



Sud Sciences & Technologies

Semestriel N°17 / juin 2009

Etude de la pollution des eaux par les intrants agricoles : cas de cinq zones d'agriculture intensive du Burkina Faso

Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des sables du paléocène et de l'éocène dans la région du Gorgol (Mauritanie)

Amélioration de la productivité de l'igname par l'utilisation d'urine humaine comme fertilisant

Modèle Multi-Agents pour la simulation de la dynamique de carbone à l'échelle du terroir villageois

Echangeur de chaleur air/terre pour la climatisation passive de locaux : étude de cas réalisée au Burkina Faso

Valorisation de résidus de biomasse en charbons actifs - Tests d'efficacité sur des bactéries et dérivés de pesticides

www.2ie-edu.org

Caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère des sables du Paléocène et de l'Eocène dans la région du Gorgol (Mauritanie)

Hydrochemical characteristics of the Eocene and Paleocene aquifer sands in the Gorgol area (Mauritanie)

Essouli O. F.;
Gladima-Siby S. A.;
Fall T. O.;
Faye A.

*Laboratoire d'Hydrologie et Hydrochimie, Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. BP : 5005 Dakar Fann (Dakar, SENEGAL).
Tél. : (+221) 77556 90 41 / 338251009
Fax : (+221) 338246318
E-mail : abfaye@orange.sn*

Résumé

L'approvisionnement en eau des populations de la région du Gorgol est assuré par les eaux souterraines et les eaux du fleuve Sénégal. Depuis 1996, aucune étude hydrochimique significative des eaux souterraines n'a été entreprise dans la région du Gorgol. C'est pourquoi, cette étude s'est fixée pour objectif principal de faire l'état de la qualité chimique des eaux de l'aquifère des sables du Paléocène et de l'Eocène, et de préciser au-delà de cet objectif, l'origine de la minéralisation dans les eaux souterraines. Cette étude a montré que les eaux sont faiblement à moyennement minéralisées avec des valeurs de conductivités électriques variant de 78 à 1158 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Elle a également permis d'individualiser trois types de faciès chimiques : $\text{Cl}^- \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$, $\text{HCO}_3^- \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ et $\text{HCO}_3^- \text{Na}^+$. Les relations entre les différents éléments majeurs et la minéralisation totale, ont montré que les phénomènes de dissolution des minéraux argileux, sont mineurs dans l'acquisition de la charge saline des eaux. Cependant, la minéralisation des eaux souterraines semblerait être principalement contrôlée par les processus d'échanges de base, les phénomènes évaporatoires et de pollution anthropique. Sur le plan qualitatif, la nappe est menacée par la pollution anthropique due aux nitrates résultant de la transformation des puits abandonnés en fosses septiques et en dépôts d'ordures ménagères. Cette pollution est déjà ressentie dans certains puits villageois qui ont révélé des teneurs en nitrates supérieures à la concentration maximale admissible de 50 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ fixée par l'OMS pour l'eau de boisson.

Mots clés : aquifère paléocène et eocène, région du Gorgol, hydrochimie, pollution.

Abstract

Provision in water of the population of Gorgol region, is assured by the ground waters and the waters of Senegal river. Since 1996, no hydrochemical study of that water hasn't been undertaken in that region. It is why, the principal objective of this study is to make the state of the chemical quality of that waters, from the paleocene and eocene sands aquifer. Beyond the main objective, specify the origin of the mineralization encounter in the ground water.

The hydrochemical study showed that water is slightly mineral-bearing with electric values of conductivities ranging between 78 and 1158 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. It also made it possible to individualize three types of chemical facies: $\text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$, $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ et $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$. The relations between the various majors elements and total mineralization showed that the phenomena of dissolution are slightly implied in the acquisition of the load salt works of water. The mineralization of groundwater seems to be mainly controlled by the processes of basic exchanges, the phenomena evaporating and anthropic pollution.

On the qualitative level, water of this aquifer is threatened by anthropic pollution due to nitrates resulting from the transformation of the wells given up into septic tanks and domestic garbage dumps. This pollution is already being felt in some traditional wells that have revealed higher nitrates above the maximum allowable concentration of 50 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ set for drinking water by the WHO.

Key words: paleocene and eocene aquifer, Gorgol area, hydrochimie, pollution.

1. Introduction

Dans les régions semi-arides et arides comme la Mauritanie, les eaux souterraines sont soumises aux effets de la dégradation de la qualité chimique du au manque d'assainissement des rejets solides et liquides issus des activités anthropiques et aux conditions climatiques défavorables. La pollution est un facteur contraignant dans la gestion des ressources en eau, principalement les ressources en eau souterraine, pour l'alimentation des populations des établissements humains en général et des petits centres urbains comme Kaédi en particulier. Le problème est ressenti dans la partie sud de la Mauritanie, caractérisée par la forte concentration de la population et l'importance des activités agropastorales. Dans la région du Gorgol particulièrement, l'approvisionnement en eau des populations est assuré par les eaux souterraines (nappe superficielle de la vallée du fleuve Sénégal et nappe des sables du Paléocène et de l'Eocène) ainsi que par les eaux du fleuve Sénégal.

Depuis 1996, aucune étude hydrochimique significative des eaux souterraines n'a été entreprise dans la région du Gorgol. C'est dans cette optique

que le Centre National des Ressources en Eau (CNRE) de la Mauritanie a inclus un volet hydrochimique dans le cadre du projet d'amélioration de la connaissance des localités et des ouvrages hydrauliques dans la région du Gorgol.

La présente étude, qui entre dans ce cadre, s'est fixée pour objectif principal de faire l'état de la qualité chimique des eaux de l'aquifère des sables du Paléocène et de l'Eocène dans cette partie de la Mauritanie et de préciser par delà cet objectif l'origine de la minéralisation dans les eaux souterraines.

2. Matériels et méthodes

2.1 Caractéristiques générales de la région du Gorgol

La région du Gorgol dont la capitale Kaédi (437 km de Nouakchott), est située entre les latitudes 15°35' et 16°30' Nord et les longitudes 12°56' et 13°44' Ouest. Elle est limitée au Sud-Est par la Région de Guidimakha, au Nord-Ouest et au Nord par la Région de Brakna, à l'Ouest par le fleuve Sénégal et à l'Est par la Région d'Assaba (Figure 1).

