

REACTUALISATION DE LA SITUATION HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES DU MAASTRICHTIEN ET DU PALEOCENE DE LA REGION DE MBOUR, SENEGAL

ACTUALIZATION OF THE MAASTRICHTIAN AND PALEOCEAN AQUIFEROUS HYDROGEOLOGICAL SITUATION OF THE REGION OF MBOUR, SENEGAL

Alfred Kouly TINE¹, Mamadou Issa BA¹, Aïssatou Sophie
GLADIMA-SIBY¹, Olivier Florent ESSOULI¹, Abdoulaye
FAYE^{1*}, Baba SARR²

Résumé :

Les connaissances hydrodynamiques et hydrochimiques des aquifères du Maastrichtien et du Paléocène de la région de Mbour, ont été réactualisées à partir des résultats du suivi de l'état de la ressource en décembre 1997 et en juillet 1998. L'évolution de la piézométrie est caractérisée par une remontée de la nappe du Paléocène. L'impact de cette recharge est matérialisé par la mise en place d'un dôme piézométrique qui a remplacé la dépression centrale des années 80. Cet état de fait qui place le niveau piézométrique de la nappe du Paléocène au dessus de celui de la nappe du Maastrichtien implique une inversion des charges, et donne une modification du sens des échanges entre les deux nappes.

Les investigations hydrochimiques, confirment que ces nappes sont très minéralisées avec des teneurs en sels dissous supérieures à 1 g.l⁻¹ sauf aux environs immédiats de Mbour dans la zone des calcaires karstifiés. Cette zone centrale karstifiée, surmontant la nappe du Maastrichtien, s'étend vers le nord et se caractérise par un couloir d'eau douce central limité à l'est et à l'ouest (au nord et au sud dans le secteur de MBOUR) par des fronts saumâtres. La salinité des eaux est étroitement liée à l'existence en profondeur d'eaux fossiles anciennes et à la nature géochimique du réservoir. Les teneurs en fluor sont très élevées ($> 10^{-3}$ g.l⁻¹) dans ces nappes quand elles sont surmontées par des couches géologiques d'âge éocène. Les variations de la salinité dans ces nappes sont souvent liées aux échanges latéraux et verticaux associés à leur degré d'exploitation.

Mots clés : Hydrogéologie, aquifères, salinité, fluor, inversion de charge

Abstract:

In December 1997 and July 1998, surveys were done in sites localized at Mbour (Senegal), to study the evolution of the hydrodynamic and hydrochemical parameters of Maastrichtian and Paleocene aquifers. Our data show that there is an evolution of the Paleocene piezometrical level which is situated beyond the Maastrichtian level. We observe also, that the central depression registered in 1980 was replaced by a piezometrical dome. Hydrochemical investigations show that aquifers are highly mineralised (> 1 g.l⁻¹) excepted immediate surroundings of Mbour characterised by karstical chalky areas. The salinity of the aquifers is closely linked to the being of hold fossil waters in depth and the geochemical nature of the reservoir. The contents of fluor are high in these two aquifers ($> 10^{-3}$ g.l⁻¹). The use of water control the increasing or decreasing of the salinity in these aquifers.

Keywords : Hydrogeology, aquifers, salinity, fluor, recharge inversion.

^{1*} Laboratoire d'Hydrologie et Hydrochimie, Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, U.C.A.D., B.P. 5005 Dakar Fann.

Correspondant : *Email : abdoulayefaye2000@yahoo.fr; aktine13@yahoo.fr.

² Institut Fondamental de l'Afrique Noire (IFAN), UCAD (Dakar, Sénégal)

;

1 - Introduction

Situé à une centaine de kilomètres de Dakar au Sud-Est de la presqu'île du Cap-Vert, la ville de Mbour est l'un des plus grands centres touristiques du Sénégal. Le déficit pluviométrique qui s'est installé depuis les années 70, a affecté la ressource en eau aussi bien en terme de circulation des eaux qu'en terme de minéralisation dans la partie nord-ouest du Sénégal retombée est du horst de Ndiass (Travi et al. [1]). L'Etat sénégalais, en collaboration avec des organismes non gouvernementaux tels que CARITAS y a implanté plusieurs ouvrages hydrauliques (forages, puits, adductions). Ceux-ci ont permis de mettre en œuvre une exhaure importante malgré ce contexte de raréfaction. Les aquifères de cette partie du bassin ont été relativement bien étudiés (Pitaud, [2]; Sarr, [3] ; Faye, [4]; Travi et al. [1] ; Travi, [5], Ba, [6], Tine, [7]). Cependant depuis une dizaine d'années pour des raisons diverses, aucune mise au point n'a été faite sur l'état des nappes (du point de vue hydrodynamique et hydrochimique). Dans un contexte de péjoration climatique et devant les signes d'épuisement de la réserve, l'exploitation

