

ÉTUDE COMPARATIVE DES NAPPES SOUTERRAINES EXPLOITÉES À TOUBA, SENEGAL

Ibra KANDJI ¹, Papa Babacar Diop THIOUNE ², Saidou NDAO ³

¹ *Laboratoire BIOGERENAT, Institut Supérieur Formation Agricole et Rural (ISFAR)
BP 54, Université Alioune de Bambey, Sénégal, Email: kandjiibra@ept.sn*

² *Université Alioune Diop de Bambey, Sénégal. Email: babacar.thioune@uadb.edu.sn;*

³ *UFR Sciences et Technologies, Université Iba Der THIAM de Thiès - Sénégal, Email :
saidou.ndao@univ-thies.sn.*

Résumé

Les eaux souterraines ont toujours été une composante essentielle du potentiel en eau dans la cité religieuse où les eaux de surface sont presque quasi inexistantes. Les forages et puits implantés dans la zone captent en générale trois types d'aquifère : le Maastrichtien, le Paléocène et l'Eocène. L'objectif de ce travail est de comparer ces trois aquifères en termes de qualité et de quantité. Pour atteindre notre objectif, nous avons travaillé avec les données hydrogéologiques reçues de la Direction de la Gestion et de La Planification des Ressources en Eau (DGPRE) de dix-neuf (19) forages dont sept captent le Maastrichtien, six le Paléocène et six l'Eocène. Cinq (05) paramètres ont été étudiés sur chacun des 19 forages : la profondeur des forages, le résidu sec, le fluor, le rabattement et le débit de pompage des forages. Le débit spécifique (rapport entre le débit et rabattement) a été également analysé. Les résultats montrent qu'en terme de qualité, il n'existe pas une grande différence entre les eaux provenant de ces trois aquifères. Par ailleurs, la quantité de résidus secs et la concentration de fluor sont élevées et dépassent même le seuil fixé par l'OMS sur tous les forages étudiés. Cependant la différence réside au niveau de la productivité et le coût de production. Le Maastrichtien reste l'aquifère le plus productif avec un débit moyen de 83 m³/s et un débit spécifique tournant aux alentours de 4,94m³/h/m supérieur aux valeurs du Paléocène 3,25m³/h/m et de l'éocène 0,86 m³/h/m. Cependant les forages captant le Maastrichtien peuvent atteindre jusqu'à 340m de profondeur, ce qui rend le coût d'exploitation de cette nappe très élevée comparé aux autres.

Mots clés : *nappe, forage, Fluor, résidus secs, débit, rabattement, Touba ; Sénégal.*

Comparative study of underground aquifers exploited in Touba, Senegal

Abstract

Groundwater has always been an essential component of the water potential in the religious city, where surface water is almost nonexistent. The boreholes and wells located in the area generally tap into three types of aquifers: the Maastrichtian, the Paleocene, and the Eocene. The aim of this work is to compare

these three aquifers in terms of both quality and quantity. To achieve our goal, we worked with hydrogeological data received from the Directorate of Water Resources Management and Planning (DGPRE) from nineteen (19) boreholes, of which seven tap into the Maastrichtian, six the Paleocene, and six the Eocene. Five (05) parameters were studied for each of the 19 boreholes: borehole depth, dry residue, fluoride, drawdown, and pumping rate of the boreholes. The specific yield (ratio between flow rate and drawdown) was also analyzed. The results show that in terms of quality, there is not a significant difference between the waters coming from these three aquifers. Furthermore, the amount of dissolved solids and the fluoride concentration are high, even exceeding the threshold set by the WHO in all the wells studied. However, the difference lies in productivity and production cost. The Maastrichtian remains the most productive aquifer with an average flow rate of 83 m³/s and a specific yield around 4.94 m³/h/m, higher than the values of the Paleocene at 3.25 m³/h/m and the Eocene at 0.86 m³/h/m. However, wells tapping the Maastrichtian can reach up to 340 m deep, which makes the cost of exploiting this aquifer very high compared to the others. Key words: *groundwater, borehole, Fluorine, dry residues, flow rate, drawdown.*