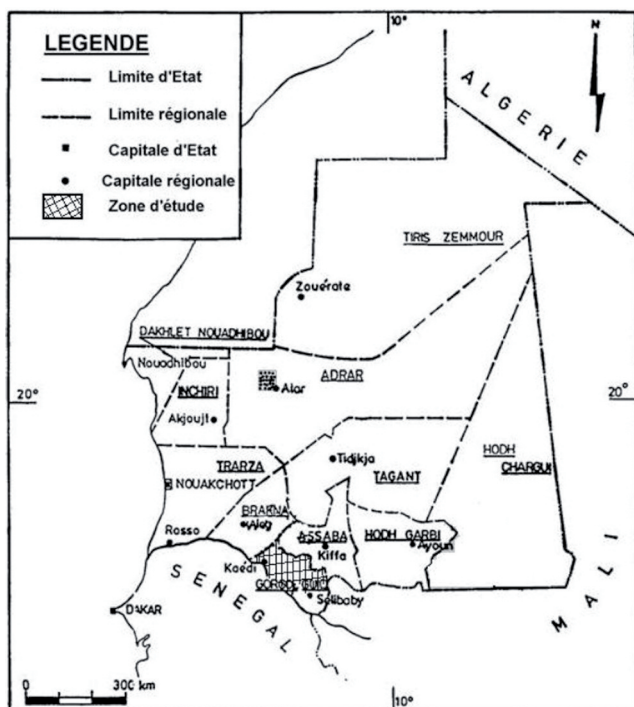


Figure 1 : Carte de situation de la zone d'étude

Le climat y est de type soudano saharien aride avec des températures moyennes annuelles de l'air de 33°C. La variabilité interannuelle des précipitations constitue une caractéristique fondamentale particulière de cette région. La moyenne mensuelle interannuelle des précipitations pour la période de 1983 à 2000 est de 360 mm, à la station de Kaédi. Malgré l'irrégularité interannuelle et la faiblesse des pluies, la région de Gorgol est l'une des rares en Mauritanie à avoir un réseau hydrographique assez développé. Les principaux cours d'eau sont : le fleuve Sénégal, le Gorgol, le Savalel et le Garfa (Michel, 1956).

Les formations géologiques de la Mauritanie sont caractérisées par plusieurs ensembles lithostratigraphiques et structuraux (Carité, 1989 ; Caruba et Dars, 1991) (Figure 2) :

1. un socle cristallin représenté par la dorsale Réguibat, couvrant tout le nord et plongeant sous des bassins anciens stables et peu profonds (bassin de Tindouf). Cette dorsale présente des séries très anciennes du Précambrien, érodées et granitisées. Les séries de la Kedia Idjil et de Mhaoudat présentées comme des anomalies, à cheval entre les formations du bassin de Taoudenni et celles de la dorsale Réguibat, sont moins métamorphisées et

contiennent des quartzites riches en hématite ;

2. la chaîne hercynienne des Mauritanides, formée de matériel cristallin et métamorphique, est affectée par des mouvements tectoniques latéraux importants ;

3. le bassin paléozoïque et secondaire de Taoudenni à l'est, dont la partie occidentale présente des formations inclinées vers l'est. Généralement les formations de ce bassin sont masquées par les recouvrements dunaires qui empêchent une meilleure connaissance de leurs compositions et leurs structures ;

4. le bassin de Tindouf, situé à l'extrême nord de la Mauritanie, est constitué par un remplissage sédimentaire dont les dépôts sont progressivement plus anciens en se dirigeant vers l'ouest. Il forme un vaste synclinal est - ouest ;

5. le bassin côtier secondaire et tertiaire Sénégal - Mauritanien orienté vers l'Atlantique s'épaissit vers l'ouest. On y distingue les formations du Maastrichtien (Secondaire) de l'Eocène et du Continental Terminal (Tertiaire) du Tafaritien et du Nouakchottien (Quaternaire).

La région du Gorgol appartient au bassin côtier secondaire et tertiaire Sénégal - Mauritanien. Les formations géologiques s'échelonnent du Maastrichtien au Quaternaire avec des formations détritiques composées principalement de sables fins à grossiers avec des intercalations d'argiles (Bellion, 1987). Il s'agit des formations transgressives et régressives qui caractérisent le bassin sédimentaire Sénégal - Mauritanien. Ces formations sont en contact soit latéralement ou soit verticalement avec les alluvions du fleuve Sénégal.

L'hydrogéologie de la Mauritanie comprend deux types d'aquifères (Burgeap, 1983) :

- les aquifères discontinus qui sont contenus sur des terrains de socle granitique ou métamorphique et dans des formations gréseuses et calcaires pélitiques essentiellement fracturées. Les débits obtenus sont généralement faibles ;

- les aquifères continus ou généralisés situés dans

des faciès poreux du bassin sédimentaire côtier, dans la couverture dunaire récente de l'Aouker et de l'Assaba, dans des alluvions quaternaires, dans les grès d'Aïoun ainsi que dans le Continental Intercalaire du bassin de Taoudéni. Ces aquifères produisent des débits soutenus, et les eaux sont souvent de bonne qualité.

L'aquifère du Paléocène et de l'Eocène de la région du Gorgol, objet de cette étude, est un aquifère dit continu. Il est constitué de sables et de grès tendres du Paléocène et de l'Eocène à faciès continental. Sa limite supérieure est marquée par l'apparition d'une couche de faible épaisseur de sables et de graviers du Quaternaire ancien. Par contre sa limite inférieure est constituée par une épaisse couche d'argiles bariolées du Maastrichtien. Cet

aquifère est libre en certains endroits et semi-captive dans d'autres car surmontée par une couche imperméable d'argiles. Il s'étend sur des centaines de kilomètres dans la région du Gorgol. A partir des données des forages d'eau, on a pu constater que cet aquifère se termine à l'Est et au Nord par un biseau sec et en contact au Sud avec les alluvions du fleuve Sénégal. Les paramètres hydrodynamiques sont variables : les perméabilités varient de $0,118$ à $4.10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$; les valeurs de transmissivités sont comprises entre $1,10$ et $19,50.10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$ et les débits d'exploitation sont compris entre 3 et $50 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ (Audibert, 1960 in IWACO, 1996).

