

INTRODUCTION GENERALE

Dans le contexte d'aridité et de sécheresse de la Mauritanie, les ressources en eau souterraine revêtent une importance vitale. Partout, les conditions climatiques, géographiques, et morphologiques, caractérisent un territoire défavorisé sur le plan hydrologique. Les eaux souterraines constituent la principale ressource en eau potable de la Mauritanie. De même, l'accroissement sans cesse de l'exploitation des nappes par les populations locales associé au déficit pluviométrique noté ces dernières décennies, s'est traduit par une baisse continue et généralisée des niveaux des nappes superficielles. Cependant la qualité chimique de cette ressource est souvent altérée par la présence de certains éléments chimiques comme le sodium et les chlorures à des concentrations élevées, dépassant la limite admissible pour la consommation humaine.

Les réserves de la nappe du Trarza, partagées entre une partie continentale douce et une frange côtière salée, font l'objet de prélèvements intensifs (stations d'Idini, Boulanouar, Tiguent, Rosso, etc...., des centaines de puits villageois et forages hydrauliques) alors que les conditions hydrogéologiques et hydrodynamiques les prédestinent à une invasion marine progressive (BRGM, 1965). Les conditions d'une gestion rationnelle et durable des eaux souterraines impliquent la connaissance de leurs comportements hydrogéologiques.

Ainsi, la compréhension des processus contrôlant le comportement hydrogéologique de la nappe du Continental Terminal notamment les caractéristiques hydrochimiques et hydrodynamiques et les interactions au sein de l'aquifère, sont un atout important dans la gestion durable de la ressource. Dans notre secteur d'étude, la salinité des eaux constitue un problème majeur dont, les populations devraient affronter les années à venir.

Notre étude se veut une contribution à la connaissance des caractéristiques hydrochimiques des eaux de la nappe du Continental Terminal (CT) destinées à l'approvisionnement en eau des populations. Elle s'est assignée pour objectifs spécifiques déterminer les effets, les causes et l'origine de la salinité des eaux de la nappe du Continental Terminal.

Cette étude qui concerne l'aquifère du Continental Terminal entre Tiguent et Rosso (sud-ouest du Trarza) et, est structurée en trois chapitres :

- dans le premier chapitre, nous présenterons la zone d'étude dans son contexte climatique, géologique et hydrogéologique après l'avoir située ;

- le deuxième chapitre présentera les matériels et méthodes utilisées pour l'ensemble des travaux d'exécution des forages, le prélèvement des échantillons d'eau et les analyses des eaux de la nappe au laboratoire ;

- le troisième chapitre est consacré aux résultats et discussions après traitement des données hydrogéologiques et hydrochimiques. Ce chapitre s'articule autour de deux points. Le premier point, présente les résultats des analyses de l'exécution des forages et le deuxième point, la caractérisation hydrochimique de la nappe du Continental Terminal.

Pour terminer, les conclusions concernant les caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques des eaux et l'exploitation des forages et leurs contraintes techniques d'exécution seront tirées.

CHAPITRE I : CONTEXTE GENERAL DE LA REGION DU TRARZA

I.1- CADRE PHYSIQUE

I.1.1- Situation géographique

La région du Trarza correspond à la pénéplaine du sud-ouest de la Mauritanie qui se localise approximativement entre les latitudes 16°30' et 18°30' Nord et les longitudes 14° et 16° Ouest (Fig. 1). Limitée au sud par le fleuve Sénégal, elle est le domaine des dunes fixes et parallèles, orientées sud ouest-nord-est, et séparées par des vallées à fond plat argileux de 500 m à 2 km appelées "*Goud*" ou plus vastes de 5 à 20 km appelées "*Aftouts*". La flore est essentiellement constituée de végétation arbustive et épineuse.

Le secteur étudié est située au Sud-Ouest de la région du Trarza, entre les latitudes 16°30' et 17°30' Nord et les longitudes 15° et 16° Nord. Ce secteur est choisi suivant les axes parallèles au rivage de la zone Tiguent (située à environ 100 km de Nouakchott) et à Rosso en bordure du fleuve Sénégal.

I.1.2- Climatologie

Le climat de la région du Trarza se caractérise par une appartenance à deux domaines climatiques, à savoir le domaine sahélien au sud du parallèle de Nouakchott et le domaine saharien au nord de cette limite. Cette double influence se manifeste par l'existence de deux saisons bien contrastées :

- la saison pluvieuse, de juillet à septembre, pendant cette période, les pluies sont violentes et moins nombreuses au nord qu'au sud et leur hauteur annuelle est de 100 mm à Nouakchott ;

- la saison sèche qui s'étend d'octobre à juin caractérisée par un climat chaud et sec.