Introduction

A Touba, compte tenu de l'inexistence des eaux de surfaces, les eaux souterraines constituent la principale source d'approvisionnement en eaux. En plus d'être une source de nourriture, ces eaux permettent le développement économique en fournissant ce qu'on appelle des services de soutien, garantissant la biodiversité, la conservation et le bon fonctionnement des écosystèmes. L'approvisionnement en eau est assuré par des ouvrages de captage (forage, puits...) qui captent principalement trois aquifères : le Maastrichtien, le Paléocène et l'Eocène. Des études ont montré que les caractéristiques d'une nappe dépendent en grande partie de la géologie de l'aquifère qui la contient. La composition physique, chimique et biologique de l'eau peut changer après son infiltration dans le sol en raison de ses interactions avec l'environnement. Différents éléments peuvent altérer sa constitution de base par diffusion, dissolution et hydrolyse, ou même par un simple mélange (Savané et Soro, 2001 ; Xiao et al., 2012 ; Yao et al., 2012). En traversant donc des couches géologiques plus ou moins perméables, l'eau souterraine est susceptible de présenter une augmentation de sa minéralisation par lessivage des roches, notamment en cas de nappes libres (Andre et al., 2005 ; Adrian et al., 2005). Cette situation peut donner lieu à des atteintes graves à la qualité de l'eau par contamination verticale due aux activités anthropogènes (Yassir et Amira, 2013; Omar et al., 2014 ; Ntep et al., 2014).

L'objectif du présent travail est de comparer les caractéristiques des trois aquifères le Maastrichtien, le Paléocène et l'Eocène exploités dans notre zone d'étude. L'étude a été rendue possible grâce aux données hydrogéologiques de dix-neuf forages-puits dont sept (07) captent le Maastrichtien, six (06) le Paléocène et six

(06) l'Eocène reçues de de la Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRE).

I. Méthodologie

✓ I.1 Présentation de la zone d'étude

Siège de la confrérie musulmane des mourides, la ville de Touba est située à 194 km à l'Est de capitale DAKAR, dans le département de MBACKE avec des coordonnées géographiques de 14°52' de latitude Nord et 15° 52 ' de longitude Ouest.

Elle est géographiquement limitée au Nord par l'arrondissement de Darou Mousty, au Sud par l'arrondissement de Kaël, à l'Est par l'arrondissement de Sagatta Djoloff et à l'Ouest par un ensemble de communautés rurales que sont celles de Touba Fall et Dalla – Ngabo.

La commune de Touba Mosquée est située à l'est du département de Mbacké et couvre à l'origine une superficie de 553 km². Aujourd'hui les dernières extensions s'étendent sur une superficie de 30 000 ha. Située dans le bassin arachidier, la zone de Touba est marquée par un relief pratiquement plat avec cependant quelques dépressions et vallonnements plus ou moins prononcés que l'on constate le plus souvent au sud et au centre. Ce relief tabulaire devient une forte opportunité pour un étalement horizontal sans précédent de la ville. Il fait partie d'un vaste plateau monotone qui s'étend de la Casamance à la vallée du fleuve Sénégal.

Le climat est soudano-sahélien, chaud et sec, avec la juxtaposition de deux grandes saisons, une saison dite pluvieuse qui va de Juillet à Septembre et une autre dite non pluvieuse (ou sèche) allant d'octobre à Juin.

La topographie dans les 3 kilomètres entourant Touba est essentiellement plate, avec une variation de l'altitude de 19 mètres maximum et une altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer de 46 mètres. Dans les 16 kilomètres, la topographie est essentiellement plate (54 mètres). Dans les 80 kilomètres, elle présente aussi seulement de légères variations de l'altitude (84 mètres).

La zone d'étude se situe au point de vue géologique au centre du bassin Sénégal-mauritanien. Tous les âges (du socle cristallin au Quaternaire) sont représentés. Les études hydrogéologiques, les forages et les sondages réalisés dans le secteur nous ont permis d'établir la description lithologique ci-après:

✓ Le Quaternaire et Continental Terminal :

Ils sont constitués essentiellement de sable jaune à sable argileux ou argile sableuse et des gravillons latéritiques utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics au niveau de la ville sainte.

✓ L'Eocène :

Les formations de l'Eocène inférieur et moyen sont représentées dans notre zone d'étude, par des faciès argilo-marneux de calcaires marneux aux marno-calcaires et marnes grises. L'épaisseur de l'Eocène avoisine les 100 m.

✓ **Le Paléocène :**

La formation du Paléocène s'étend sur une épaisseur moyenne de l'ordre de 100 m. Le Paléocène est également constitué de calcaires à calcaires marneux, de marnes. Il est limité à sa base par une couche d'argile noire constituant ainsi la zone de transition entre le Paléocène et le Maastrichtien.

✓ **Le Maastrichtien :**

Le Maastrichtien se compose de sable argileux à sable grossier avec des intercalations de grès et d'argiles. Les forages d'eau ne captant que la partie superficielle ne permettent pas de déterminer son épaisseur exacte.

À Touba, les ressources en eau sont réparties entre les eaux de surface et les eaux souterraines :

Les eaux de surface sont quasi inexistantes. Les quelques retenues d'eaux sont constituées par les opportunités qu'offrent quelques dépressions plus ou moins importantes.