n'ayant pas été contrôlée ni limitée, ce qui a probablement modifié les conditions hydrogéologiques notamment :

- le rapport de charges entre la nappe du Paléocène et la nappe du Maastrichtien ;
- la position des eaux saumâtres dans la nappe du Paléocène (Travi et al. [1]).

C'est pourquoi la présente étude se propose :

- de rappeler les conditions aux limites des différents aquifères exploités ;
- de faire l'état de la variation piézométrique et de la qualité des eaux ;
- d'en tirer des conclusions pratiques pour rationaliser l'exploitation.

2 – Situation géographique, cadre géologique et hydrogéologique

La région de Mbour se localise à l'Est de la presqu'île du Cap-Vert entre les latitudes 14°05' et 14°50' Nord et les longitudes 16°25' et 17°00' Ouest (Fig. 1). Le relief est peu marqué. La pente est dirigée vers les zones basses du Saloum. Les marigots coulent perpendiculairement à la mer en suivant cette inclinaison. Sur le plan climatique, la région, comme sur

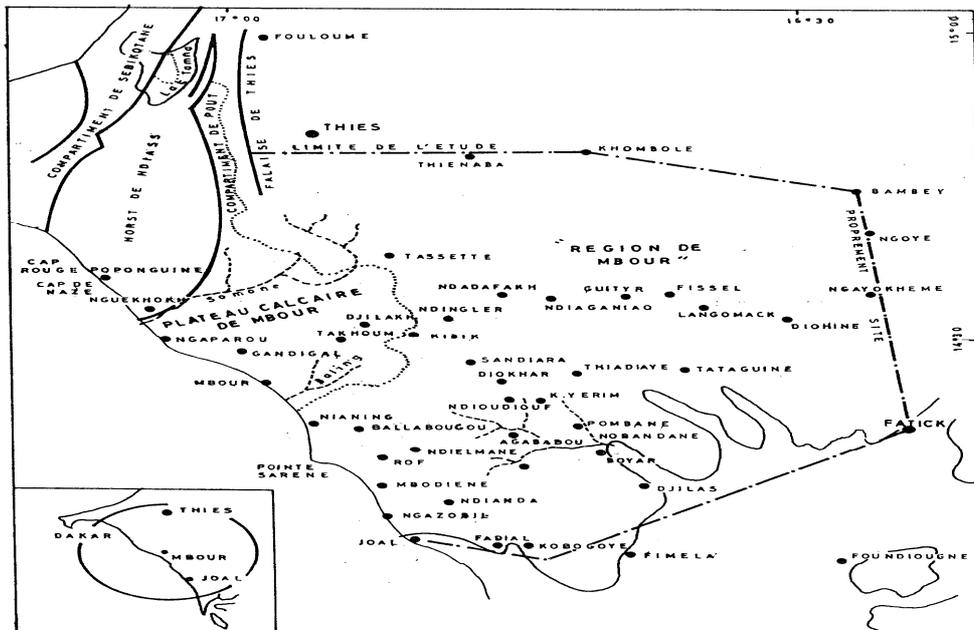


FIG. 1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE ECH: 1/500 000

- Fractures principales
- - - Cours d'eau
- Limite d'affleurement des calcaires paléocènes

Figure 1 : Situation géographique et réseau hydrographique E :1/500 000 (d'après Pitaud 1980.)

l'ensemble du Sahel, est caractérisée par une sécheresse qui a débuté en 1969. L'une des conséquences directes de cet état de fait se traduit par l'implantation de nombreux ouvrages hydrauliques pour couvrir les besoins en eau des populations.