Les données piézométriques de la campagne de 2004 n'ont pas permis de dresser une carte

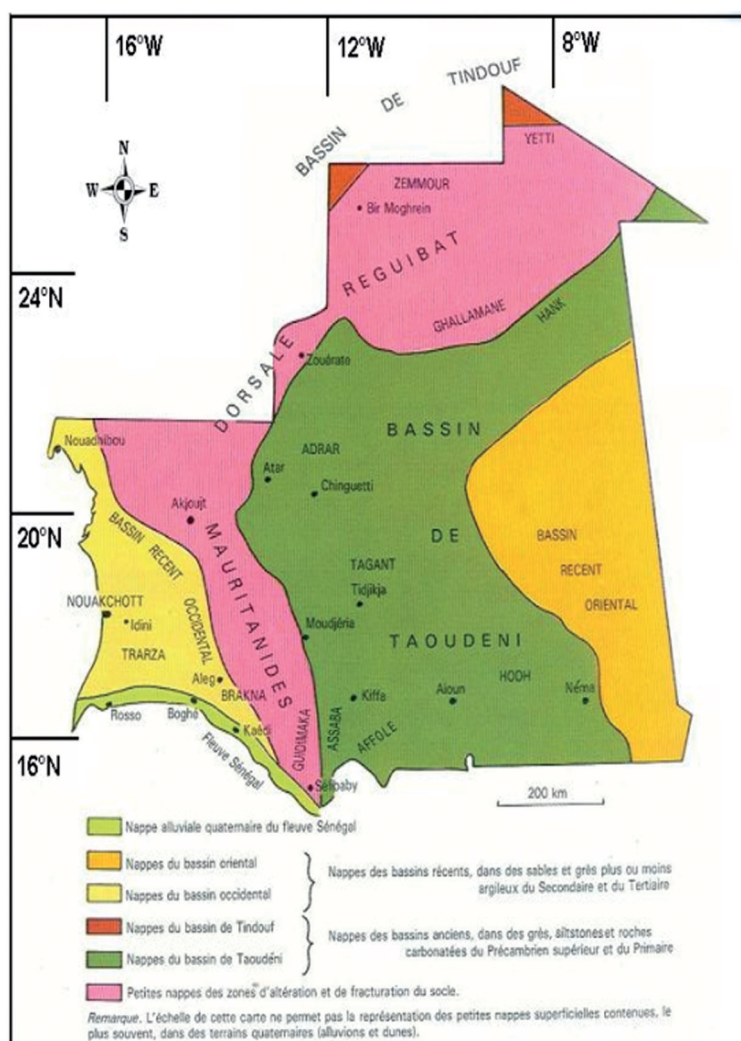


Figure 2 : Carte géologique et hydrogéologique de la Mauritanie (Carité, 1989)

piézométrique de la zone d'étude. Cependant, les travaux antérieurs de la Direction de l'Hydraulique et de Diagana (1994), révèlent que l'écoulement se fait du fleuve vers la nappe et du nord vers le sud. On note également une zone de recharge au droit de l'oued Garfa et l'existence d'une dépression à Rindiao à l'ouest de Kaédi. L'alimentation de la nappe à partir du fleuve a été confirmée par des essais de pompage.

2.2 Prélèvements et analyses

Une campagne de mesures et de prélèvements, a été effectuée sur le terrain ou au laboratoire en juin 2004 sur un réseau de 30 points d'eau dont 2 forages et 28 puits villageois (Figure 3). Au niveau de chaque point d'eau échantillonné, le niveau statique, le pH, la température, la conductivité électrique, et l'alcalinité de l'eau ont été mesurés sur le terrain (in-situ).

Les analyses chimiques des ions Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} des eaux échantillonnées, ont été effectuées par chromatographie ionique (Dionex) et celles des ions carbonates (CO_3^{2-}) et bicarbonates (HCO_3^-) par titrimétrie au laboratoire d'Hydrochimie du Département de Géologie de la Faculté des sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal) (Tableau 1).

Le calcul de la balance ionique qui est l'écart relatif entre la somme des cations et la somme des anions permet de vérifier la précision des méthodes analytiques mises en œuvre et la validité des déterminations chimiques (Kirchmer, 1983 ; Fetter, 1994). Si l'écart relatif est inférieur à 5 %, les analyses peuvent être considérées comme bonnes. Lorsque sa valeur est comprise entre 5 % et 10 %, les analyses peuvent à la rigueur être retenues. Au-delà de 10 %, les analyses doivent être rejetées.

