Fasse Kati, les eaux deviennent bicarbonatées calciques en s'appauvrissant en magnésium. Une évolution est notée également à Ngodiba où les eaux s'enrichissent en chlorure au détriment du bicarbonate. Ce qui leur donne un faciès chloruré calcique.

En définitive le faciès bicarbonaté calcique domine dans cette nappe. L'enrichissement des eaux en chlorure à Ngodiba noté depuis 2016 peut être expliqué par la traversée de la bande salée dans la région de Kaffrine (voir les autres diagrammes en annexe 2).

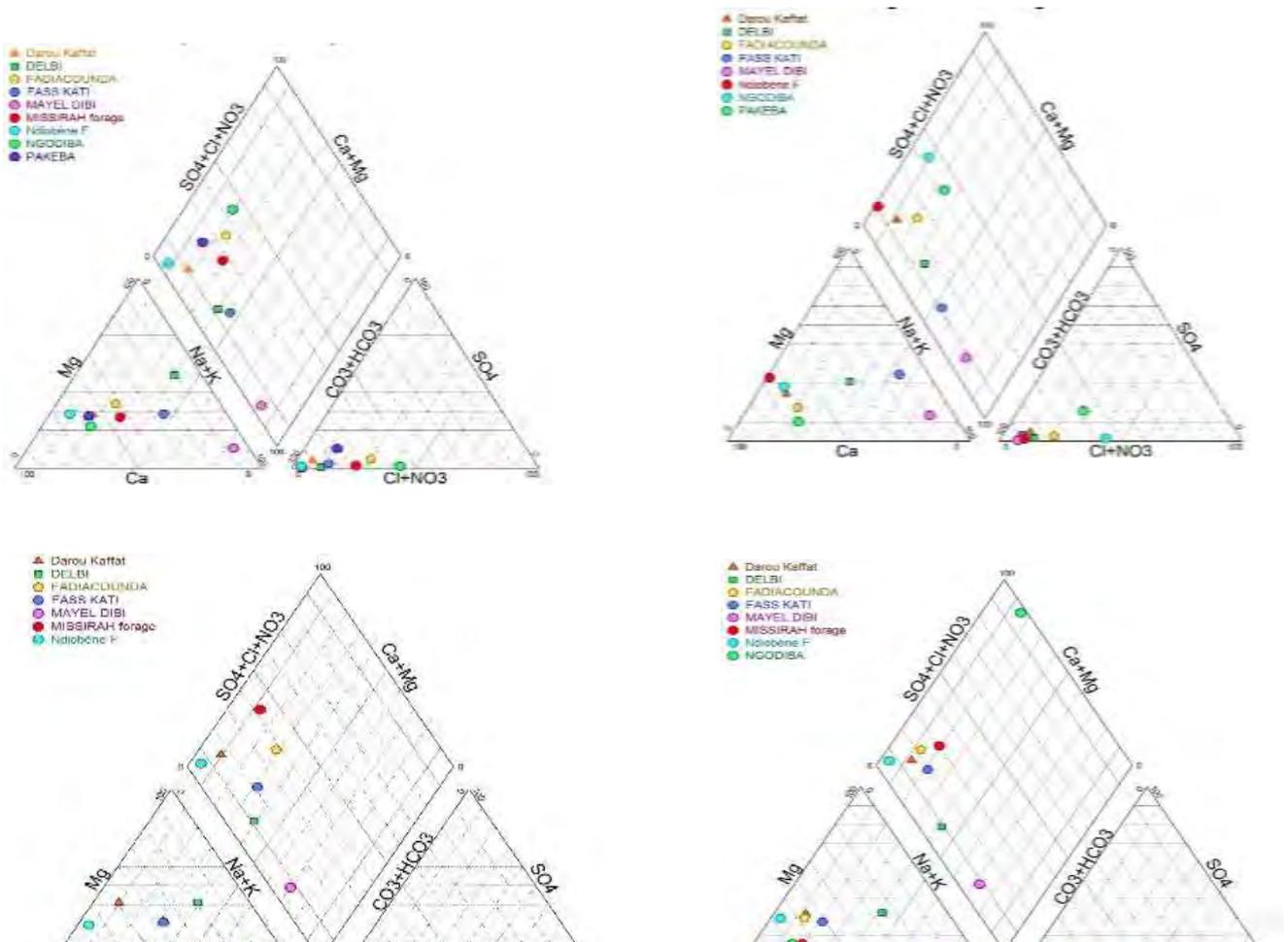


Figure 50 : représentation des faciès hydro chimiques des eaux de l'Oligo-Miocène régions de Tambacounda et Kaffrine (juin 2013, juin 2014, janvier 2016 et janvier 2016 respective)

III.2.2.4. Evolution de la minéralisation dans le temps

Les figures 51 et 52 montrent l'évolution de la minéralisation totale dans le temps et par localité. Ainsi comme dans la nappe maastrichtienne, on a la même zonation. Les ouvrages présents dans la région de Kaffrine ont les valeurs de résidus secs les plus élevées (0 à 1000mg/l). Dans la région de Tambacounda, les eaux sont faiblement minéralisées.

En 2016 à Ngodiba et Delbi on note une augmentation de la minéralisation malgré une pluviométrie importante de l'année précédente 618,8mm. Cette hausse pourrait être expliquée par l'influence du fleuve Saloum.

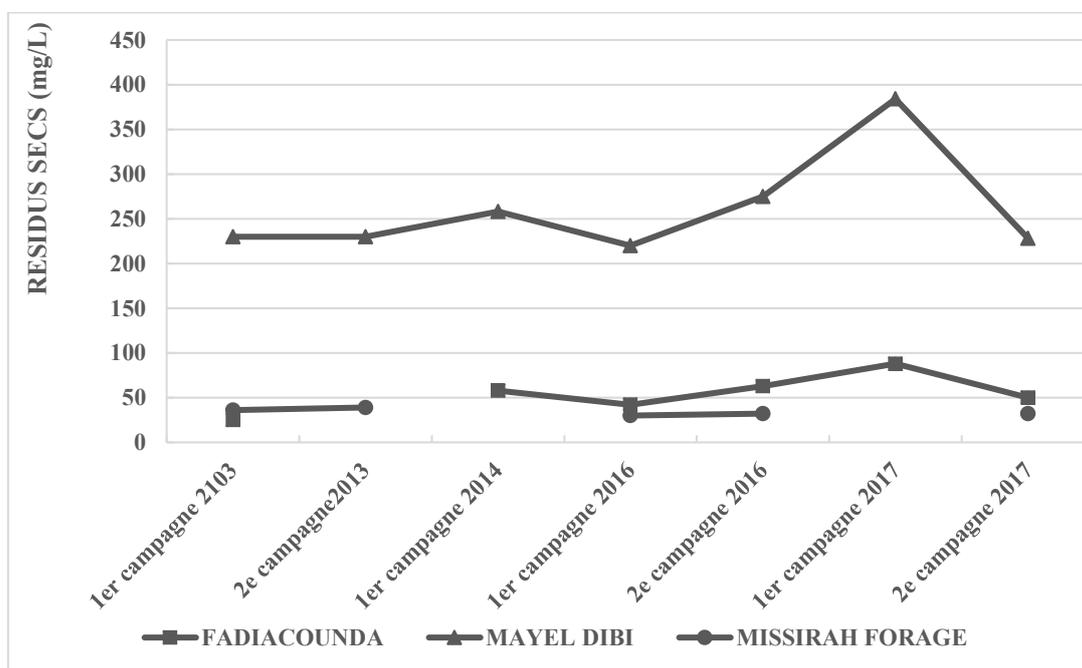


Figure 51: Evolution de la minéralisation dans le temps dans la nappe oligo-miocène: zone Tambacounda