La série sédimentaire post-paléozoïque du bassin sénégalo-mauritanien est bien représentée dans la zone. Elle est connue sans interruption du Trias-Lias au Quaternaire grâce aux sondages pétroliers et de recherche d'eau (Bellion, [8]). La nature et les conditions de mise en place des dépôts sédimentaires conditionnent l'existence et l'évolution des aquifères concernés par cette étude. L'examen de cette série a montré que seuls les termes superficiels (Campano-Maastrichtien, Tertiaire et Quaternaire) constituent les assises utiles du point de vue hydrogéologique. Les formations détritiques d'âge campano-maastrichtien sont constituées de sables contenant de la lignite, d'argiles et de grès (Sarr, [9]). Ces formations, présentes dans toute la zone, sont sub-affleurantes à la limite occidentale (horst de Ndiass) à partir de laquelle elles s'enfoncent de plus en plus vers l'Est.

Les formations carbonatées correspondent aux calcaires d'âge paléocène et éocène contenant des marnes et des argiles. A l'exception du "plateau calcaire de MBour" (Pitaud, [2]) où les dépôts paléocènes sont sub-affleurants, ces formations d'épaisseurs variables s'enfoncent également d'Ouest en Est. Elles sont surmontées par des sables pouvant contenir une nappe phréatique et d'une cuirasse latéritique récente d'âge mio-plio-quaternaire (Sarr, [3] et [9]).

L'importance de l'aquifère du Paléocène dépend du degré de karstification des formations carbonatées dans la région.

L'ensemble de ces aquifères est affecté par une fracturation relativement importante intervenue à différents moments de l'histoire géodynamique du bassin (Bellion et Guiraud [10]). Ces aquifères relativement complexes présentent des variations de faciès très fréquentes et la fracturation entraîne des contacts pouvant constituer des seuils hydrauliques (Fig. 2). Ce qui isole par endroits des nappes captives et modifie les caractéristiques hydrodynamiques.

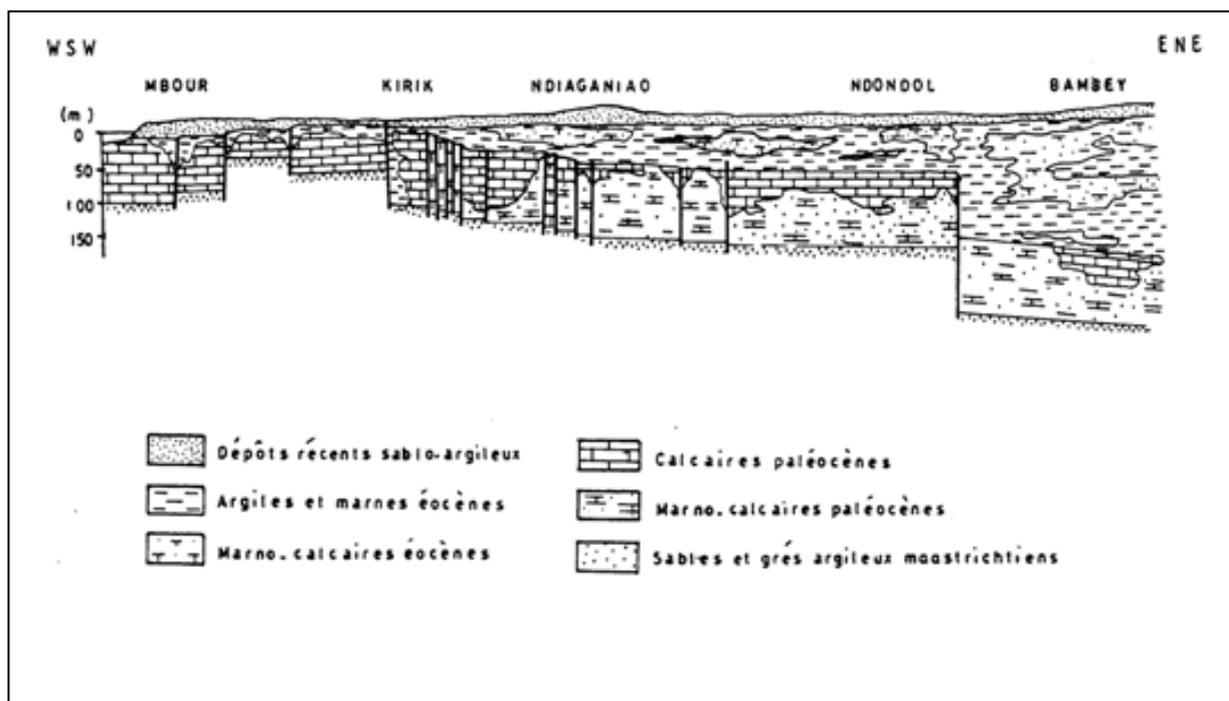


Fig. 2 : Coupe hydrogéologique schématique à travers l'aquifère du Paléocène de la région de Mbour