Certaines caractéristiques des différents aquifères font que l'exploitation des nappes souterraines pour alimenter la cité pose d'énormes problèmes. Le Maastrichtien est le système qu'exploitent actuellement les forages à partir plus de 200 mètres. la figure 1 donne la position géographique des forages testés sur notre zone d'étude

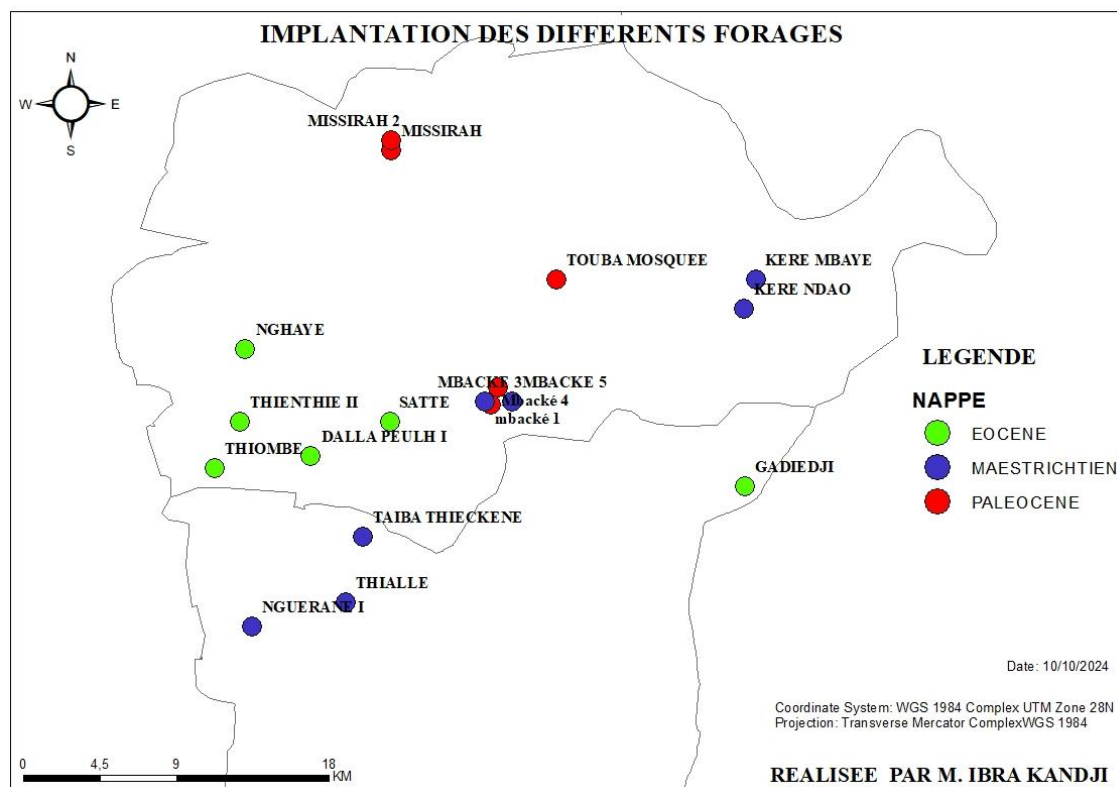


Figure 1:implantation des forages dans la zone d'étude

I.2 Données et méthode

Les données hydrogéologiques ont été fournies par la Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau(DGPRE). Il s'agit de la profondeur des forages, de la concentration du résidu sec, de la concentration du fluor, du débit des essais de pompages et du rabattement. La détermination des différents paramètres précités a été effectuée sur dix forages-puits dont sept (07) captent le Maastrichtien, six (06) le Paléocène et six (06) l'Eocène. Sur la base de ces données hydrogéologiques, nous avons effectué une étude statistique afin de comparer ces trois aquifères. Les logiciels utilisés pour le traitement sont : Google earth pour la localisation des points, arcgis pour la réalisation des cartes thématiques et Excel pour les études statistiques.

II. Résultats et discussions

II.1 qualité des eaux

✓ Le résidu sec

Nous avons étudié les valeurs du résidu sec de dix-neuf (19) forages captant trois (03) différentes nappes : sept (07) sur le Maastrichtien, six (06) sur le Paléocène et six (06) sur l'éocène. A l'exception du forage de Nghaye (un des 6 forages de l'Eocène), les valeurs de résidus sec dépassent celle recommandée l'Organisations Mondiale de la Santé(OMS) pour la consommation (1000 mg/L). Les valeurs de résidus sec du Maastrichtien se situent entre 1032 et 2436 mg/l avec une moyenne de 1616 mg/l ; quant au Paléocène, les valeurs de résidus secs sont proches de celles rencontrées au niveau du Maastrichtien, elles tournent aux alentours de 1634 mg/l. En ce qui concerne l'éocène, les concentrations de résidus secs sont dans la même fourchettes que celles des deux aquifères. Elles sont comprises entre 576 mg/l(Nghaye) et 2472 mg/l pour une moyenne de 1684 mg/l.