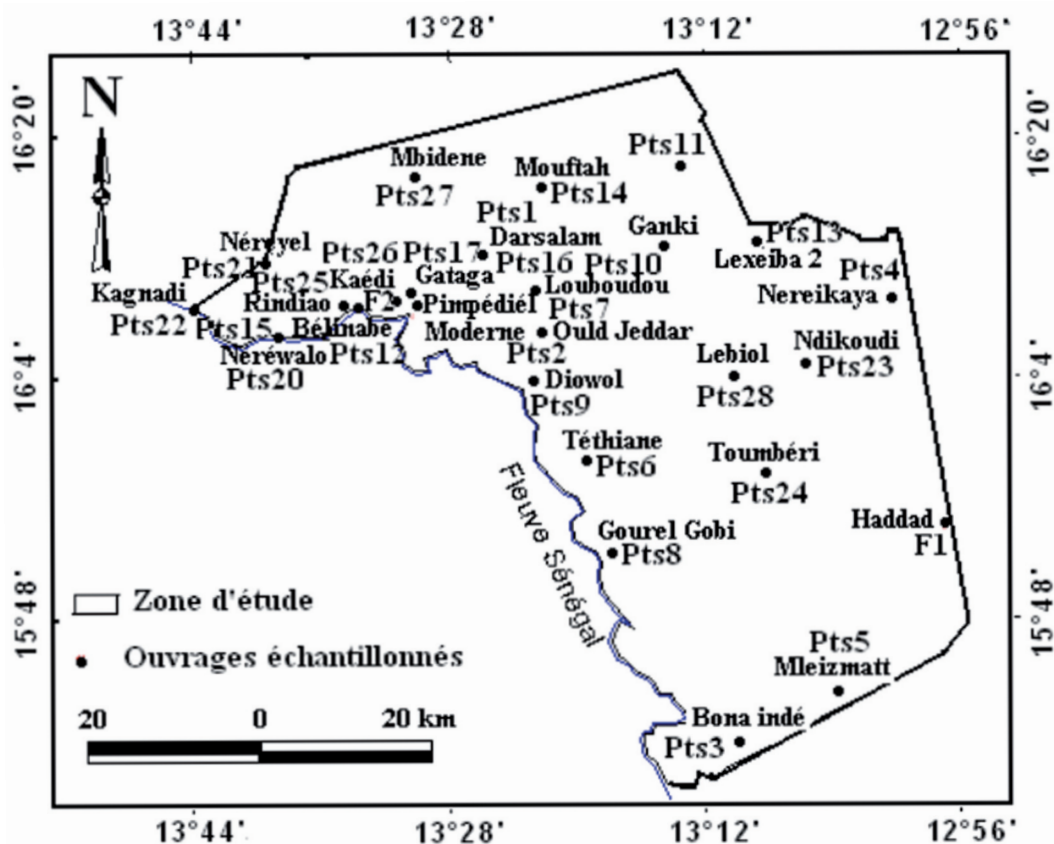


Figure 3 : Carte de localisation des points d'eau prélevés

Tableau 1 : Concentrations ioniques et indices de saturation dans les eaux souterraines du Gorgol (Fall, 2006).

n°	Ouvrages	Localités	PARAMETRES PHYSIQUES			CATIONS (mg.l ⁻¹)				ANIONS (mg.l ⁻¹)				
			T°C	pH	CE (µS.cm ⁻¹)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻
1	Pts-01	Darsalam	28,00	7,30	260,00	23,20	3,91	20,70	10,16	131,15	7,12	6,22	7,48	0,14
2	Pts-02	Louboudou	30,00	7,00	86,50	6,95	7,49	10,78	5,45	54,90	1,29	2,17	2,07	0,10
3	F-01	Haddad	32,00	7,30	159,00	12,28	4,70	9,55	3,83	45,75	5,00	11,45	23,38	0,10
4	Pts-03	Bonaindé	32,00	7,50	84,00	2,87	3,34	7,62	2,47	42,70	0,73	2,16	7,77	0,11
5	Pts-04	Nereikaya	34,00	7,10	424,00	7,99	22,77	36,15	17,75	45,75	13,66	25,71	163,00	0,34
6	Pts-05	Mleizmatt	28,00	7,30	248,00	16,79	5,61	22,21	1,82	54,90	6,00	11,16	16,30	0,17
7	Pts-06	Téthiane	33,00	8,10	383,00	29,63	3,30	38,07	9,79	64,05	11,14	34,69	106,91	0,48
8	Pts-07	Ouidjeddar	33,00	8,00	480,00	49,03	4,61	38,15	6,44	45,75	57,74	40,88	111,29	0,29
9	Pts-08	Gourelgobi	31,00	7,10	80,00	4,03	2,16	9,58	1,70	45,75	1,63	2,63	2,58	0,11
10	Pts-09	Diowol	33,00	7,60	560,00	111,33	7,02	70,36	36,74	122,00	46,50	78,50	365,39	1,30
11	Pts-10	Weinatt	31,00	7,00	305,00	19,95	7,03	57,03	20,65	24,40	5,13	52,99	240,63	0,00
12	Pts-11	Ganki	33,00	7,10	80,00	18,34	2,65	17,35	9,36	39,65	10,27	21,29	66,30	0,17
13	Pts-12	Lexeiba	36,00	6,90	381,00	21,59	1,19	22,83	9,78	97,60	10,79	21,97	48,33	0,35
14	Pts-14	Mouftah	33,00	7,10	78,00	3,83	2,07	5,16	1,52	36,60	0,65	3,19	0,00	0,24
15	Pts-15	Rindiao	31,00	7,50	581,00	20,11	28,08	45,38	27,60	48,80	40,66	38,19	172,87	0,42
16	Pts-16	Belimabé	32,00	7,10	671,00	24,82	32,02	50,52	19,42	9,15	4,19	74,70	252,85	0,39
17	Pts-17	Gataga	31,00	7,10	1158,00	27,03	44,40	88,24	45,88	143,35	26,19	142,47	194,73	1,27
18	Pts-18	Kilinkharé	33,00	7,50	165,00	7,81	3,84	0,00	6,78	30,50	4,80	14,62	10,81	0,08
19	Pts-19	Moderne	33,00	7,20	1114,00	12,33	1,64	5,71	4,03	42,70	1,87	3,90	5,59	0,10
20	Pts-20	Néréwalo	35,50	7,10	92,50	50,92	22,89	28,62	22,39	140,30	51,56	46,82	51,84	0,00
21	Pts-21	Néréyel	36,00	7,20	610,00	25,72	1,42	60,08	7,09	204,35	25,00	25,07	5,18	1,42
22	F-02	Pimpédiel	32,00	7,10	306,00	19,12	5,05	19,20	0,20	183,33	5,00	44,09	0,20	0,33
23	Pts-22	Kagnadi	34,00	7,60	290,00	12,54	3,89	7,20	7,70	170,09	3,25	7,54	0,80	0,86
24	Pts-23	Ndikouidi	35,00	7,10	565,00	10,66	2,44	24,00	9,70	200,54	2,11	20,76	10,50	1,05
25	Pts-24	Toumbéri	31,00	8,30	435,00	7,21	4,76	22,40	8,30	217,77	22,00	28,65	17,36	0,24
26	Pts-25	Kaédi	33,00	7,80	945,00	37,55	51,13	11,20	13,40	141,41	5,00	14,18	16,00	0,49
27	Pts-26	kaédi2	33,00	7,60	353,00	32,66	12,32	19,30	6,30	144,50	5,00	23,11	11,21	0,12
28	Pts-27	Mbridane	34,00	7,10	123,00	39,11	19,65	7,60	11,90	232,32	4,07	22,31	28,00	0,48
29	Pts-28	Lebiol	33,00	7,40	166,00	9,80	8,09	7,20	7,60	108,08	1,12	19,43	36,00	0,25
30	Pts-29	Kaédi3	35,00	6,90	99,00	8,32	12,88	24,05	4,40	110,75	10,37	49,88	45,00	0,10

Deux causes d'erreur peuvent, dans ce cas, être évoquées : les méthodes analytiques sont peu précises ou un ou plusieurs éléments en solution n'ont pas été dosés.

Un contrôle systématique de la balance ionique a été réalisé au laboratoire pour l'ensemble des analyses. Les erreurs sont inférieures ou égales à 5 % ; ce qui témoigne d'une bonne qualité des mesures. En effet, seul le point d'eau (Pts-13) très pollué, avec une conductivité électrique égale à $4110 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a été écarté lors du traitement des données chimiques.