La nappe du Maastrichtien, captive dans la zone de Mbour, se caractérise par des fluctuations saisonnières de son niveau statique entre les périodes post-hivernales (décembre 1997) et pré-hivernale (juillet, 1998).

Hydrochimie

Les diagrammes d'analyse d'eau de Piper donnent les pourcentages de la teneur des eaux en certains éléments chimiques (Tine, [7]). Ces diagrammes montrent que les eaux sont dominées par les bicarbonates, les chlorures, le sodium et les sulfates (Fig. 4).

La nappe du Paléocène est caractérisée par des eaux saumâtres isolées dans le secteur de Ndiagianio dont les teneurs en sels dissous (TDS) sont supérieures à 2 g.l⁻¹ (Fig. 6a et b). Ces eaux fortement minéralisées, sont entourées par un front saumâtre (1 g.l⁻¹ < TDS > 2 g.l⁻¹). Un autre front saumâtre se rencontre aussi dans la partie sud. Ces fronts saumâtres du Nord et du Sud de la zone sont séparés par des eaux moins minéralisées (TDS < 1 g.l⁻¹) qui occupent la zone d'infiltration des calcaires karstifiés. Ces minéralisations élevées se traduisent par une forte salinité de la nappe du Paléocène dans le secteur de Ndiagianio et de la latitude de Nguéniène vers l'extrême Sud au contact de la façade Atlantique ou du Delta du Saloum.

Pour ce qui est de la nappe du Maastrichtien (Tableau 3), les différents points d'eau échantillonnés dans la partie est se caractérisent par un taux de minéralisation supérieur à 1 g.l⁻¹. Dans ces eaux les teneurs en ions Cl⁻ et Na⁺ dépassent 0,5 g.l⁻¹. Il en résulte une salinité assez élevée des eaux qui s'étend de la limite orientale de la zone jusqu'à Mbédap-Mbédite. Cependant, aux environs de Mbour, cette nappe est moins minéralisée (TDS < 1 g.l⁻¹).

Il nous a semblé utile d'analyser le fluor qui semble être un élément de pollution dans la zone (Travi, [5]). Les teneurs en fluor des eaux de la nappe du Paléocène varient de 8.10⁻⁵ g.l⁻¹ à Saly F1 à 12,9.10⁻³ g.l⁻¹ à Mbalakhat en juillet 1998. Aux environs de Mbour où les formations géologiques d'âge éocène sont absentes, les teneurs en fluor sont inférieures à 1.10⁻³ g.l⁻¹ tandis qu'elles sont plus élevées dans le reste de la zone (Fig. 8a et b). Dans la nappe du Maastrichtien, des teneurs en fluor inférieures à 1.10⁻³ g.l⁻¹ comparables à celles du Paléocène, ont été également mesurées au niveau des points d'eau de la partie ouest. A l'Est, les teneurs sont plus élevées et comprises entre 2 et 5.10⁻³ g.l⁻¹.