La figure 2 ci-dessous donne la distribution spatiale du résidu sec sur notre zone d'étude.

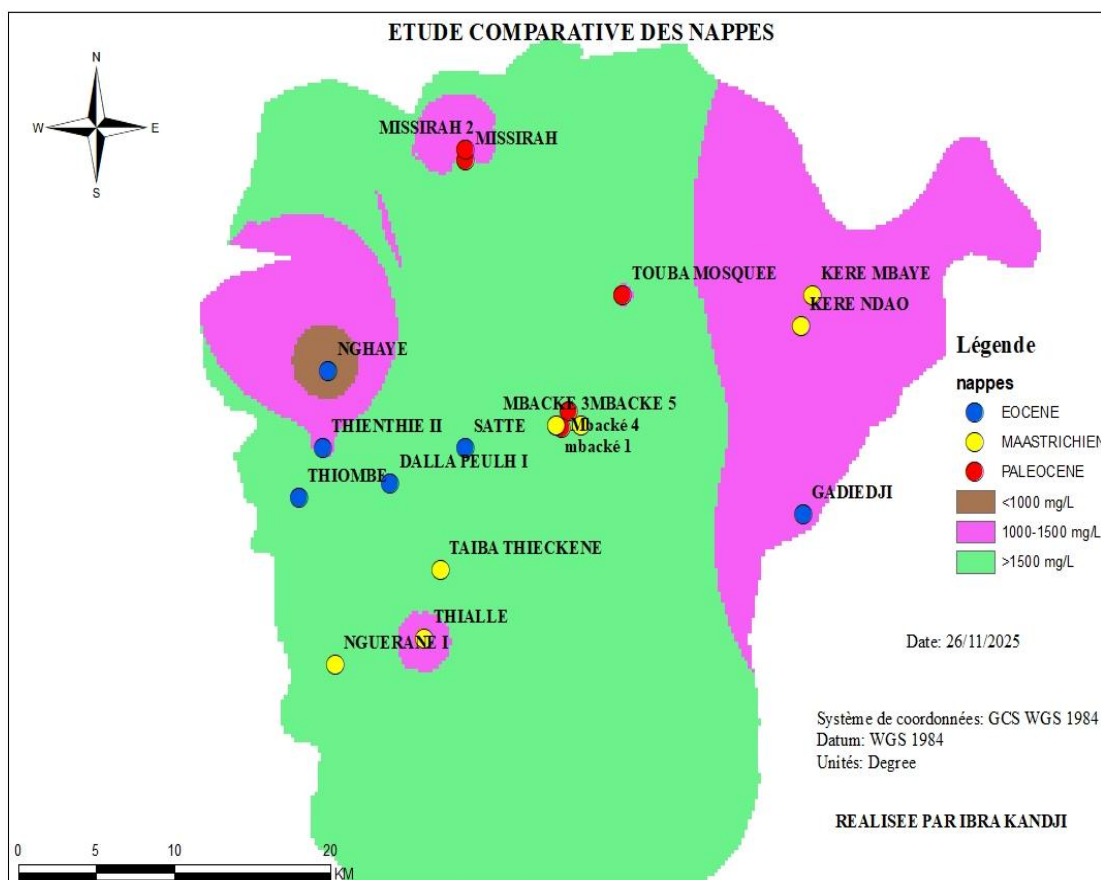


Figure 2 :Distribution spatiale du Résidus sec

✓ Le Fluor

Dans notre secteur d'étude, la teneur en Fluor est sensiblement plus élevée sur le Paléocène avec une moyenne de 2,9mg/l que sur le Maastrichtien et l'éocène qui ont des valeurs moyennes respectives de 2 et 2,75 mg/l. Les plus fortes valeurs sont enregistrées à Mbacké (4,5mg/l P aléocène), à NGUERANE I (4mg/Maastrichtien) et à Thiombe-Satte (4 mg/l'éocène). Par ailleurs il faut noter que les concentrations de fluor sur les trois aquifères sont élevées et restent supérieure à la valeur admissible de l'OMS(1,5mg/l) à l'exception des forages de (NGHAYE, Missirah, Keur Mbaye et Keur Nddao)(voir figure 3 ci-dessous).

En conclusion, à Touba, sur les trois nappes étudiées, la qualité de l'eau est catastrophique sur la plupart des forages et dépasse largement les normes de l'OMS. Ces résultats montrent que l'eau souterraine des trois nappes de Touba (Maastrichtien, Paléocène et Eocène) est riche en résidu à sec et en fluor ; sa consommation sans traitement au préalable constitue un danger à la santé

publique. Elle expose le consommateur à des risques de maladie comme les formes de fluoroses graves (osseuse, dentaire et articulaire), des diarrhées et, à long terme, une déshydratation sévère. La figure 3 donne la distribution spatiale du fluor sur notre zone d'étude.