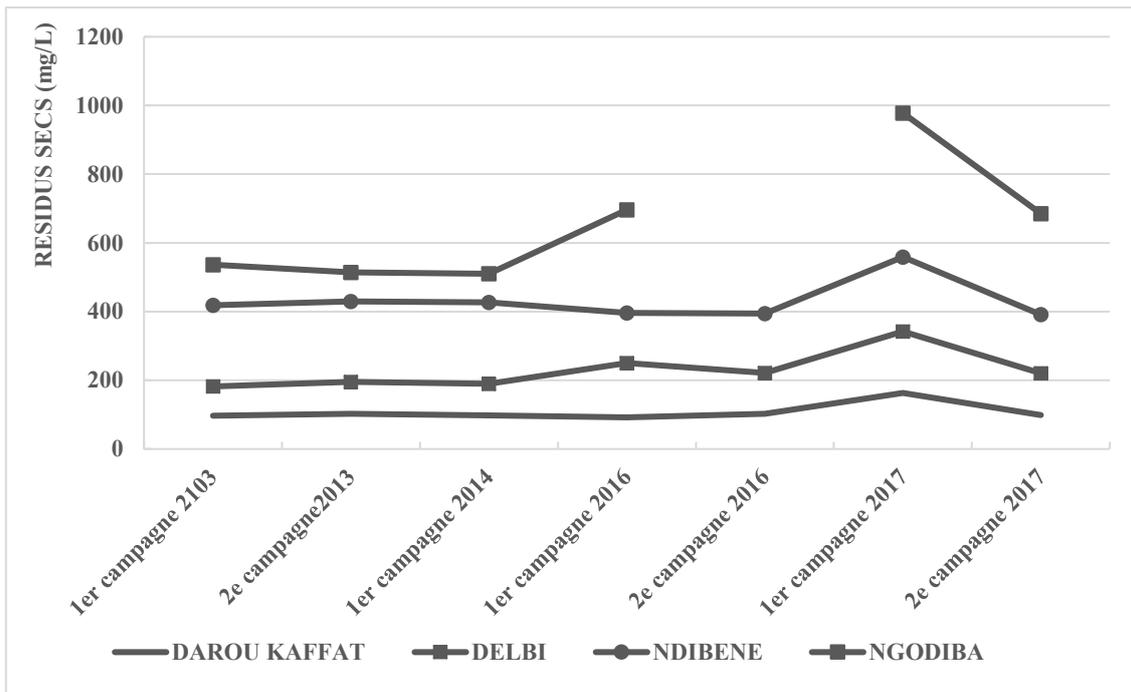


Figure 52: Evolution de la minéralisation dans le temps dans la nappe oligo-miocène : zone Kaffrine

III.2.3. Hydrochimie de la nappe du continental terminal

III.2.3.1. Qualité des eaux

Les analyses chimiques faites au niveau des deux ouvrages de la nappe du Continental terminal montrent les faciès suivants :

- faciès chloruré sodique potassique en juin 2013
- faciès chloruré calcique magnésien après l'hivernage 2013

Pour cette nappe le faciès chloruré calcique magnésien domine. On remarque pour certaines années un enrichissement en bicarbonate des eaux à Ndiao Bambali au détriment du chlorure. Celui-ci pourrait être lié à une dilution de ces eaux par l'eau de pluie. A Bantanani, on note en 2017 une augmentation de la teneur en calcium (voir les autres diagrammes en annexe 2).

III.2.3.2. Evolution de la minéralisation dans le temps

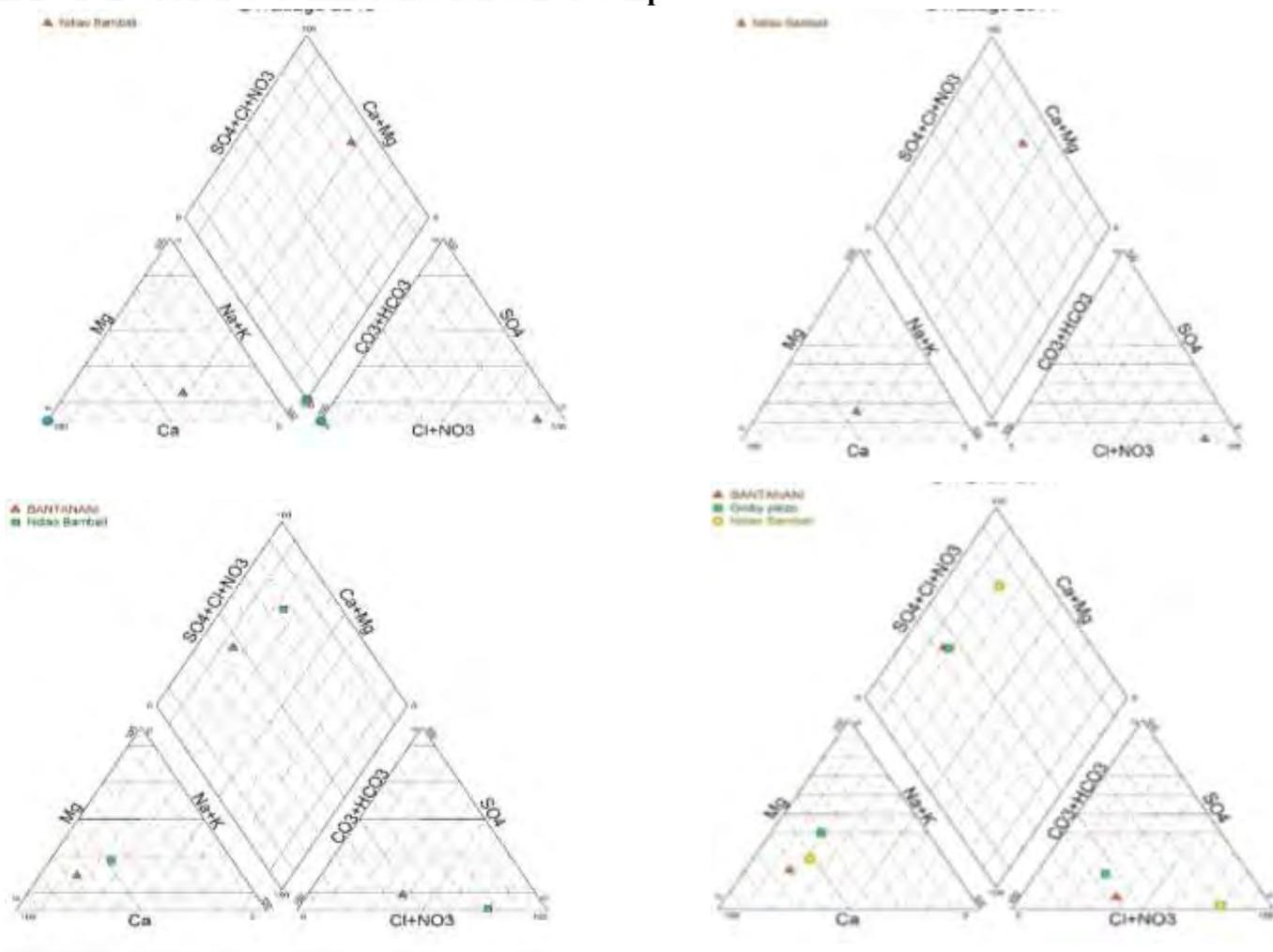


Figure 53: représentation des faciès hydrochimiques des eaux du continental terminal dans régions de Tambacounda et Kaffrine (juin 2013, juin 2014, janvier 2016 et janvier 2017 respective)

La figure 54 montre que les valeurs de résidus secs sont relativement constantes. On remarque une augmentation rapide de la minéralisation totale en 2017. Dans l'ensemble les eaux de la nappe du continental terminal sont faiblement minéralisées avec des valeurs qui ne dépassent pas 300mg/l.

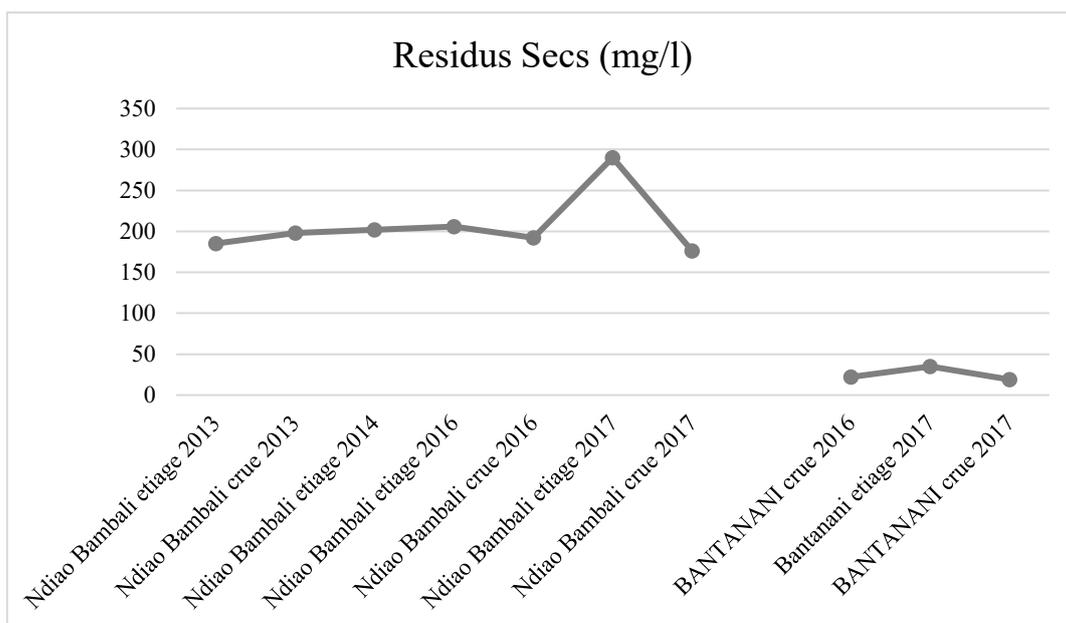


Figure 54: Evolution de la minéralisation dans le temps dans la nappe du continental terminal

Conclusion Générale et Recommandations :

La zone d'étude se situe dans la région nord soudanienne, et fait partie des régions les plus pluvieuses du Sénégal. Cependant les précipitations ont considérablement diminué durant ces dernières années.