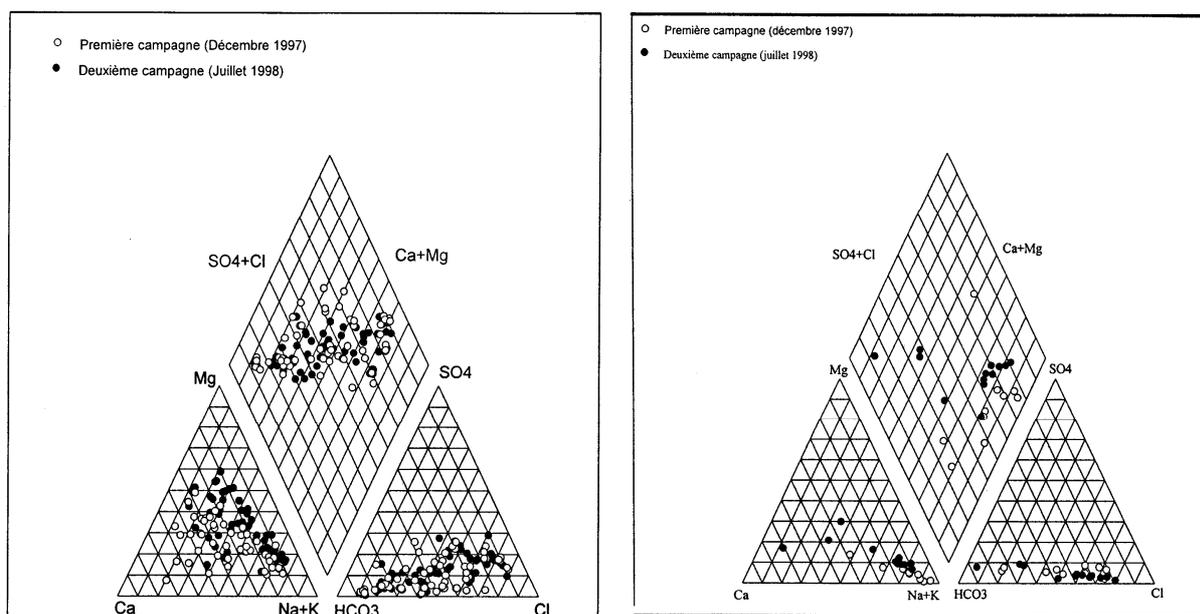


Figure 4 : Diagrammes d'analyse d'eau de Piper des nappes du Paléocène et du Maastrichtien.

Tableau 1 : TDS en $g \cdot l^{-1}$ de la nappe du Maastrichtien (décembre 1997 et juillet 1998)

Points d'eau	Latitudes	Longitudes	Décembre 1997 TDS ($g \cdot l^{-1}$)	Juillet 1998 TDS ($g \cdot l^{-1}$)
PARTIE EST				
Fayil	14.413	-16.584	1,460	1,650
Lambanéme	14.640	-16.578	1,660	1,690
Mbédap-Mbédite	14.445	-16.550	*****	1,860
Ndimack	14.576	-16.782	1,740	1,930
Senghor	14.480	-16.693	1,520	1,700
Sob Niakhar	14.525	-16.538	1,550	1,670
Tattaguine escale	14.488	-16.671	1,890	1,990
Wakhaldiam	14.702	-16.520	1,490	1,640
PARTIE OUEST				
Malikounda bam.	14.608	-17.077	0,850	0,430
Mbour F1 bis	14.431	-17.068	0,350	*****
Mbour F3	14.546	-17.181	0,810	0,470
Ngarine	14.488	-17.051	*****	0,480
Popenguine Serer	14.556	-17.115	*****	0,320

5 - Discussion Hydrodynamique

A l'intérieur des limites de la zone d'étude, la nappe du Paléocène se caractérise par un écoulement divergent du centre vers la périphérie occupée respectivement par des dômes et des dépressions piézométriques. Par contre, dans les années 80, les eaux de cette nappe convergeaient vers la zone dépressive de la partie centrale. Cette dépression centrale des années 80 a disparu et est remplacée par un dôme piézométrique en 1997-98. Cette augmentation des potentiels hydrauliques s'explique par une recharge de la nappe. Cette recharge est liée à une baisse du taux d'exploitation de la nappe et à une percolation des eaux de la nappe éocène sus-jacente (dans le secteur de Ndiagianiao et de Ndianda où la nappe est captive). Dans la zone de Keur Diba, où les calcaires sont sub-affluents, elle se fait à partir de la nappe phréatique, favorisée par la karstification des calcaires.

Dans les années 80, les charges de la nappe du Maastrichtien étaient relativement plus élevées que celles du Paléocène dans pratiquement toute la zone des transferts possibles. La surexploitation due à l'augmentation des besoins en eau des populations conjuguée au déficit de pluies a

entraîné, ces vingt dernières années, une baisse variable la piézométrie des nappes en moyenne de 0,1 mm/an lorsque la hauteur des précipitations est supérieure à 850 mm et de 0,30 à 0,60 mm pour une précipitation inférieure à 850 mm (Mudry et Travi, 1992).