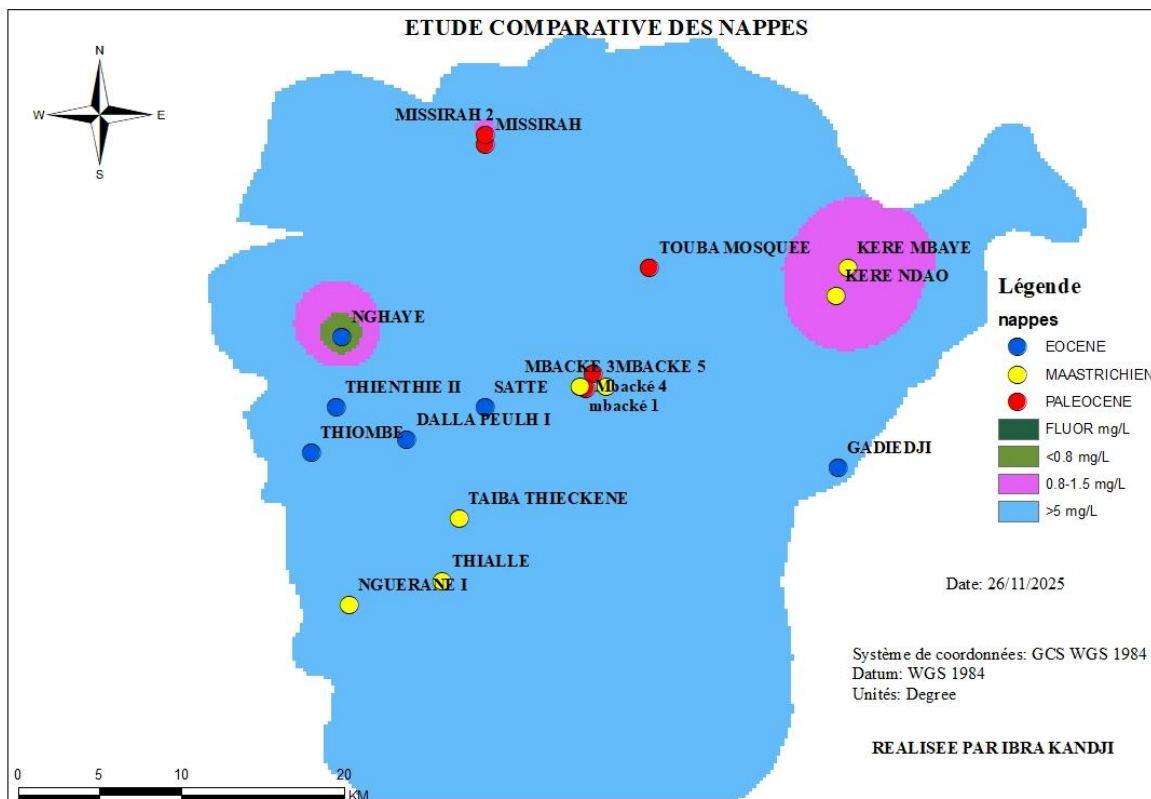


Figure 3 : Distribution spatiale du Fluor

✓ II.2 Productivité des aquifères

Avec des débits de pompage tournant aux alentours de $83 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $22,35 \text{ m}^3$ pour le Paléocène et $6,78 \text{ m}^3/\text{s}$ pour l'éocène (figure 4) et un débit spécifique moyen de $4.94 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ contre $3.25 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ pour le Paléocène et $0.86 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ pour l'Eocène (figure 5), le Maastrichtien est l'aquifère le plus productif capté par les forages de la zone d'étude suivi du Paléocène qui occupe la deuxième position devant l'éocène. Il a été noté que le Paléocène et le Maastrichtien sont toutes dans la catégorie des nappes productives (débit spécifique comprise entre 1 et $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$). Par contre, l'éocène est dans la catégorie des nappes moyennement productives (débit spécifique comprise entre 0,1 et $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$). Les figures 4 et 5 ci-dessous donnent respectivement la distribution spatiale du débit de pompage et le débit spécifique sur notre zone d'étude.