3. Résultats et interprétations

Les analyses chimiques montrent que les eaux souterraines sont faiblement à moyennement minéralisées avec des valeurs de conductivités électriques oscillant entre 78 et $1158 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Le diagramme de Piper (Figure 4) montre que ces eaux souterraines sont caractérisées généralement par des faciès chimiques où dominent les bicarbonates, les chlorures, le calcium, le sodium et le magnésium. Dans le détail, ces eaux se répartissent entre les pôles suivants :

1. dans le losange quadrangulaire, les eaux souterraines se répartissent en trois grandes familles chimiques :

a. les eaux chlorurées calciques et magnésiennes (F-01, Pts-04, Pts-06, Pts-07, Pts-09, Pts-10, Pts-11, Pts-12, Pts-13, Pts-15, Pts-16, Pts-17, Pts-18 et Pts-29). Ces ouvrages sont localisés le long du fleuve Sénégal, mais également au sud-est de la région du Gorgol ;

b. les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes (Pts-01, Pts-02, Pts-03, Pts-05, Pts-08, Pts-14, Pts-19, Pts-20, F-02, Pts-21, Pts-22, Pts-23, Pts-24, Pts-25 et Pts-28). Ces ouvrages sont situés à l'ouest et sur une bande allant du nord au sud de la région, où la description géologique faite par Baud (1936), avait révélé la présence des plaques de calcaires ;

c. les eaux bicarbonatées sodiques et potassiques (Pts-26 et Pts-27). Ces deux points d'eau ont une minéralisation moyennement élevée ;

2. dans le diagramme triangulaire des anions, les points d'eaux montrent une prédominance des points à évolution vers le pôle bicarbonaté (55 %), des points qui sont décalés vers le pôle chloruré nitraté (35 %) et des points d'eau à évolution vers le pôle à faciès mixtes (aucune prédominance d'un anion sur l'autre) (10 %) ;

3. dans le diagramme triangulaire des cations, les points d'eaux se répartissent en quatre groupes : le premier à évolution vers le pôle sodique et potassique (Pts-26 et Pts-27), le deuxième vers le pôle calcique (19 %), le troisième vers le pôle magnésien (Pts-18) et le quatrième vers la zone centrale mixte de non prédominance des différents cations (71 %).

Pour discuter de l'origine et des processus de minéralisation des eaux souterraines, des corrélations ont été établies entre la concentration de chaque élément et la minéralisation totale (Figure 5). Celles-ci ne montrent pas de bonnes corrélations et indiqueraient que la minéralisation totale des eaux souterraines est due en grande partie par les phénomènes de dissolution des minéraux argileux présents dans les formations constitutives de l'aquifère. En effet, d'autres phénomènes comme l'évaporation, les échanges de base cationique et la pollution anthropique interviendraient dans l'acquisition de la charge saline.

Le programme WateqF (Truesdell et Jones (1974) ; Plummer et al. (1976)) a été utilisé pour calculer les indices de saturation des eaux souterraines vis-à-vis des phases minérales présentes dans le réservoir aquifère.

Généralement, les eaux souterraines sont sous-saturées (indice de saturation, $IS < 0$) vis-à-vis du gypse et de l'anhydrite et elles sont saturées ($-1 < IS < +1$) à sous saturées vis-à-vis de l'aragonite, calcite, dolomite et magnésite (Figure 6). Ce qui suppose, à priori, une possibilité de dissolution des deux premiers minéraux.