Dans la nappe maastrichtienne le régime d'exploitation augmente dans le temps. Les tendances majeures montrent une baisse du niveau de la nappe sur l'ensemble de la zone d'étude. Ainsi les charges piézométriques diminuent d'Est en Ouest. L'écoulement de la nappe se fait à partir des zones de dôme vers toutes les directions suivant un gradient hydraulique variable. Sur le plan hydro-chimique, hormis les ouvrages situés à l'extrême Ouest de la région de Kaffrine qui sont affectés par les eaux salées, la nappe maastrichtienne présente des eaux de bonne qualité.

Dans la nappe oligo-miocène, les volumes d'eaux prélevés ont pratiquement baissé dans le temps. Ainsi le niveau de la nappe augmente progressivement bien vrai que les cotes piézométriques sont négatives. La configuration piézométrique montre une importante dépression au Nord du fleuve Gambie ; ce qui suppose une alimentation de la nappe par l'eau des fleuves. Du point de vue hydro-chimique, cette nappe présente des eaux de bonne qualité avec un faciès bicarbonaté calcique dominant. Par contre depuis 2016, on note un enrichissement en chlorure à Ngodiba qui serait dû à une intrusion des eaux du fleuve Saloum.

La nappe du continental terminal suivie dans le puit de Bantanani montre une évolution irrégulière. Le niveau de la nappe qui augmente depuis 2013 a connu une baisse en 2018. Cette nappe présente des eaux de bonne qualité avec une minéralisation qui ne dépasse pas 500mg/l.

Au terme de ce travail nous formulons les recommandations suivantes :

- ❖ une surveillance stricte de la nappe maastrichtienne dont le niveau continue de baisser ;
- ❖ une réalisation des ouvrages d'observation pour une bonne visualisation de la surface piézométrique de la nappe du continental terminal ;
- ❖ le maintien des débits de pompages en tenant compte des conditions climatiques actuelles pour les ouvrages se trouvant dans la zone de contamination des eaux du Saloum ;
- ❖ éviter également la réalisation de nouveau forage dans ces zones.

REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANSD/SRSD (2014) : Situation Economique et Sociale régionale-Kaffrine. Rapport.207p.

ANSD/SRSD (2014) : Situation Economique et Sociale régionale-Tambacounda. Rapport.132p.

BASSOT J.P (1966) - Etude géologique du Sénégal Oriental et de ses confins guinéo-maliens. Direction des Mines et de la Géologie, rapport BRGM, Dakar.

CORREA N. (2015) – Exécution du forage de Koumaré captant la nappe de l'Oligo-Miocène en zone sédimentaire (Sénégal Oriental- Région de Tambacounda). Mémoire de Master de Master de Géologie Applique, mention Hydrogéologie, Univ. Cheikh Anta Diop de Dakar.47p.

COULIBALY B.S. (2013) – Réalisation d'un forage d'eau à Koungheul en zone sédimentaire captant l'Oligo-Miocène. Mémoire de Master de Géologie Applique, mention Hydrogéologie, Univ. Cheikh Anta Diop de Dakar, 7-11p.

COWI-Polyconsult (2001) : Caractérisation hydrogéologique de système aquifère Maastrichtien du Sénégal- Projet Sectoriel Eau (PSE). Rapport de Synthèse.

DEPAGNE ; MOUSSU (1967) – Notice explicative de la carte hydrogéologique du Sénégal au 1/500 000 et de la carte hydrochimique au 1/1 000 000. Direction de l'Energie et de l'Hydraulique, Dakar.30p.

DGPRES, 2015. Rapport provisoire : Etude hydrogéologique hydrologique pour déterminer les potentialités d'alimentation en eau de Kédougou et ses environnants.

DGPRES, 2017. Rapport de mission PSEA crue 2017 : suivi quantitatif et qualitatif des nappes dans les régions de Tambacounda et Kaffrine.

Faye S. (2005) - Apport des outils géochimiques et isotopiques à l'identification des sources de salinité et à l'évolution du régime d'écoulement de la nappe du Saloum. Thèse de doctorat département de géologie UCAD.152p.

TENDENG R. (2012) – Hydrochimie et risque de pollution de la nappe urbaine de la commune de Tambacounda et environs (Sénégal). Mémoire de Diplôme d'études Approfondies (DEA) de Géologie Appliquée, mention Hydrogéologie, Univ. Cheikh Anta Diop de Dakar, 3-8p.

Travi, Y. (1988). L'étude hydrogéologique et hydrochimique des aquifères du Senegal et l'hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines, Thèse doctorat *es-sciences Univ. De Paris Sud* (Orsay), 190p.

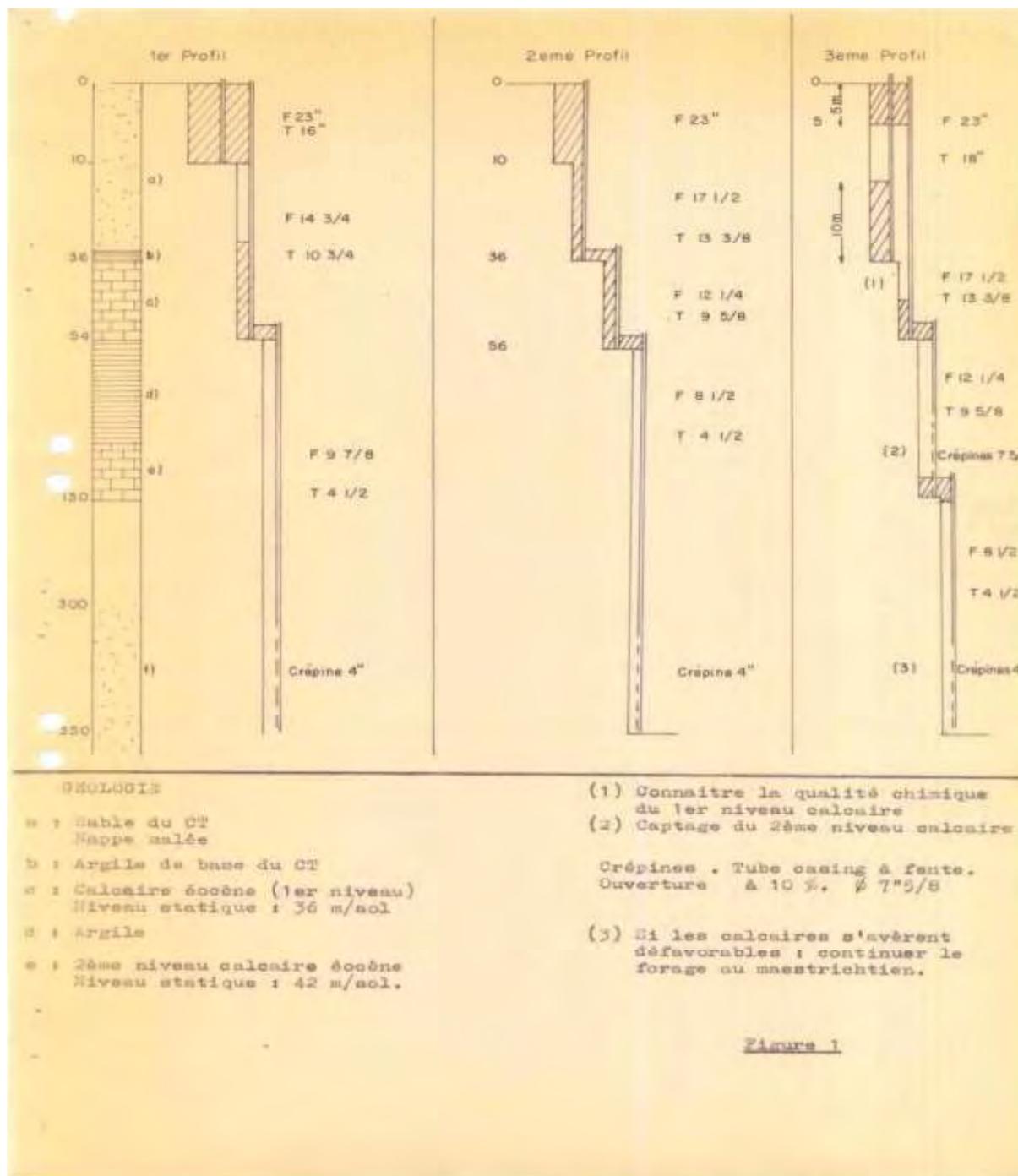
UNICEF (2010) - Etude de faisabilité des forages annuels au Sénégal : Identification des zones potentiellement favorables. Rapport final, 7-9p.