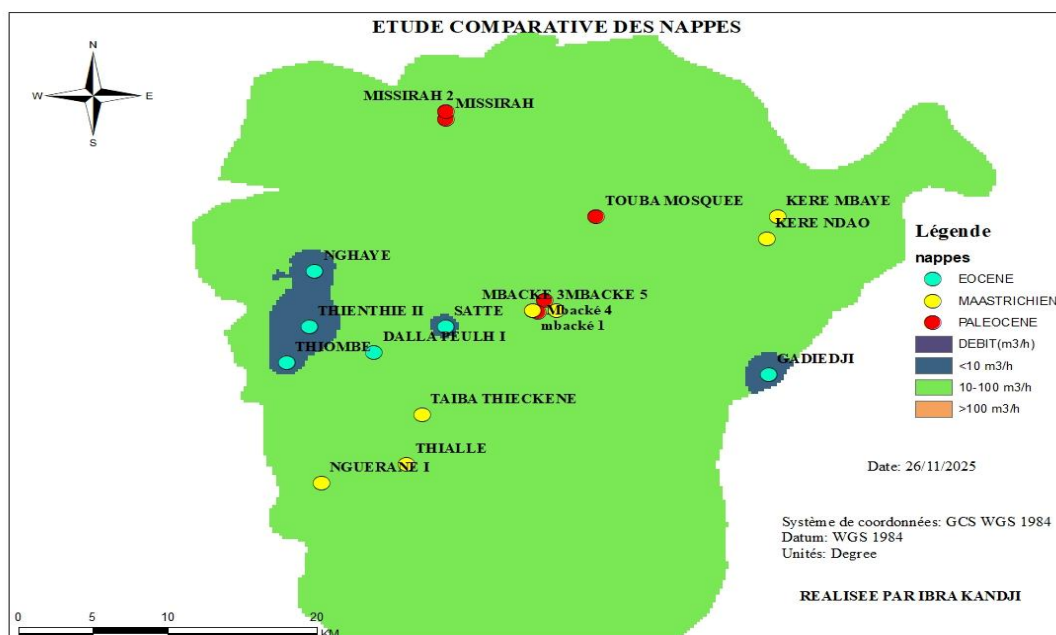


Figure 4 : débit de pompage des nappes

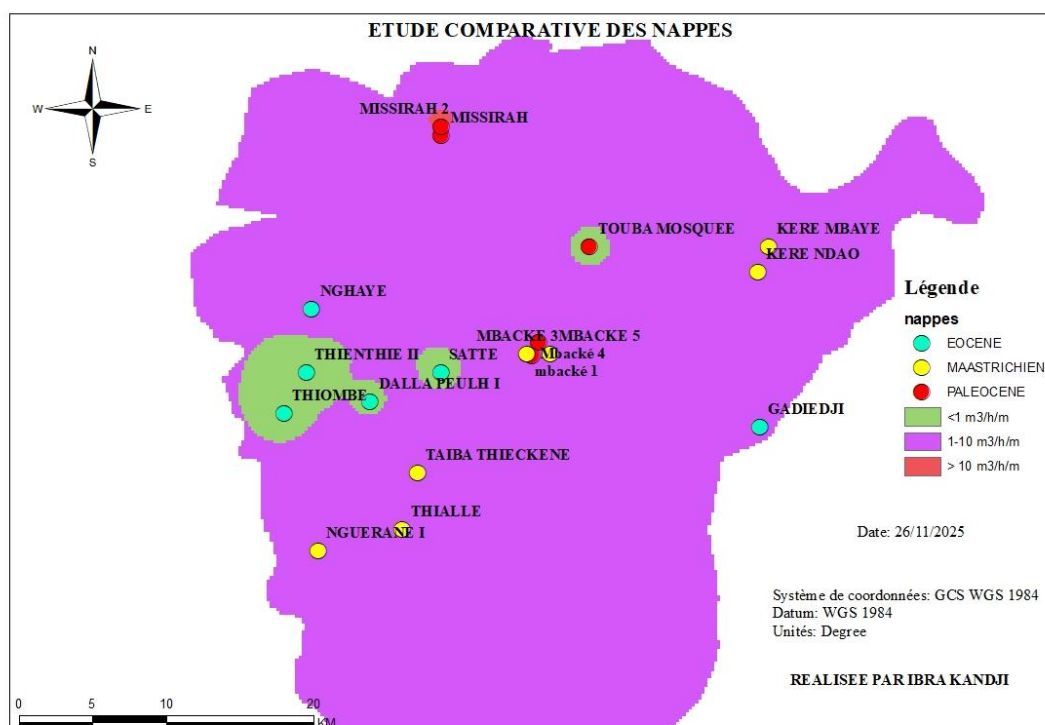


Figure 5 :Débit spécifique des nappes

II.3 Coût d'exploitation :

L'estimation du coût d'un ouvrage de captage dépend de plusieurs facteurs notamment la profondeur du forage, le type du sols, l'emplacement géographique et la disponibilité des matériaux. Dans notre zone d'étude, le prix dépend en grande partie de la profondeur en effet, les couches de sol rencontrées sur notre zone d'étude sont constituées principalement de d'argile, du sable, de la marne et du calcaire comme le montre la coupe lithologique du forage de Thiale ci-dessous (figure 7) et que les trois nappes sont sous-jacentes. En résumé, le cout de d'exploitation du Maastrichtien est largement élevé que ceux du Paléocène et de l'Eocène. Avec des profondeurs allant parfois jusqu'à 340 voire même plus, l'exploitation du Maastrichtien demande un investissement important comparé à celle du Paléocène et de l'Eocène. Ainsi par manque de moyens financiers, les populations à travers les puits traditionnels exploitent souvent l'Eocène qui reste l'aquifère le plus accessible. La figure 6 donne les profondeurs des forages sur notre zone d'étude.