Les précipitations sont de faibles intensités (Fig. 2) et irrégulières dans le temps et dans l'espace, avec des écarts pluviométriques interannuels importants. Leurs régimes, malgré la proximité de l'océan, reste entièrement commandé par les fluctuations du front intertropical (FIT).

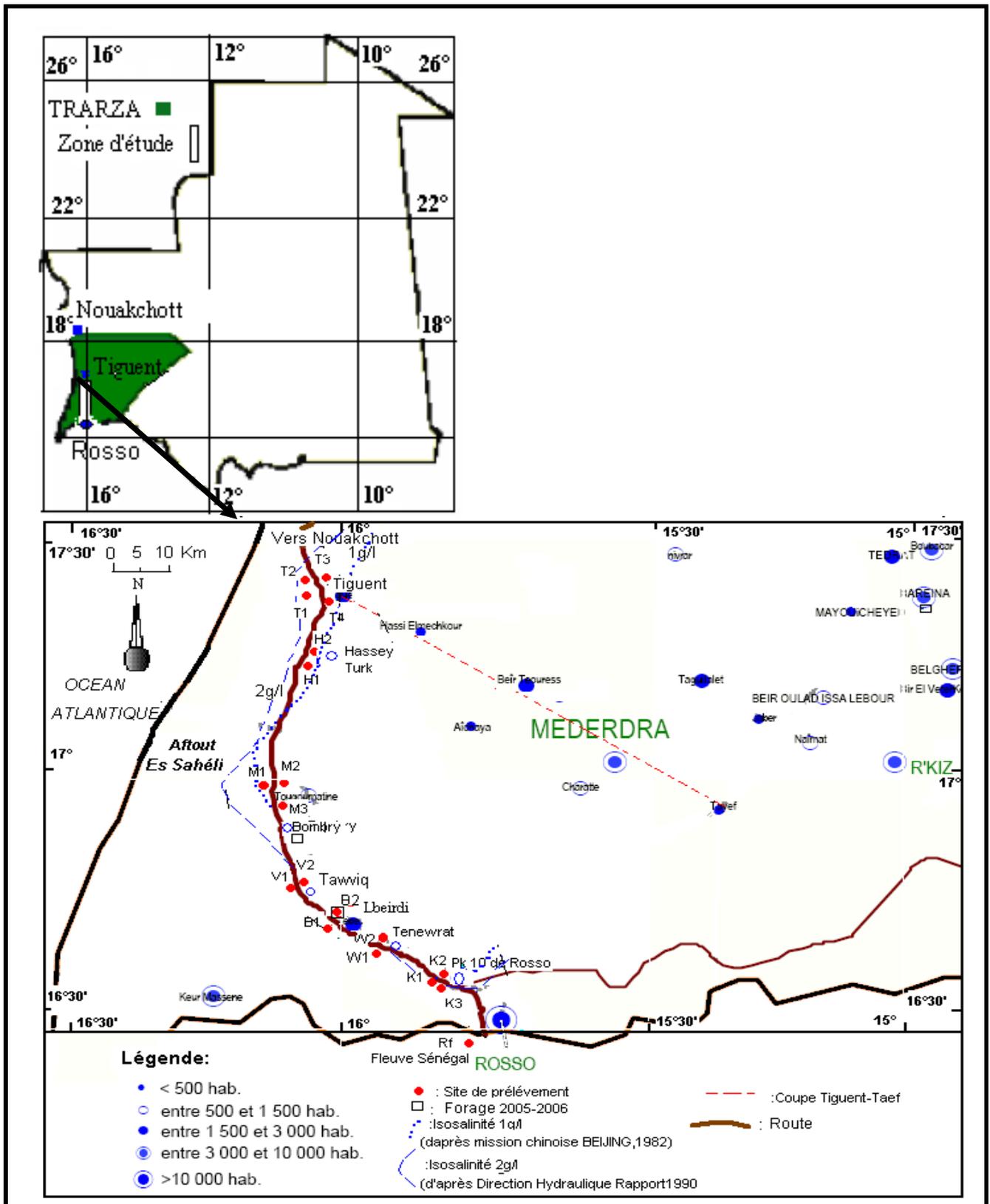


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (le sud-ouest de la région du Trarza)