La remontée du niveau de la nappe du Paléocène, telle que illustrée par le tableau 2, a entraîné le remplacement de la gouttière des années 80 par un dôme piézométrique. L'inversion de charges observée entre les nappes du Maastrichtien et du Paléocène, est favorisée par une exploitation accrue de la nappe profonde qui accentue la baisse de son niveau piézométrique de l'ordre de -4 m à Gandigal.

Tableau 2 : Variations de la profondeur/sol (m) de la nappe du Paléocène

Profondeur/sol (m)				
Années	1965	1979	1997	1998
Takhoum	7	13	9,50	-
Louly Bentègne	5	11	9,160	9,99

La dépression piézométrique de Nianing correspond à un exutoire de la nappe du Paléocène vers l'océan. Par contre, celle de la zone de Ngangarlam pourrait être liée à la nature aquiclude de l'aquifère du Paléocène (Pitaud, [2]) et à l'influence de l'exploitation de la nappe des calcaires lutétiens de Bambey. Dans ce secteur, la nappe du Paléocène est captive sous d'épaisses formations d'âge éocène dont les caractéristiques lithologiques les éloignent des propriétés de formations perméables.

Hydrochimique

Vers les années 80, la nappe du Maastrichtien sous-jacente était en charge par rapport à la nappe du Paléocène du fait de l'exploitation accrue de cette dernière (Pitaud, [2]). Actuellement, on note une inversion des charges suite à la remontée du niveau de la nappe du Paléocène liée à la baisse des exploitations. Cet état de fait entraînerait une alimentation de la nappe du Maastrichtien par les eaux du Paléocène. Les minéralisations très élevées observées à l'Est s'expliqueraient par une contamination issue des eaux du Paléocène plus chargées en particulier pour le fluor (selon Travi [6]. Aux environs de Mbour par exemple, les échanges entre ces deux nappes sont favorisés par les failles de Mbour et de Thiès (BRGM, [11]).

D'autre part, la nappe du Paléocène est caractérisée par des différences de minéralisation qui peuvent être liées à plusieurs causes. La sous-saturation des eaux en dolomite, calcite et gypse, indique la dissolution de la matrice au niveau du dôme piézométrique de Mbour (Fig. 7). Elles seaturent progressivement suivant la direction de l'écoulement. En général, on note une baisse de la minéralisation ces dernières années (de 10 g.l⁻¹ en 1980 à 3,54 g.l⁻¹ en 1998 à Ndiagianiao). Les secteurs très minéralisés rencontrés en périphérie et qui limitent la qualité des eaux (au Nord et au Sud) s'expliquent par l'existence d'eaux fossiles dont la mise en place date de la dernière transgression marine du

Nouakchotien (Sarr [3]). Par contre, dans les zones où les eaux sont peu minéralisées, cette qualité peut être affectée par les teneurs élevées en fluor (Tine, [7]).

Par ailleurs l'impact des nappes sus-jacentes (de l'Eocène et/ou du Paléocène) sur la minéralisation des nappes sous-jacentes est largement prouvé notamment entre le Paléocène et/ou le Maastrichtien dans la région de Mbour (Pitaud, [2], Arlab [12], Travi, [5]).

6 – Gestion de la nappe

En ce qui concerne la gestion de la nappe du Paléocène, il faut éviter des pompages de longue durée pour permettre à la nappe de remonter. Ce qui pourrait limiter la venue des eaux saumâtres comme le cas de Kouthie en pleine campagne de maraîchage.