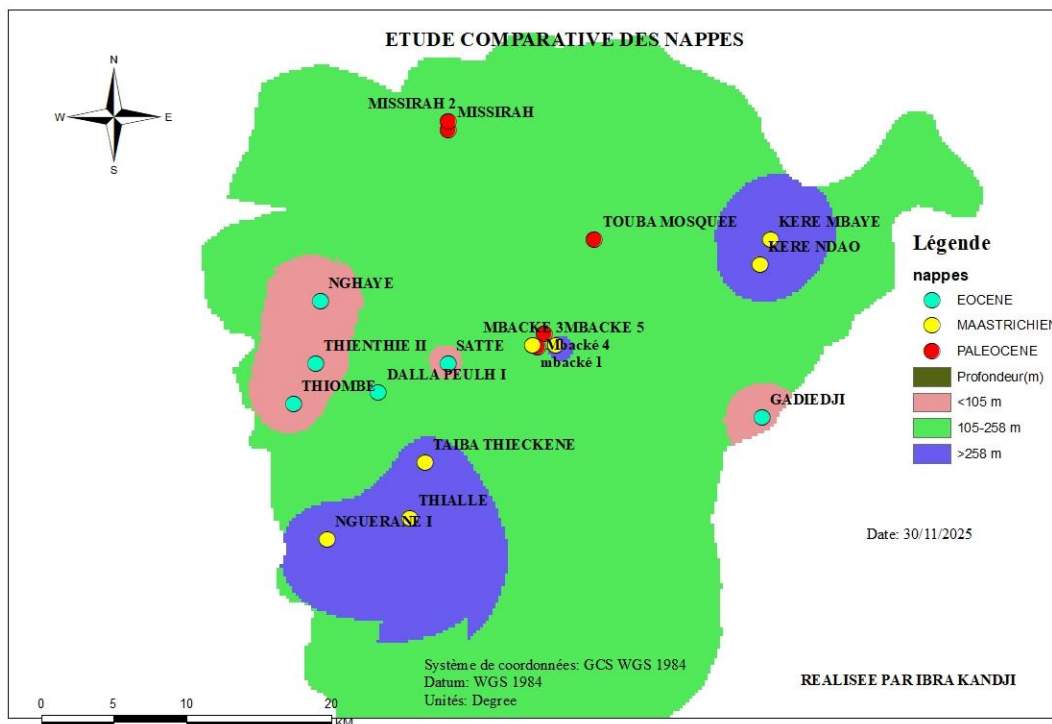


Figure 6 :Profondeur des forages

La figure 6 montre que le Maastrichtien est la nappe la plus profonde, sa profondeur peut atteindre jusqu'à 340m sur certaines zones, suivie du Paléocène se situant entre 100 et 260m. l'Eocène est la nappe la plus accessible, elle peut être atteinte à moins de 100 m sur la plupart des localités de notre zone d'étude.