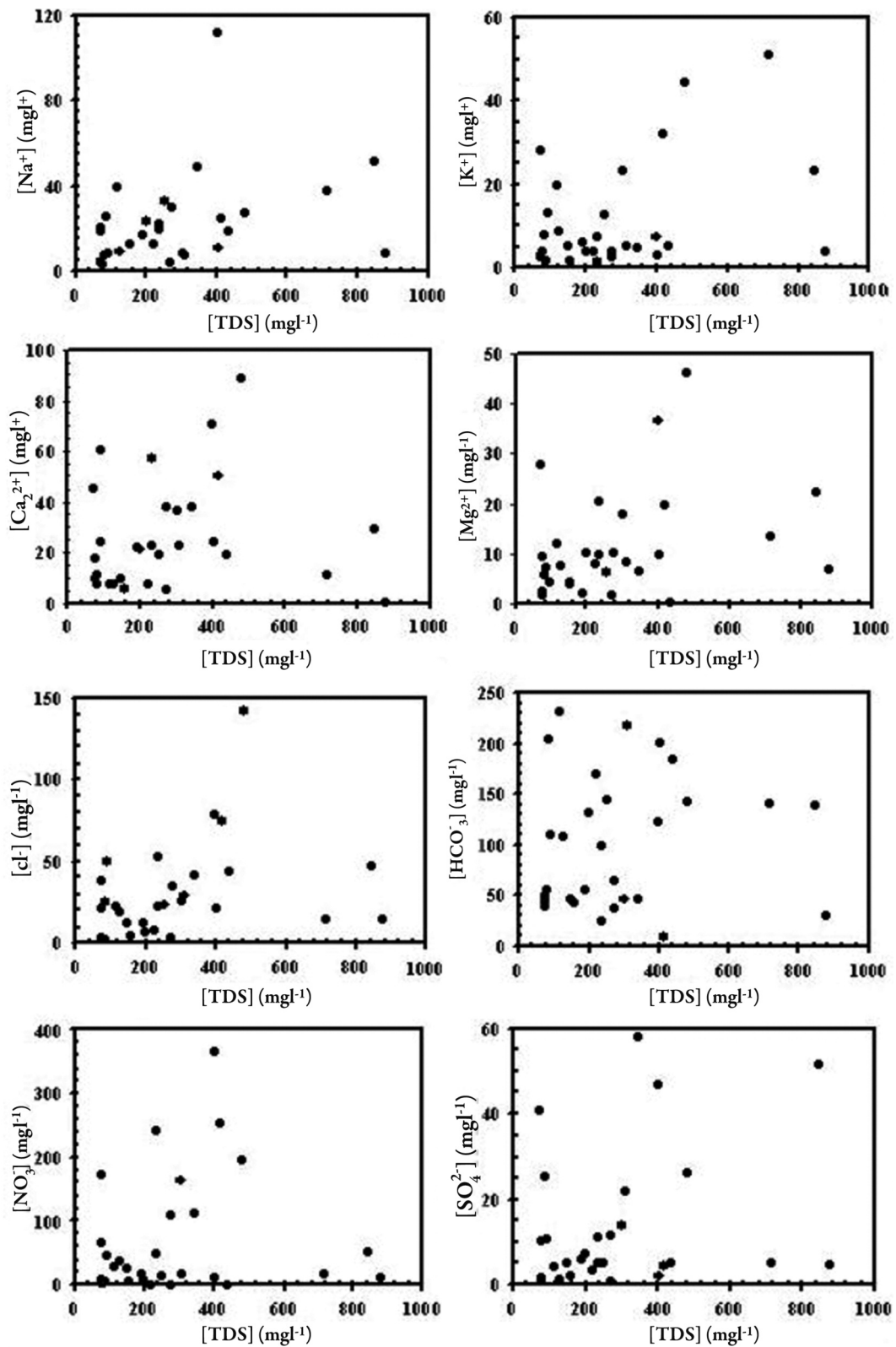


Figure. 4 : Diagramme de Piper des eaux du Paléocène et de l'Eocène (Fall, 2006)

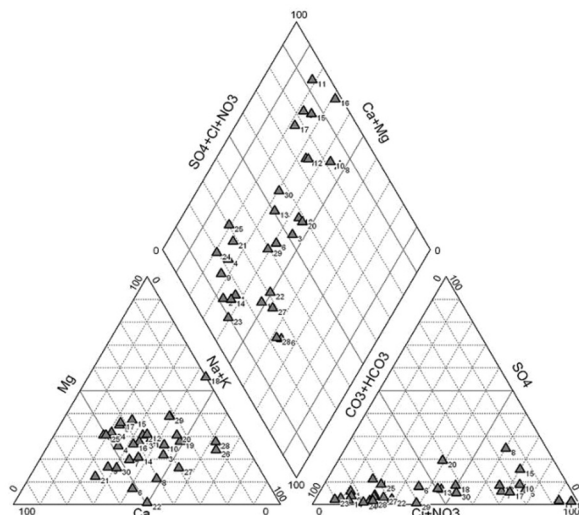


Figure 5 : Relation entre les éléments majeurs et le TDS des eaux souterraines (Fall, 2006)

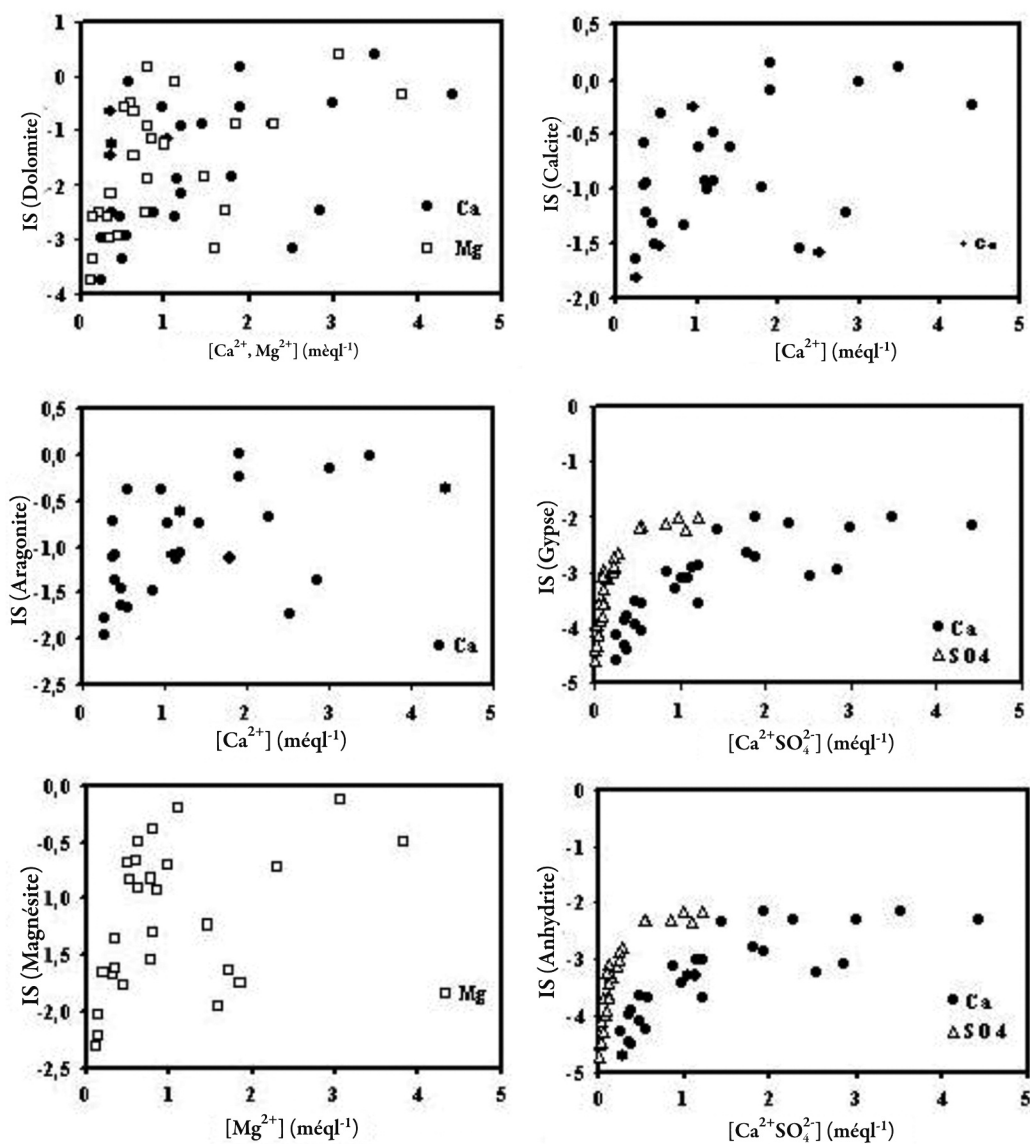


Figure 6 : Evolution des indices de saturation (IS) en fonction des principaux éléments constitutifs du minéral concerné.

De nombreux points analytiques se positionnent au-dessous de la droite de mise en solution du gypse (Figure 7a), traduisant un enrichissement en calcium qui peut être attribué à une dissolution de

la calcite et/ou à un échange de base (Ca/Mg) sur les minéraux argileux, dont l'intervention est suggérée par un relatif excès de Ca^{2+} par rapport Mg^{2+} pour la plupart des points (Figure. 7b).