WEB- <http://www.Sénégal.org/Tamba>

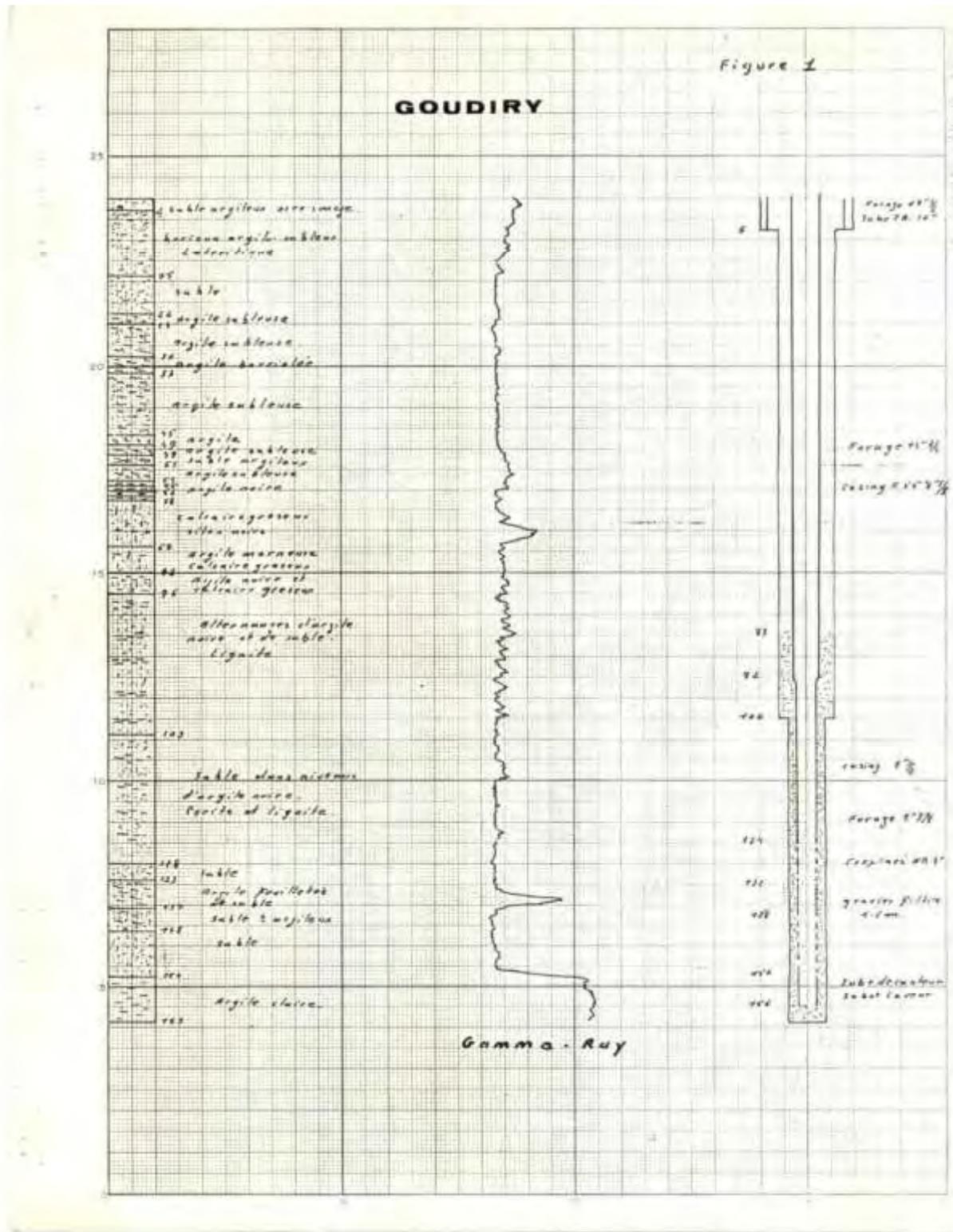
<http://www.economiesafricaines.com>

ANNEXES 1

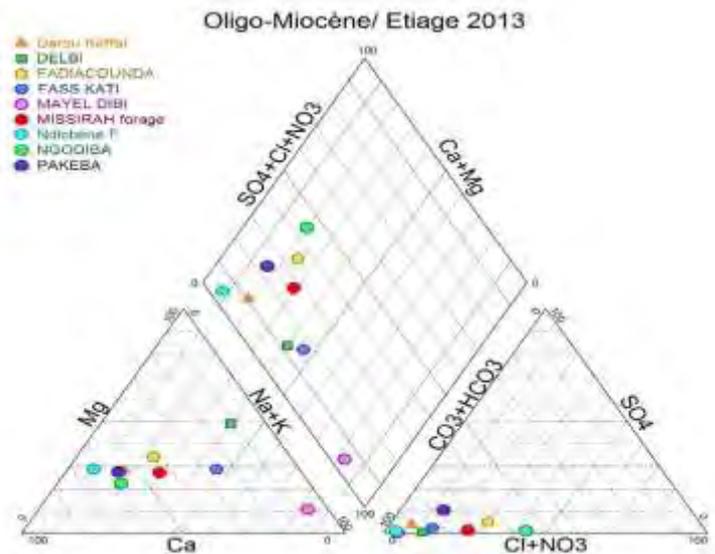
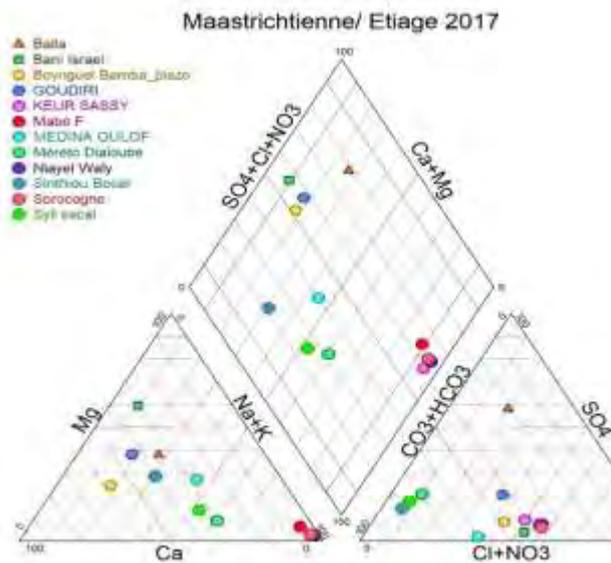
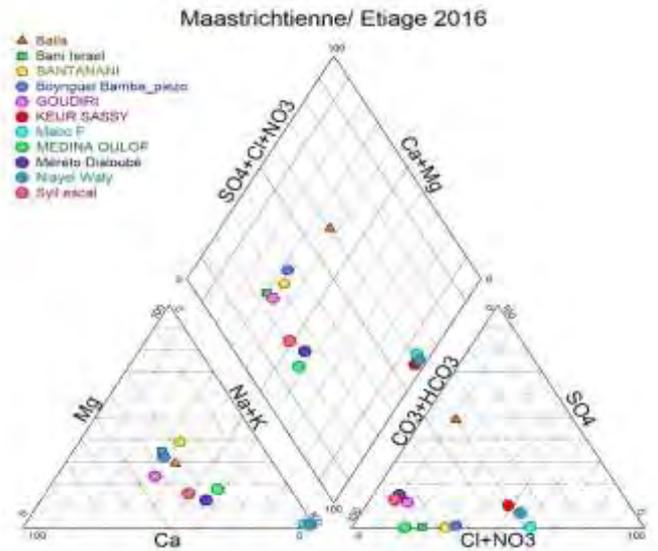
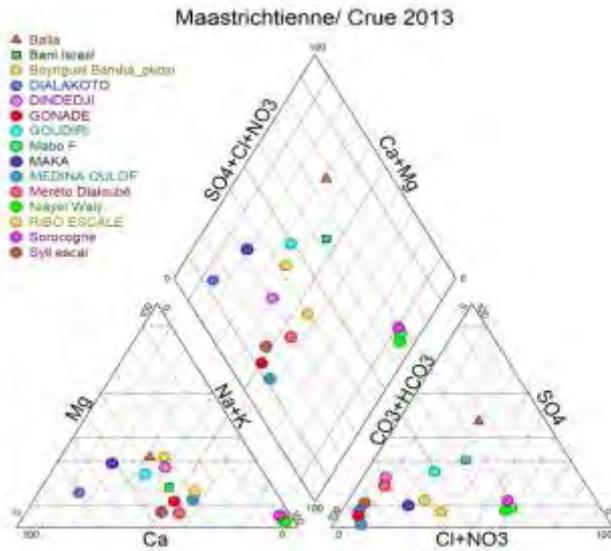
Forage de Ndiayene waly du maastrichtien