Au niveau de la nappe du Paléocène les zones favorables aux captages correspondent aux zones de recharge de la nappe autour des dômes piézométriques. Cette possibilité d'exploitation est cependant limitée par les caractéristiques hydrochimiques plus ou moins favorables (salinité et teneurs élevées en fluor). C'est ainsi que dans les secteurs de Ndiagianiao-Fissel et dans la partie sud où les eaux sont fortement salinisées et fluorées, les programmes hydrauliques devront être orientés vers le captage des nappes phréatiques du Quaternaire et de l'Eocène au moyen des puits. Les puits seront moins profonds pour éviter de capter les eaux de la base phosphatée des formations de l'Eocène. Dans ces zones ainsi définies, il est inutile de rééquiper les ouvrages abandonnés ou non fonctionnels. Dans la zone des calcaires karstifiés favorables à l'exploitation, il est préférable de récupérer les ouvrages abandonnés plutôt que de réaliser de nouveaux ouvrages car nous avons constaté une augmentation des potentiels hydrauliques de la nappe. Quant à la nappe du Maastrichtien, la qualité des eaux est menacée par une augmentation de

la minéralisation par échange avec les eaux chargées de la nappe du Paléocène dans la partie est (à partir de Mbédap-Mbédite jusqu'au delta du Saloum) et aux environs de Mbour.

une remontée de son niveau piézométrique. Il en résulte une inversion de charge qui place le niveau piézométrique de la nappe du Paléocène au dessus de celui de la nappe du Maastrichtien.