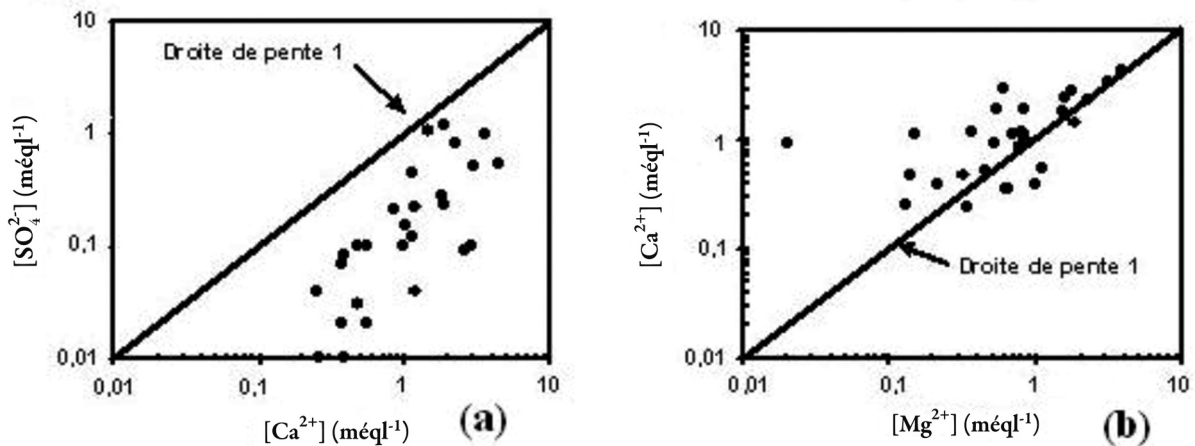


Figure 7 : Disposition des échantillons par rapport à la droite de mise en solution des phases minérales présentes dans le réservoir aquifère

La relation $[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})]/[(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - \text{Cl}^-]$ (Figure 8) met en évidence les échanges de base qui caractérisent les différents réservoirs aquifères (Garcia et al., 2001). Cette relation met l'accent uniquement sur les réactions pouvant exister entre les minéraux argileux et la solution, en se débarrassant des ions issus

éventuellement d'autres réactions de dissolution des minéraux carbonatés et évaporitiques. Dans le cas d'absence de ces réactions, tous les points représentatifs des échantillons d'eau se placeront près du point d'origine (McLean et al., 2000). Quatre zones distinctes sont énumérées :

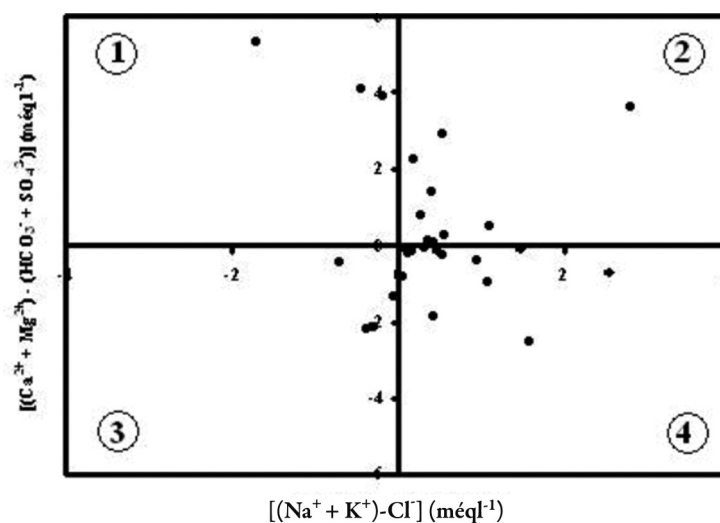


Figure 8 : Diagramme binaire de mise en évidence des échanges de base caractérisant l'aquifère du Paléocène et de l'Eocène (Fall, 2006)

- les zones 1 et 2, où la différence entre les ions (Ca^{2+} et Mg^{2+}) et les ions (HCO_3^- et SO_4^{2-}) est positive, montrent la dominance du processus d'échange inverse de bases. Les rapports négatifs sont dus à la rétention des alcalins au niveau des argiles et les rapports positifs à un apport d'ions Na^+ et K^+ . Cet apport reste cependant faible à cause des fortes perméabilités ;

- les zones 3 et 4, où la différence entre les ions (Ca^{2+} et Mg^{2+}) et les ions (HCO_3^- et SO_4^{2-}) est négative, indique la dominance du processus d'échange de base. Dans ces zones, on a libération des ions Na^+ et K^+ et une rétention des alcalino-

terreux au niveau des argiles.

En ce qui concerne l'étude de la potabilité des eaux souterraines, le tableau 2 présente les concentrations maximales admissibles définies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1993) pour l'eau potable et les teneurs chimiques (minimum et maximum) dans les eaux de l'aquifère du Paléocène et de l'Eocène. L'analyse du tableau 2, permet de dire que la bonne potabilité des eaux de la nappe des sables du Paléocène et de l'Eocène dans la région du Gorgol, est remise en cause par la présence des nitrates dans la majorité des ouvrages hydrauliques échantillonnés.

Tableau 2 : Normes de potabilité de l'OMS (1993) et paramètres physico-chimiques des eaux souterraines (Fall, 2006)

Paramètres et substances chimiques	Concentrations maximales admissibles de l'OMS	Paramètres physico-chimiques dans les eaux de l'aquifère des sables du Paléocène et de l'Eocène (juin 2004)	
		Minimum	Maximum
T (°C)	25	28,00	36,90
pH	9,60	6,9	8,30
CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	2000	78,00	1158,00
Cl (mg.l^{-1})	200	2,16	142,47
SO_4^{2-} (mg.l^{-1})	250	0,65	57,74
NO_3^- (mg.l^{-1})	50	0,00	365,39
Mg^{2+} (mg.l^{-1})	50	0,20	45,88
Na^+ (mg.l^{-1})	100	1,19	111,33
Ca^{2+} (mg.l^{-1})	100	0,00	88,24
F (mg.l^{-1})	1,50	0,00	1,42

La présence, dans certains puits, de teneurs élevées en nitrates dépassant la concentration maximale admissible de 50 mg.l^{-1} fixée pour l'eau de boisson par l'Organisation Mondiale de la Santé, constitue un indice de pollution et par conséquent, un risque pour la santé des nourrissons (moins de 6 mois). Elle peut causer des troubles circulatoires : méthémoglobinémie ou bleu baby syndrome (Rajagopal et Graham, 1989), comme elle peut provoquer le cancer de l'estomac (El Tayeb El

Saddig, 1993). Les nitrates peuvent aussi provoquer l'hypertension et sont les précurseurs de nitrosamines cancérigènes (Castany, 1982). Il est aussi important de faire savoir que le fluor est aussi présent sur la presque totalité des points d'eau échantillonnés, mais à des teneurs inférieures à la valeur limite de 1,50 mg.l^{-1} fixée pour l'eau de boisson par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1993).