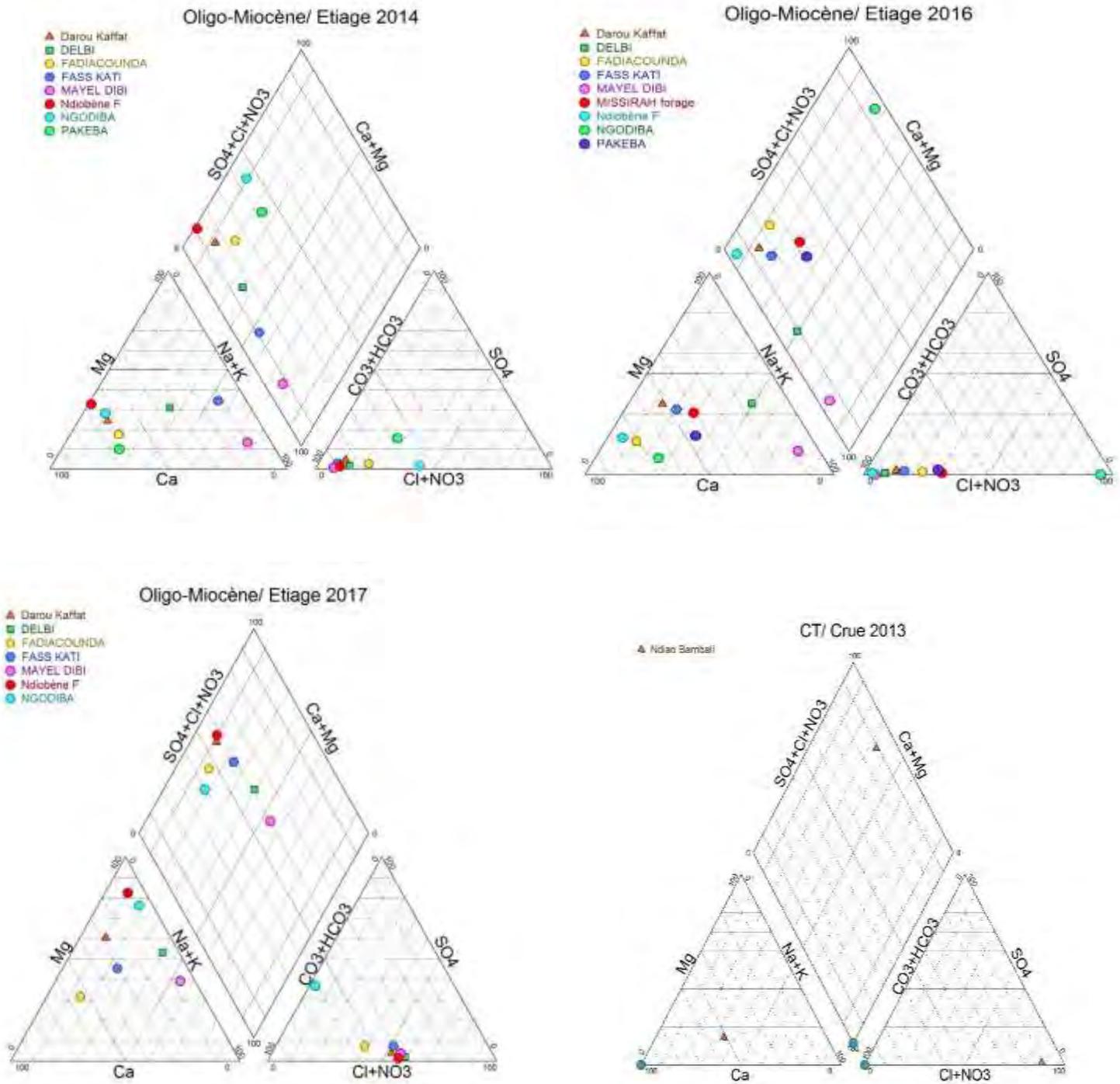


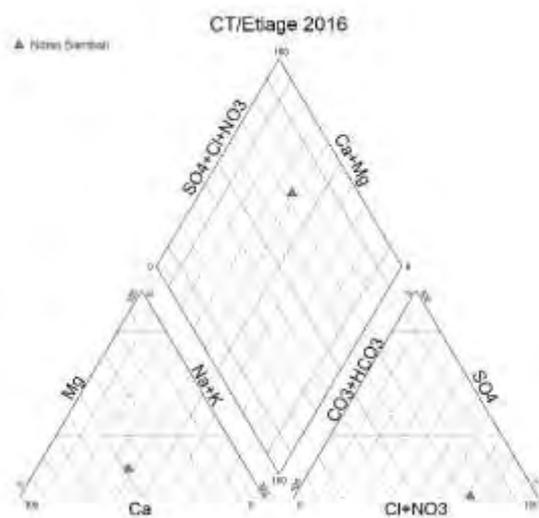
Forage Goudiry du Maastrichtien



ANNEXES 2







ANNEXES 3

Données de prélèvements sur les nappes du maastrichtien et de l'oligo-miocène (en m3)

	juin 2010	décem bre 2010	juin 2011	décem bre 2011	juin 2012	décem bre 2012	juin 2013	décem bre 2013	juin 2014	décem bre 2014	juin 2015	décem bre 2015	juin 2016	décem bre 2016	juin 2017	décem bre 2017
Maestri chtien	884047	797083	896866	854798	954838	872480	976513	939160	1026515	954540	1085950	1014700	1105430	1056660	1347010	1299020
Oligo- Miocèn e											186140	150680	205260	74740	147460	66290

ANNEXES 4

Récapitulatif des mesures in-situ des ouvrages suivis de la zone d'étude

Année 2013

Résultats de la première campagne nappe maastrichtienne oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFERE S	TYPES_OUV R	XCOOR D	YCOOR D	NS	Alt	MARGE L	H
BALAMBOULOU	Maastrichtien	Piezo	700332	1502270	15,34	37,3	1,25	21,96
BOULA	Maastrichtien	Piezo	720401	1591377	36,66	56,9	1,17	20,24
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtien	Piezo	695133	1466715	15,92	38,68	1,1	22,76
DIABA	Maastrichtien	Piézomètre	426875	1584929	37,88	38,02	1,1	0,14
DIAMAGUENE	Maastrichtien	Piézomètre	525901	1601855	47,8	40,59	1,08	-7,21
FETE NIEBE	Maastrichtien	Piézomètre	750752	1572749	26,98	59,71	0,97	32,73
GONADE	Maastrichtien	Piézomètre	744885	1604569	37,49	68,18	1,28	30,69
HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	41,54	55,65	1,08	14,11
KEUR SASSY	Maastrichtien	Forage Puits	423422	1567595	14,8	16,51	1,2	1,71

KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	26,33	38,38	1	12,05
MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,47	55,42	1,1	8,95
Méréto Dialoubé	Maastrichtien	Forage	560660	1527483	51,22	45	0	-6,22
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	42,84	47,53	1,03	4,69
Niayel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	12,68	12,64	0,97	-0,04
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	22,55	25,4	0,8	2,85
SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,35	57,51	0,76	19,16
Syll escal	Maastrichtien	Forage	549089	1570625	43,93	48,09	0	4,16

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
DELBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,52	12,41	0,96	-25,11
FADIACOUNDA	Oligo-Miocène	Piézomètre	590878	1509974	14,81	10,7	1,1	-4,11
FASS KATI	Oligo-Miocène	Piézomètre	506424	1536782	23,47	14,86	0,66	-8,61

KAFFAT	Oligo-Miocène	Piézomètre	504691	1562347	65,4	47,09	0,73	-18,31
KEUR GAYE	Oligo-Miocène	Piézomètre	525859	1555880	60,98	37,33	1,25	-23,65
MAYEL DIBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,21	21,37	0,8	1,16
NGOUYE SIWAKH	Oligo-Miocène	Piézomètre	512390	1557889	61,15	36,74	1,22	-24,41
NGUER MANDAKH piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	472928	1538528	38,93	40,9	0,95	1,97
PAKEBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	569069	1498433	13,55	15,74	0,73	2,19

Résultats de la deuxième campagne nappes maastrichtienne, oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	H
BALAMBOULOU	Maastrichtien	Piézomètre	700332	1502270	15,32	37,3	21,98
BOULA	Maastrichtien	Piézomètre	720401	1591377	36,71	56,9	20,19
Boynguel Bamba_piezo	Maastrichtien	Piézomètre	723108	1559480	52,62	73,1	20,48
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtien	Piézomètre	695133	1466715	15,37	38,68	23,31
DIABA	Maastrichtien	Piézomètre	426875	1584929	37,89	38,02	0,13
DIAMAGUENE	Maastrichtien	Piézomètre	525901	1601855	47,86	40,59	-7,27
FETE NIEBE	Maastrichtien	Piézomètre	750752	1572749	27,04	59,71	32,67
GONADE	Maastrichtien	Piézomètre	744885	1604569	37,55	68,18	30,63
GOUDIRI	Maastrichtien	Forage	747035	1569589	25,15	59	33,85
HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	41,63	55,65	14,02
KEUR SASSY	Maastrichtien	Forage Puits	423422	1567595	14,6	16,51	1,91
KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	26,28	38,38	12,1
MEDINA MBADIAN	Maastrichtien	Piézomètre	504811	1544262	41,68	45,24	3,56

MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,5	55,42	8,92
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	42,86	47,53	4,67
Niayel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	12,54	12,64	0,1
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	22,61	25,4	2,79
SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,44	57,51	19,07
Syll escal	Maastrichtien	Forage	549089	1570625	44,15	48,09	3,94