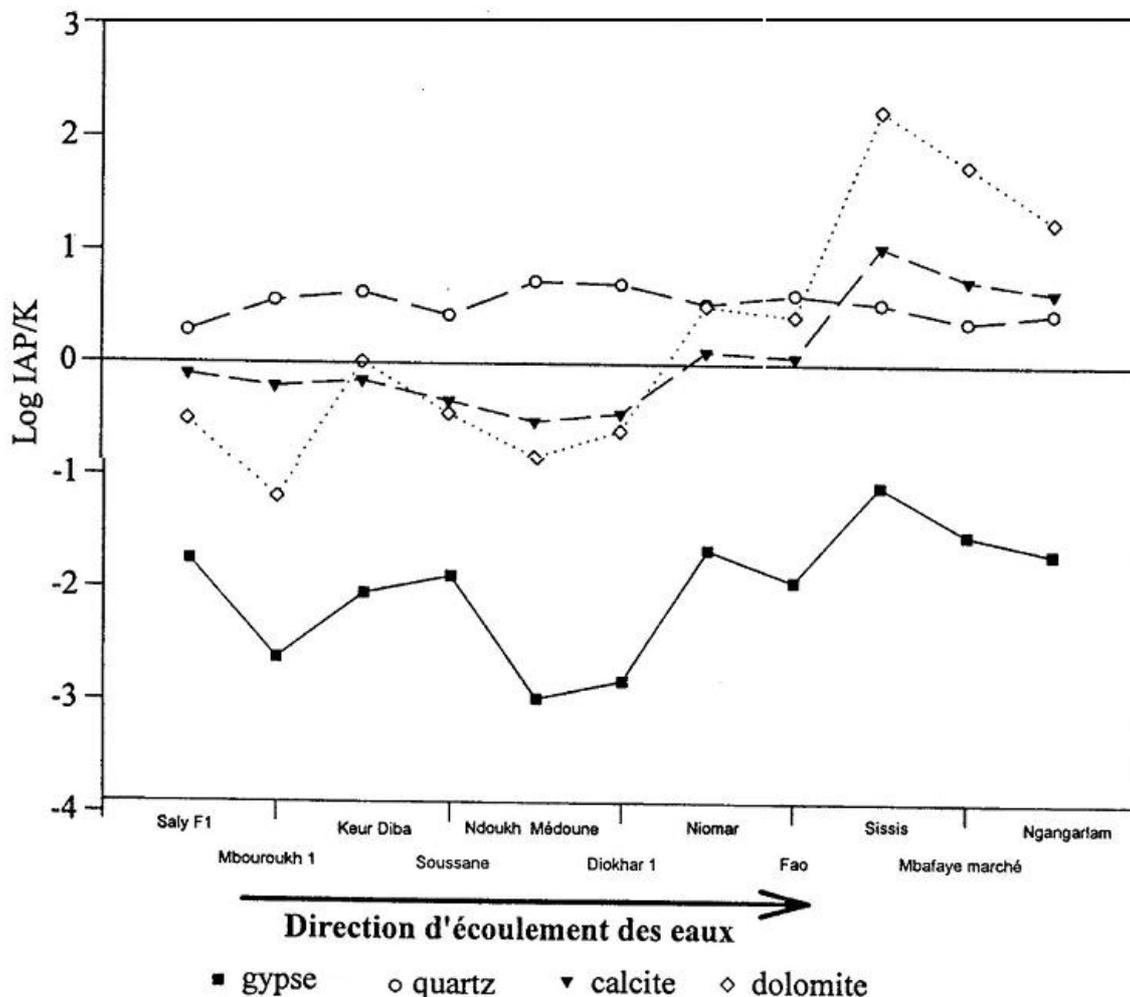


Figure 7 : Variation des indices de saturation dans le sens de l'écoulement

Cette nappe est incluse dans une entité qui est en contact avec les fronts saumâtres du delta du Saloum à l'Est. Toute surexploitation pourrait augmenter la minéralisation des eaux de la nappe concernée et les rendre inutilisables.

7 - Conclusion

Cette étude a permis de réactualiser les données des nappes du Maastrichtien et du Paléocène dans un contexte de péjoration climatique qui limite leur recharge. Cependant la baisse des exploitations au niveau de la nappe du Paléocène a favorisé

La qualité de cette ressource disponible dans la région de Mbour est menacée par les fortes teneurs en fluor et la salinité. La protection de ces nappes nécessite une gestion rigoureuse.

8 - Bibliographie

- [1] Travi Y., Sarr R., Faye A., Gaye C. B. Etude chimique de l'évolution du front salé de la nappe paléocène de la région de Mbour. Rapport inédit, CRDI, Dakar (1983) 3A-82-47 13, 25 p.

- [2] Pitaud G. Etude hydrogéologique des calcaires paléocènes de Mbour. Evaluation des ressources en eau et des possibilités d'exploitation. Direction des études hydrauliques - Ministère de l'équipement. Rapport de synthèse 01-80-HG-DEH, Dakar (1980), 125 p.
- [3] Sarr R. Etude géologique et hydrogéologique de la région de Joal-Fadiouth (Sénégal). Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Dakar (1982), 166 p.
- [4] Faye A. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du horst de Ndiass et de ses environs (Sénégal). Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Dakar (1983), 160 p.
- [5] Travi Y. Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal. Hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines. Sciences géologiques Mémoire Sc. Géol., Univ. Louis Pasteur et du CNRS, (1993), n°95, 155 p.
- [6] Ba M. I. Contribution à l'étude hydrogéologique du système aquifère de la région de Mbour (Sénégal). Mémoire de DEA, Univ Cheikh Anta DIOP, Dakar (1999), 68 p.
- [7] Tine A. K. Contribution à l'étude hydrochimique des nappes maestrichtienne et paléocène de la région de Mbour. Mémoire de DEA, Univ Cheikh Anta DIOP, Dakar (1999), 86 p.
- [8] Bellion Y.J.C. Histoire géodynamique post-paléozoïque de l'Afrique de l'Ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudéni, Tullemmeden, Tchad). Thèse ès Sciences, Univ. d'Avignon et des pays du Vaucluse (1987), 296 p.
- [9] Sarr R. Etude biostratigraphique et paléoenvironnementale des séries d'âge Crétacé Terminal à Eocène moyen du Sénégal occidental. Systématique et migration des ostracodes. Thèse Docteur ès Sciences, Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar (1995), 339 p.
- [10] Bellion Y.J.C. et Guiraud R. L'imagerie landsat et l'étude de la fracturation des bassins sédimentaires sahéliens : l'exemple du centre ouest du Sénégal. Rev. Photo-interprétation, Paris, France. 1979 ; 79-5, 1-8.
- [11] B.R.G.M. Etude hydrogéologique pour le renforcement de l'alimentation en eau potable de la petite côte. République du Sénégal, S.O.N.E.E.S., Rapport, Dakar (1988), 67 p.
- [12] Arlab. Alimentation en eau des I.C.S, Etude complémentaire du Maestrichtien. Rapport final n°183/83, Ministère de l'Hydraulique. Direction des Etudes Hydrauliques (1983).
- [13] Mudry J. et Travi Y. Sécheresse sahélienne et action anthropique : deux facteurs conjugués de dégradation quantitative et qualitative des ressources en eau de l'Afrique de l'Ouest. Enregistreurs et Indicateurs de l'Evolution de l'Environnement de la zone tropicale. Publication CEGET/CNRS, Presse universitaires de Bo.