4. Conclusion

Les données hydrochimiques des eaux des puits villageois et des forages collectées dans la région du Gorgol, ont été utilisées pour déterminer les processus chimiques à l'origine de cette minéralisation et évaluer la qualité chimique des eaux souterraines.

L'étude hydrochimique a montré que les eaux sont faiblement à moyennement minéralisées. Le diagramme de Piper fait ressortir trois types de faciès chimiques : chloruré calcique et magnésien, bicarbonaté calcique et magnésien et bicarbonaté sodique et potassique. Les relations établies entre les ions majeurs et la minéralisation totale, montrent que les phénomènes de dissolution des minéraux argileux, sont mineurs dans l'acquisition

de la charge saline des eaux souterraines. Cependant, la minéralisation des eaux souterraines serait contrôlée par les processus d'échanges de base, la concentration par l'évaporation et la pollution anthropique.

Du point de vue qualitatif, les eaux souterraines sont menacées par la pollution anthropique due aux nitrates résultant de la transformation des puits abandonnés en fosses septiques et en dépotoirs d'ordures ménagères. Cette pollution est déjà ressentie sur certains points d'eau qui ont révélé des teneurs en nitrates supérieures à la concentration maximale admissible de 50 mg.l⁻¹ définie par l'OMS pour l'eau de boisson.

Bibliographie

- [1] Bellion Y. J. C. (1987). *Histoire post-paléozoïque de l'Afrique de l'ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudeni, Iulienuden, Tchad)*. Thèse ès Sciences, Univ. d'Avignon et des pays du Vaucluse, France, 269 p.
- [2] Burgeap (1983). *Etude hydrogéologique du bassin sud-ouest Mauritanien*. Rapport final 231p.
- [3] Castany G. (1982). *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Editions Dunod, Paris ; 236 p.
- [4] Carité D. (1989). *Géologie en Mauritanie*. Document, Edition EDISUD, Paris, 284 p.
- [5] Caruba R., Dars R. (1991). *Géologie de la Mauritanie*. Edition CRDP Université de Nice Sophia Antipolis, France. 302-313 p. pp. 19-22.
- [6] Diagana A. (1994). *Etude hydrogéologique dans la vallée du fleuve Sénégal de Bakel à Podor : relation eaux de surface et eaux souterraines*. Thèse doctorat 3ème cycle Géologie, Univ. CAD, Dakar; 126 p.
- [7] El Tayeb El Saddig M. (1993). *Les systèmes de la région de Génina-Adré (confins soudano-tchadiens): hydrogéologie, hydrochimie et géochimie isotopique*. Thèse de doctorat, Univ. Avignon, France ; 152 p.
- [8] Fall O. T. (2006). *Caractérisation hydrochimique de la nappe des sables du Paléocène et de l'Eocène dans la région du Gorgol (Mauritanie)*. Mémoire DEA Géologie, Univ. CAD, Dakar ; 56 p.
- [9] Fetter C. W. (1994). *Applied hydrogeology*. Prentice Hall Inc., New Jersey (USA), 691 p.
- [10] Garcia M. G., Del V., Hidalgo M., Blesa M. A. (2001). *Geochemistry of groundwater in the alluvial plain of Tucuman province, Argentina*. *Hydrogeology journal*, 9(6). : pp. 597, 610.
- [11] Iwaco (1996). *Etude de réhabilitation et de renforcement du système AEP des villes de Kaédi et de Mederdra*. Rapport final DH, 89 p; 16fi g; 11 tab.
- [12] Kirchmer J. C. (1983). *Quality control in water analyses*. *Environmental Science and Technology*, 17 (4), pp 178-181.
- [13] McLean W., Jankowski J., Lavitt N. (2000). *Groundwater quality and sustainability in an alluvial aquifer, Australia*. In : Sililo O. et al. (editions). *Groundwater, past achievement and future challenges*. A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 567-573.
- [14] Michel P. (1956). *Etude sur la morphologie de la vallée du Gorgol et de ses bordures*. Arch. MAS, 67 p.
- [15] OMS/WHO (1993). *Guidelines for drinking water quality*. Geneva, Suisse.
- [16] Rajagopal, Graham T. (1989). *Expert opinion and groundwater quality protection. The case of nitrate drinking water*. *Groundwater*; 27 p.

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

International Institute for Water and Environmental Engineering

Rejoignez l'élite

Institut bilingue • Eau, Énergie, Environnement et Génie civil



AG Partners

www.2ie-edu.org

Le 2iE, Institut bilingue français - anglais, un pôle d'excellence à Ouagadougou.

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 2iE, offre de nombreuses opportunités de formations supérieures diplômantes conformes au **standard international** (Bachelor/Master/Doctorat) dans les domaines de l'Eau, de l'Énergie, de l'Environnement et du Génie Civil.

Le 2iE dispose d'une **plateforme scientifique de 110 hectares** équipée de matériels pédagogiques et scientifiques de pointe, des **enseignants chercheurs** et des **professeurs associés** issus de plus de 20 pays du Sud et du Nord. Il a développé des partenariats avec de grandes entreprises qui lui permettent d'assurer un **emploi à 90% des étudiants** dans les six mois qui suivent l'obtention de leur diplôme.

Le 2iE est **Centre d'excellence de l'UEMOA**, de la **CEDEAO** et du **NEPAD** et est **membre de la Conférence des Grandes Ecoles** (France). Le 2iE est le seul établissement de formation supérieure du continent africain dont les diplômes, accrédités par la **Commission française des Titres d'Ingénieur (CTI)**, sont reconnus dans l'espace européen.



Pour un avenir professionnel brillant
Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