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	H
DELBI	Oligo- Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,51	12,41	-25,1
FADIACOUNDA	Oligo- Miocène	Piézomètre	590878	1509974	14,76	10,7	-4,06
FASS KATI	Oligo- Miocène	Piézomètre	506424	1536782	23,22	14,86	-8,36
KAFFAT	Oligo- Miocène	Piézomètre	504691	1562347	65,31	47,09	-18,22

KEUR GAYE	Oligo-Miocène	Piézomètre	525859	1555880	60,91	37,33	-23,58
MAYEL DIBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,19	21,37	1,18
MISSIRAH forage	Oligo-Miocène	Forage	487308	1546429	60,18	45,5	-14,68
NGOUYE SIWAKH	Oligo-Miocène	Piézomètre	512390	1557889	61,1	36,74	-24,36
NGUER MANDAKH piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	472928	1538528	38,95	40,9	1,95
PAKEBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	569069	1498433	13,31	15,74	2,43

Année 2014

Résultats de la première campagne nappes maastrichtienne oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFERE	TYPES_OUV	XCOOR	YCOOR	NS	Alt	MARGE	H
	S	R	D	D			L	
BALAMBOULOU	Maastrichtien	Piézomètre	700332	1502270	15,37	37,3	1,25	21,93
BOULA	Maastrichtien	Piézomètre	720401	1591377	36,74	56,9	1,17	20,16
Boynguel Bamba_piezo	Maastrichtien	Piézomètre	723108	1559480	52,72	73,1	1,1	20,38
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtien	Piézomètre	695133	1466715	15,72	38,68	1,1	22,96
DIABA	Maastrichtien	Piézomètre	426875	1584929	38,08	38,02	1,1	-0,06
DIAMAGUENE	Maastrichtien	Piézomètre	525901	1601855	47,86	40,59	1,08	-7,27
FETE NIEBE	Maastrichtien	Piézomètre	750752	1572749	27,05	59,71	0,97	32,66
GONADE	Maastrichtien	Piézomètre	744885	1604569	37,54	68,18	1,28	30,64
HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	41,67	55,65	1,08	13,98
KEUR SASSY	Maastrichtien	Forage Puits	423422	1567595	15,23	16,51	1,2	1,28
KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	26,43	38,38	1	11,95
MEDINA MBADIAN	Maastrichtien	Piézomètre	504811	1544262	41,82	45,24	1,02	3,42

MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,44	55,42	1,1	8,98
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	42,87	47,53	1,03	4,66
Niayel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	12,51	12,64	0,97	0,13
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	22,73	25,4	0,8	2,67
SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,22	57,51	0,76	19,29
Syll escal	Maastrichtien	Forage	549089	1570625	44,12	48,09	0	3,97

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
DELBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,47	12,41	0,96	-25,06
FADIACOUNDA	Oligo-Miocène	Piézomètre	590878	1509974	15,07	10,7	1,1	-4,37
FASS KATI	Oligo-Miocène	Piézomètre	506424	1536782	23,28	14,86	0,66	-8,42
KAFFAT	Oligo-Miocène	Piézomètre	504691	1562347	65,24	47,09	0,73	-18,15

KEUR GAYE	Oligo-Miocène	Piézomètre	525859	1555880	61,32	37,33	1,25	-23,99
MAYEL DIBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,17	21,37	0,8	1,2
MISSIRAH forage	Oligo-Miocène	Forage	487308	1546429	58,4	45,5	1,12	-12,9
NGODIBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	445697	1555137	43,47	31,58	1,1	-11,89
NGOUYE SIWAKH	Oligo-Miocène	Piézomètre	512390	1557889	61,04	36,74	1,22	-24,3
PAKEBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	569069	1498433	13,83	15,74	0,73	1,91

Résultats de la deuxième campagne nappes maastrichtienne oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFER ES	TYPES_OU VR	XCOOR D	YCOOR D	NS	Alt	MARGE L	Période	H
	Maastrichtie n	Piézomètre	700332	1502270	15,41	37,3	1,25	crue 2014	21,89
BOULA	Maastrichtie n	Piézomètre	720401	1591377	36,76	56,9	1,17	crue 2014	20,14
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtie n	Piézomètre	695133	1466715	15,75	38,68	1,1	crue 2014	22,93
DIABA	Maastrichtie n	Piézomètre	426875	1584929	38,15	38,02	1,1	crue 2014	-0,13
DIAMAGUENE	Maastrichtie n	Piézomètre	525901	1601855	47,98	40,59	1,08	crue 2014	-7,39
FETE NIEBE	Maastrichtie n	Piézomètre	750752	1572749	27,07	59,71	0,97	crue 2014	32,64
GONADE	Maastrichtie n	Piézomètre	744885	1604569	37,57	68,18	1,28	crue 2014	30,61

HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	41,7	55,65	1,08	crue 2014	13,95
KEUR SASSY	Maastrichtien	Forage Puits	423422	1567595	14,11	16,51	1,2	crue 2014	2,4
KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	26,54	38,38	1	crue 2014	11,84
MEDINA MBADIAN	Maastrichtien	Piézomètre	504811	1544262	41,97	45,24	1,02	crue 2014	3,27
MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,57	55,42	1,1	crue 2014	8,85
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	42,9	47,53	1,03	crue 2014	4,63
Niayel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	12,78333 33	12,64	0,97	crue 2014	- 0,143333 33
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	22,71	25,4	0,8	crue 2014	2,69

SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,28	57,51	0,76	crue 2014	19,23
Syll escal	Maastrichtien	Forage	549089	1570625	44,35	48,09	0	crue 2014	3,74

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
DELBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,49	12,41	0,96	-25,08
FADIACOUNDA	Oligo-Miocène	Piézomètre	590878	1509974	14,97	10,7	1,1	-4,27
FASS KATI	Oligo-Miocène	Piézomètre	506424	1536782	23,11	14,86	0,66	-8,25
KAFFAT	Oligo-Miocène	Piézomètre	504691	1562347	65,27	47,09	0,73	-18,18
KEUR GAYE	Oligo-Miocène	Piézomètre	525859	1555880	60,86	37,33	1,25	-23,53
MAYEL DIBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,07	21,37	0,8	1,3

MISSIRAH forage	Oligo- Miocène	Forage	487308	1546429	59,15	45,5	1,12	-13,65
MISSIRAH Piezo	Oligo- Miocène	Piézomètre	487656	1546845	59,18	42,0		-17,17937
NGODIBA	Oligo- Miocène	Piézomètre	445697	1555137	43,3	31,58	1,1	-11,72
NGOUYE SIWAKH	Oligo- Miocène	Piézomètre	512390	1557889	61,05	36,74	1,22	-24,31
PAKEBA	Oligo- Miocène	Piézomètre	569069	1498433	13,48	15,74	0,73	2,26

Année 2015

Résultats de la première campagne nappes maastrichtienne oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFERE	TYPES_OUV	XCOOR	YCOOR	NS	Alt	MARGE	H
	S	R	D	D			L	
BALAMBOULOU	Maastrichtien	Piézomètre	700332	1502270	15,55	37,3	1,25	21,75
BOULA	Maastrichtien	Piézomètre	720401	1591377	36,86	56,9	1,17	20,04
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtien	Piézomètre	695133	1466715	16,34	38,68	1,1	22,34
DIABA	Maastrichtien	Piézomètre	426875	1584929	38,45	38,02	1,1	-0,43
DIAMAGUENE	Maastrichtien	Piézomètre	525901	1601855	48,29	40,59	1,08	-7,7
FETE NIEBE	Maastrichtien	Piézomètre	750752	1572749	27,19	59,71	0,97	32,52
GONADE	Maastrichtien	Piézomètre	744885	1604569	37,61	68,18	1,28	30,57
GOUDIRI	Maastrichtien	Forage	747035	1569589	24,02	59	0	34,98
HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	41,81	55,65	1,08	13,84
KEUR SASSY	Maastrichtien	Forage Puits	423422	1567595	15,6	16,51	1,2	0,91
KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	28,37	38,38	1	10,01
MEDINA MBADIAN	Maastrichtien	Piézomètre	504811	1544262	42,08	45,24	1,02	3,16

MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,72	55,42	1,1	8,7
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	43,15	47,53	1,03	4,38
Niayel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	13,22	12,64	0,97	-0,58
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	23	25,4	0,8	2,4
SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,32	57,51	0,76	19,19
Syll escal	Maastrichtien	Forage	549089	1570625	44,65	48,09	0	3,44

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
DELBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,46	12,41	0,96	-25,05
FADIACOUNDA	Oligo-Miocène	Piézomètre	590878	1509974	15,53	10,7	1,1	-4,83
FASS KATI	Oligo-Miocène	Piézomètre	506424	1536782	23,27	14,86	0,66	-8,41
KAFFAT	Oligo-Miocène	Piézomètre	504691	1562347	65,19	47,09	0,73	-18,1