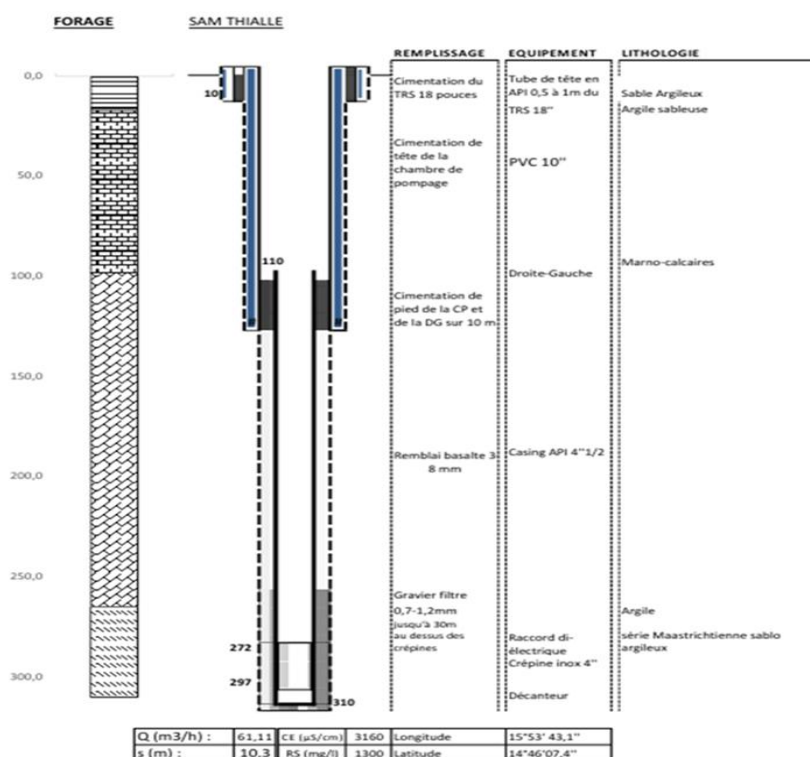


Figure 7 : Coupe lithologique du forage de Thiale

La figure 7 met en exergue les différentes couches rencontrées lors des opérations de forage dans notre zone d'étude. La coupe lithologique est principalement constituée par du sable argileux et de l'argile sableux sur les cents (100) premiers (Eocène), du marno-calcaire entre 100 et 260m (Paléocène). Ces deux couches reposent une couche d'argile et de sablo-argileux qui caractérisent le Maastrichtien.

Les résultats montrent que les eaux souterraines des trois (03) nappes étudiées sont pratiquement de même qualité. Ces résultats pourraient être justifiés par le fait que les couches géologiques rencontrées sur ces nappes (le sable, l'argile et le marno-calcaire) contiennent pratiquement les mêmes composantes chimiques. La quantité de résidus secs et la concentration de fluor sont élevées et dépassent même le seuil fixé par l'OMS sur tous les forages étudiés. Cependant, une différence a été notée au niveau de la productivité et du coût d'exploitation. Le Maastrichtien reste l'aquifère le plus productif avec un débit moyen de 83 m3/s et un débit spécifique tournant aux alentours de 4,94m³/h/m supérieur aux valeurs du Paléocène 3,25m³/h/m et de l'Eocène 0,86 m3/h/m. Cependant les forages captant le Maastrichtien sont très profonds avec des profondeurs qui peuvent atteindre jusqu'à 340m de profondeur, ce qui rend le coût d'exploitation de cette nappe très élevée comparé aux autres.

Conclusion

Les résultats de la présente étude ont contribué à une meilleure connaissance des caractéristiques des trois aquifères exploités par les ouvrages de captage à Touba. Des données de dix-neuf forages-puits dont sept (07) captent le Maastrichtien, six (06) le paléocène et six (06) l'éocène reçues de la DGPRE et réparties dans notre zone d'étude ont été étudiées. Il a été noté que Sur le plan qualité, il n'existe pas une grande différence entre les eaux provenant des trois aquifères étudiés. Les concentrations de Fluor et de résidus secs du Maastrichtien, du paléocène et de l'éocène dépassent largement les normes de l'OMS et se retrouvent dans une même fourchette de valeurs. Cependant le Maastrichtien reste l'aquifère le plus productif avec des débits importants tournant aux alentours de 83m³/s suivi du paléocène. L'éocène est souvent exploité par les puits traditionnels vue sa faible profondeur. Par ailleurs l'exploitation du Maastrichtien demande un coup d'investissement élevé. Il est alors important de voir d'autres techniques pour approvisionner la zone de Touba en eau en quantité et en qualité.

Références bibliographiques

- Diouf, Mouhamadou. Mamadou. 2019. *Touba, ville sainte et exemple de développement durable*. TOUBA.
- FALL, Mouhamadou Doudou. Juin 2012. *Modélisation hydrogéologique conceptuelle de la nappe des sables quaternaires du littoral nord du Sénégal entre Dakar et Saint-Louis*. Ouagadougou: Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement(2IE).
- KANE, Racine. 2004. *Approvisionnement en eau de TOUBA: Aspect Sanitaire*. DAKAR: Ecole Supérieure Polytechnique de DAKAR.
- LOUKMAN, Bichara. 2017. Caractérisation hydrochimique de la nappe de Yao et ses environs : . *International Formulae Group*.
- MFONKA, Z. Aout 2015. Hydrochimie et potabilité des eaux du bassin versant du Nchi dans le plateau. *International Formulae Group*.
- NDIAYE, Modou. 2006. *Modélisation de la nappe du Maastrichtien dans la zone de TOUBA*: Ecole Supérieure Polytechnique.
- SANE, Moustapha. Octobre 2015. *Note sur les ressources en eaux du Sénégal : zones potentielles pour le transfert d'eau*. Dakar: ministère de l'hydraulique et de l'assainissement: direction de l'Hydraulique.
- SOW, Djiby. Février 2021. *Dynamique spatiale de 1930 à 2020 et gouvernance urbaine de la « ville » de Touba*. Ziguinchor : université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ).
- TINE, Alfred. Kouly. 2011. Réactualisation de la situation hydrogéologique des aquifères du Maastrichtien et du Paléocène de la région de Mbour, Sénégal. *Journal des Sciences et Technologies*.