KEUR GAYE	Oligo-Miocène	Piézomètre	525859	1555880	60,81	37,33	1,25	-23,48
MAYEL DIBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,19	21,37	0,8	1,18
MISSIRAH forage	Oligo-Miocène	Forage	487308	1546429	58,65	45,5	1,12	-13,15
MISSIRAH Piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	487656	1546845	58,65	42,0		-16,64937
NGODIBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	445697	1555137	43,36	31,58	1,1	-11,78
NGOUYE SIWAKH	Oligo-Miocène	Piézomètre	512390	1557889	60,95	36,74	1,22	-24,21
NGUER MANDAKH piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	472928	1538528	39,36	40,9	0,95	1,54
PAKEBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	569069	1498433	14,35	15,74	0,73	1,39

Résultats de la deuxième campagne nappes maastrichtienne oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
BALAMBOULOU	Maastrichtien	Piézomètre	700332	1502270	15,49	37,3	1,25	21,81
BOULA	Maastrichtien	Piézomètre	720401	1591377	36,86	56,9	1,17	20,04
Boynguel Bamba_piezo	Maastrichtien	Piézomètre	723108	1559480	52,78	73,1	1,1	20,32
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtien	Piézomètre	695133	1466715	16,02	38,68	1,1	22,66
DIABA	Maastrichtien	Piézomètre	426875	1584929	38,49	38,02	1,1	-0,47
DIAMAGUENE	Maastrichtien	Piézomètre	525901	1601855	48,28	40,59	1,08	-7,69
FETE NIEBE	Maastrichtien	Piézomètre	750752	1572749	27,17	59,71	0,97	32,54
GONADE	Maastrichtien	Piézomètre	744885	1604569	37,62	68,18	1,28	30,56
HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	41,82	55,65	1,08	13,83
KEUR SASSY	Maastrichtien	Forage Puits	423422	1567595	15,52	16,51	1,2	0,99

KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	26,6	38,38	1	11,78
MEDINA MBADIAN	Maastrichtien	Piézomètre	504811	1544262	42,13	45,24	1,02	3,11
MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,57	55,42	1,1	8,85
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	43,11	47,53	1,03	4,42
Niyel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	12,75	12,64	0,97	-0,11
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	23,01	25,4	0,8	2,39
SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,4	57,51	0,76	19,11

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
DELBI	Oligo- Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,45	12,41	0,96	-25,04
FASS KATI	Oligo- Miocène	Piézomètre	506424	1536782	23,15	14,86	0,66	-8,29
KAFFAT	Oligo- Miocène	Piézomètre	504691	1562347	65,14	47,09	0,73	-18,05
KEUR GAYE	Oligo- Miocène	Piézomètre	525859	1555880	60,75	37,33	1,25	-23,42
MAYEL DIBI	Oligo- Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,11	21,37	0,8	1,26
MISSIRAH Piezo	Oligo- Miocène	Piézomètre	487656	1546845	58,8	42,0		-16,79937
NGODIBA	Oligo- Miocène	Piézomètre	445697	1555137	43,1	31,58	1,1	-11,52
NGOUYE SIWAKH	Oligo- Miocène	Piézomètre	512390	1557889	60,62	36,74	1,22	-23,88

Année 2016

Résultats de première campagne nappe maastrichtienne, oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFERE	TYPES_OUV	XCOOR	YCOOR	NS	Alt	MARGE	H
	S	R	D	D			L	
BALAMBOULOU	Maastrichtien	Piézomètre	700332	1502270	15,59	37,3	1,25	21,71
BOULA	Maastrichtien	Piézomètre	720401	1591377	36,91	56,9	1,17	19,99
Boynguel Bamba_piezo	Maastrichtien	Piézomètre	723108	1559480	52,9	73,1	1,1	20,2
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtien	Piézomètre	695133	1466715	16,32	38,68	1,1	22,36
DIABA	Maastrichtien	Piézomètre	426875	1584929	38,75	38,02	1,1	-0,73
DIAMAGUENE	Maastrichtien	Piézomètre	525901	1601855	48,4	40,59	1,08	-7,81
FETE NIEBE	Maastrichtien	Piézomètre	750752	1572749	27,23	59,71	0,97	32,48
GONADE	Maastrichtien	Piézomètre	744885	1604569	37,66	68,18	1,28	30,52
GOUDIRI	Maastrichtien	Forage	747035	1569589	23,83	59	0	35,17
HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	41,89	55,65	1,08	13,76
KEUR SASSY	Maastrichtien	Forage Puits	423422	1567595	16	16,51	1,2	0,51
KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	26,64	38,38	1	11,74

MEDINA MBADIAN	Maastrichtien	Piézomètre	504811	1544262	42,2	45,24	1,02	3,04
MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,7	55,42	1,1	8,72
Méréto Dialoubé	Maastrichtien	Forage	560660	1527483	51,24	45	0	-6,24
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	43,23	47,53	1,03	4,3
Niayel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	13	12,64	0,97	-0,36
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	23,14	25,4	0,8	2,26
Sagna	Maastrichtien	Forage	458164	1557955	52,76	42,01	0,6	-10,75
SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,44	57,51	0,76	19,07
Sorocogne	Maastrichtien	Forage	445992	1566891	6,91	4	0	-2,91
Syll escal	Maastrichtien	Forage	549089	1570625	44,57	48,09	0	3,52

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
DELBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,42	12,41	0,96	-25,01
FADIACOUNDA	Oligo-Miocène	Piézomètre	590878	1509974	15,58	10,7	1,1	-4,88
FASS KATI	Oligo-Miocène	Piézomètre	506424	1536782	23,22	14,86	0,66	-8,36
KAFFAT	Oligo-Miocène	Piézomètre	504691	1562347	65,07	47,09	0,73	-17,98
KEUR GAYE	Oligo-Miocène	Piézomètre	525859	1555880	60,72	37,33	1,25	-23,39

MAYEL DIBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,18	21,37	0,8	1,19
MISSIRAH forage	Oligo-Miocène	Forage	487308	1546429	57,51	45,5	1,12	-12,01
NGODIBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	445697	1555137	43,05	31,58	1,1	-11,47
NGOUYE SIWAKH	Oligo-Miocène	Piézomètre	512390	1557889	60,83	36,74	1,22	-24,09
NGUER MANDAKH piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	472928	1538528	39,56	40,9	0,95	1,34
PAKEBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	569069	1498433	14,09	15,74	0,73	1,65

Résultats de la deuxième campagne nappes maastrichtienne oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
BALAMBOULOU	Maastrichtien	Piézomètre	700332	1502270	15,63	37,3	1,25	21,67
BOULA	Maastrichtien	Piézomètre	720401	1591377	36,9	56,9	1,17	20
Boynguel Bamba_piezo	Maastrichtien	Piézomètre	723108	1559480	52,9	73,1	1,1	20,2
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtien	Piézomètre	695133	1466715	15,79	38,68	1,1	22,89
DIABA	Maastrichtien	Piézomètre	426875	1584929	38,83	38,02	1,1	-0,81
DIAMAGUENE	Maastrichtien	Piézomètre	525901	1601855	48,44	40,59	1,08	-7,85

FETE NIEBE	Maastrichtien	Piézomètre	750752	1572749	27,28	59,71	0,97	32,43
GONADE	Maastrichtien	Piézomètre	744885	1604569	37,67	68,18	1,28	30,51
HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	41,89	55,65	1,08	13,76
KEUR SASSY	Maastrichtien	Forage Puits	423422	1567595	16,19	16,51	1,2	0,32
KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	26,51	38,38	1	11,87
MEDINA MBADIAN	Maastrichtien	Piézomètre	504811	1544262	42,25	45,24	1,02	2,99
MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,72	55,42	1,1	8,7
Mérito Dialoubé	Maastrichtien	Forage	560660	1527483	51,11	45	0	-6,11
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	43,29	47,53	1,03	4,24
Niyel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	12,31	12,64	0,97	0,33
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	23,18	25,4	0,8	2,22
SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,48	57,51	0,76	19,03

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
DELBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,32	12,41	0,96	-24,91
FADIACOUNDA	Oligo-Miocène	Piézomètre	590878	1509974	15,11	10,7	1,1	-4,41
FASS KATI	Oligo-Miocène	Piézomètre	506424	1536782	22,99	14,86	0,66	-8,13
KAFFAT	Oligo-Miocène	Piézomètre	504691	1562347	65,05	47,09	0,73	-17,96
KEUR GAYE	Oligo-Miocène	Piézomètre	525859	1555880	60,65	37,33	1,25	-23,32
MAYEL DIBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,2	21,37	0,8	1,17
MISSIRAH forage	Oligo-Miocène	Forage	487308	1546429	57,24	45,5	1,12	-11,74
MISSIRAH Piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	487656	1546845	58,4	42,0		-16,39937

NGODIBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	445697	1555137	42,73	31,58	1,1	-11,15
NGOUYE SIWAKH	Oligo-Miocène	Piézomètre	512390	1557889	60,83	36,74	1,22	-24,09
NGUER MANDAKH piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	472928	1538528	39,61	40,9	0,95	1,29
PAKEBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	569069	1498433	13,56	15,74	0,73	2,18

Année 2017

Résultats de première campagne nappe maastrichtienne oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFERE S	TYPES_OUV R	XCOOR D	YCOOR D	NS	Alt	MARGE L	H
BALAMBOULOU	Maastrichtien	Piézomètre	700332	1502270	15,68	37,3	1,25	21,62
BOULA	Maastrichtien	Piézomètre	720401	1591377	36,97	56,9	1,17	19,93
Boynguel Bamba_piezo	Maastrichtien	Piézomètre	723108	1559480	52,95	73,1	1,1	20,15
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtien	Piézomètre	695133	1466715	16,05	38,68	1,1	22,63

DIABA	Maastrichtien	Piézomètre	426875	1584929	39,04	38,02	1,1	-1,02
DIAMAGUENE	Maastrichtien	Piézomètre	525901	1601855	48,57	40,59	1,08	-7,98
FETE NIEBE	Maastrichtien	Piézomètre	750752	1572749	27,29	59,71	0,97	32,42
GONADE	Maastrichtien	Piézomètre	744885	1604569	37,7	68,18	1,28	30,48
HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	41,97	55,65	1,08	13,68
KEUR SASSY	Maastrichtien	Forage Puits	423422	1567595	16,35	16,51	1,2	0,16
KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	28,7	38,38	1	9,68
MEDINA MBADIAN	Maastrichtien	Piézomètre	504811	1544262	42,37	45,24	1,02	2,87
MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,8	55,42	1,1	8,62
Méréto Dialoubé	Maastrichtien	Forage	560660	1527483	51,24	45	0	-6,24
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	43,38	47,53	1,03	4,15
Niayel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	14,56	12,64	0,97	-1,92
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	23,28	25,4	0,8	2,12
SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,54	57,51	0,76	18,97
Sorocogne	Maastrichtien	Forage	445992	1566891	7,19	4	0	-3,19

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
DELBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,28	12,41	0,96	-24,87
FADIACOUNDA	Oligo-Miocène	Piézomètre	590878	1509974	15,35	10,7	1,1	-4,65
FASS KATI	Oligo-Miocène	Piézomètre	506424	1536782	23,07	14,86	0,66	-8,21
KAFFAT	Oligo-Miocène	Piézomètre	504691	1562347	65,03	47,09	0,73	-17,94
KEUR GAYE	Oligo-Miocène	Piézomètre	525859	1555880	60,68	37,33	1,25	-23,35
MAYEL DIBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,26	21,37	0,8	1,11
MISSIRAH forage	Oligo-Miocène	Forage	487308	1546429	57,14	45,5	1,12	-11,64
MISSIRAH Piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	487656	1546845	57,84	42,0		-15,83937

NGODIBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	445697	1555137	42,63	31,58	1,1	-11,05
NGOUYE SIWAKH	Oligo-Miocène	Piézomètre	512390	1557889	60,82	36,74	1,22	-24,08
NGUER MANDAKH piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	472928	1538528	39,75	40,9	0,95	1,15
PAKEBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	569069	1498433	14,07	15,74	0,73	1,67

Résultats de la deuxième campagne nappes maastrichtienne oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
BALAMBOULOU	Maastrichtien	Piézomètre	700332	1502270	15,7	37,3	1,25	21,6
BOULA	Maastrichtien	Piézomètre	720401	1591377	37,02	56,9	1,17	19,88
Boynguel Bamba_piezo	Maastrichtien	Piézomètre	723108	1559480	52,98	73,1	1,1	20,12
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtien	Piézomètre	695133	1466715	15,74	38,68	1,1	22,94

DIABA	Maastrichtien	Piézomètre	426875	1584929	39,22	38,02	1,1	-1,2
DIAMAGUENE	Maastrichtien	Piézomètre	525901	1601855	48,73	40,59	1,08	-8,14
FETE NIEBE	Maastrichtien	Piézomètre	750752	1572749	27,31	59,71	0,97	32,4
GONADE	Maastrichtien	Piézomètre	744885	1604569	37,75	68,18	1,28	30,43
HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	42,02	55,65	1,08	13,63
KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	26,67	38,38	1	11,71
MEDINA MBADIAN	Maastrichtien	Piézomètre	504811	1544262	42,47	45,24	1,02	2,77
MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,78	55,42	1,1	8,64
Mérito Dialoubé	Maastrichtien	Forage	560660	1527483	51	45	0	-6
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	43,5	47,53	1,03	4,03
Niyel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	14,58	12,64	0,97	-1,94
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	23,43	25,4	0,8	1,97
SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,58	57,51	0,76	18,93

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	MARGEL	H
DELBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,24	12,41	0,96	-24,83
FADIACOUNDA	Oligo-Miocène	Piézomètre	590878	1509974	15,02	10,7	1,1	-4,32
FASS KATI	Oligo-Miocène	Piézomètre	506424	1536782	22,8	14,86	0,66	-7,94
KAFFAT	Oligo-Miocène	Piézomètre	504691	1562347	64,96	47,09	0,73	-17,87
KEUR GAYE	Oligo-Miocène	Piézomètre	525859	1555880	60,6	37,33	1,25	-23,27
MAYEL DIBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,18	21,37	0,8	1,19
MISSIRAH forage	Oligo-Miocène	Forage	487308	1546429	57,01	45,5	1,12	-11,51
MISSIRAH Piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	487656	1546845	57,71	42,0		-15,70937

NGODIBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	445697	1555137	42,31	31,58	1,1	-10,73
NGOUYE SIWAKH	Oligo-Miocène	Piézomètre	512390	1557889	60,75	36,74	1,22	-24,01
NGUER MANDAKH piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	472928	1538528	39,85	40,9	0,95	1,05
PAKEBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	569069	1498433	13,4	15,74	0,73	2,34

Année 2018

Résultats de la première campagne nappes maastrichtienne oligo-miocène et continental terminal

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	H
BALAMBOULOU	Maastrichtien	Piézomètre	700332	1502270	16,8	37,3	20,5
BOULA	Maastrichtien	Piézomètre	720401	1591377	37,06	56,9	19,84
Boynguel Bamba_piezo	Maastrichtien	Piézomètre	723108	1559480	53,03	73,1	20,07
DARSALAM FODE (Darou salam)	Maastrichtien	Piézomètre	695133	1466715	16,06	38,68	22,62

DIABA	Maastrichtien	Piézomètre	426875	1584929	39,42	38,02	-1,4
DIAMAGUENE	Maastrichtien	Piézomètre	525901	1601855	48,65	40,59	-8,06
FETE NIEBE	Maastrichtien	Piézomètre	750752	1572749	37,35	59,71	22,36
GONADE	Maastrichtien	Piézomètre	744885	1604569	37,76	68,18	30,42
HONTORBE piezo	Maastrichtien	Piézomètre	680751	1589156	42,08	55,65	13,57
KEUR SASSY	Maastrichtien	Forage Puits	423422	1567595	16,7	16,51	-0,19
KOUNDIAO SOUAR	Maastrichtien	Forage Puits	551276	1524186	27,32	38,38	11,06
MEDINA MBADIAN	Maastrichtien	Piézomètre	504811	1544262	42,61	45,24	2,63
MEDINA OULOF_ déerel	Maastrichtien	Piézomètre	675648	1526432	46,87	55,42	8,55
Méréto Dialoubé	Maastrichtien	Forage	560660	1527483	51,08	45	-6,08
NGALBASS	Maastrichtien	Piézomètre	563776	1606920	43,66	47,53	3,87
Niayel Waly	Maastrichtien	Forage Puits	409487	1565274	25,69	12,64	-13,05
RIBO ESCALE	Maastrichtien	Piézomètre	533215	1589647	23,64	25,4	1,76
SAM GOUNASS	Maastrichtien	Piézomètre	642016	1587261	38,67	57,51	18,84

DESIGATION	AQUIFERES	TYPES_OUVR	XCOORD	YCOORD	NS	Alt	H
DELBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	466959	1573879	37,21	12,41	-24,8
FADIACOUNDA	Oligo-Miocène	Piézomètre	590878	1509974	16,35	10,7	-5,65
FASS KATI	Oligo-Miocène	Piézomètre	506424	1536782	22,88	14,86	-8,02
KAFFAT	Oligo-Miocène	Piézomètre	504691	1562347	64,97	47,09	-17,88
KEUR GAYE	Oligo-Miocène	Piézomètre	525859	1555880	60,57	37,33	-23,24
MAYEL DIBI	Oligo-Miocène	Piézomètre	646579	1535227	20,29	21,37	1,08
MISSIRAH forage	Oligo-Miocène	Forage	487308	1546429	58,88	45,5	-13,38
MISSIRAH Piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	487656	1546845	58,11	42,0	-16,10937

NGODIBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	445697	1555137	48,24	31,58	-16,66
NGOUYE SIWAKH	Oligo-Miocène	Piézomètre	512390	1557889	60,75	36,74	-24,01
NGUER MANDAKH piezo	Oligo-Miocène	Piézomètre	472928	1538528	40	40,9	0,9
PAKEBA	Oligo-Miocène	Piézomètre	569069	1498433	13,96	15,74	1,78