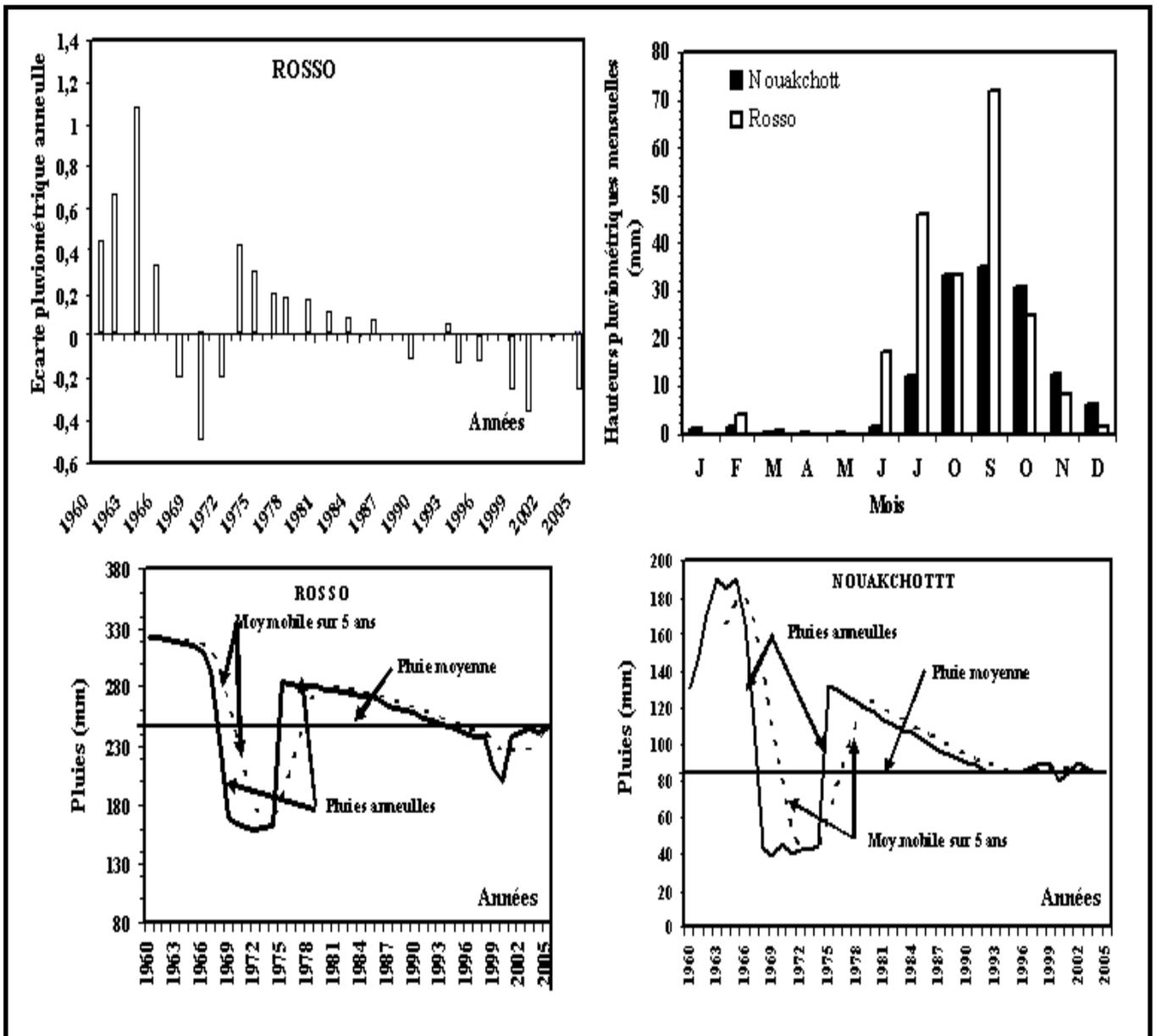


Figure 2 : Evolution de la pluviométrie dans la région du Trarza (1960 à 2005)

Une seule des montées vers le nord du FIT atteint la région du Trarza et donne lieu à une saison de pluies de type «mousson» provoquée par la pénétration d’air humide sous l’influence de l’anticyclone de Sainte - Hélène. Les phénomènes pluvio-orageux qui proviennent de l’Est (Finaud, 1974 ; Gaucher, 1974).

Les températures journalières dans la région sont généralement assez élevées et les maxima sont observés en juin et octobre. Pour la station de Nouakchott, sous influence océanique, les températures maximales en octobre sont plus élevées que celles enregistrées en juin, par contre pour la station de Rosso, la situation est inverse (Fig.3).

Pendant la longue saison sèche, d'octobre à juin, un vent sec parfois violent appelé "l'harmattan" provoque une intensification de l'évaporation qui est largement supérieure à la hauteur de pluies tombées dans la région. Le climat se distingue aussi par une très faible humidité relative. Ces caractéristiques climatiques entraînent un bilan hydrologique négatif et une sécheresse importante avec leurs conséquences sur le couvert végétal, la reconstitution des réserves des aquifères et sur l'existence des cours d'eau permanents. La région se caractérise alors par l'absence d'un réseau hydrographique organisé permanent et la persistance de la sécheresse depuis plusieurs décennies (Fig. 3).

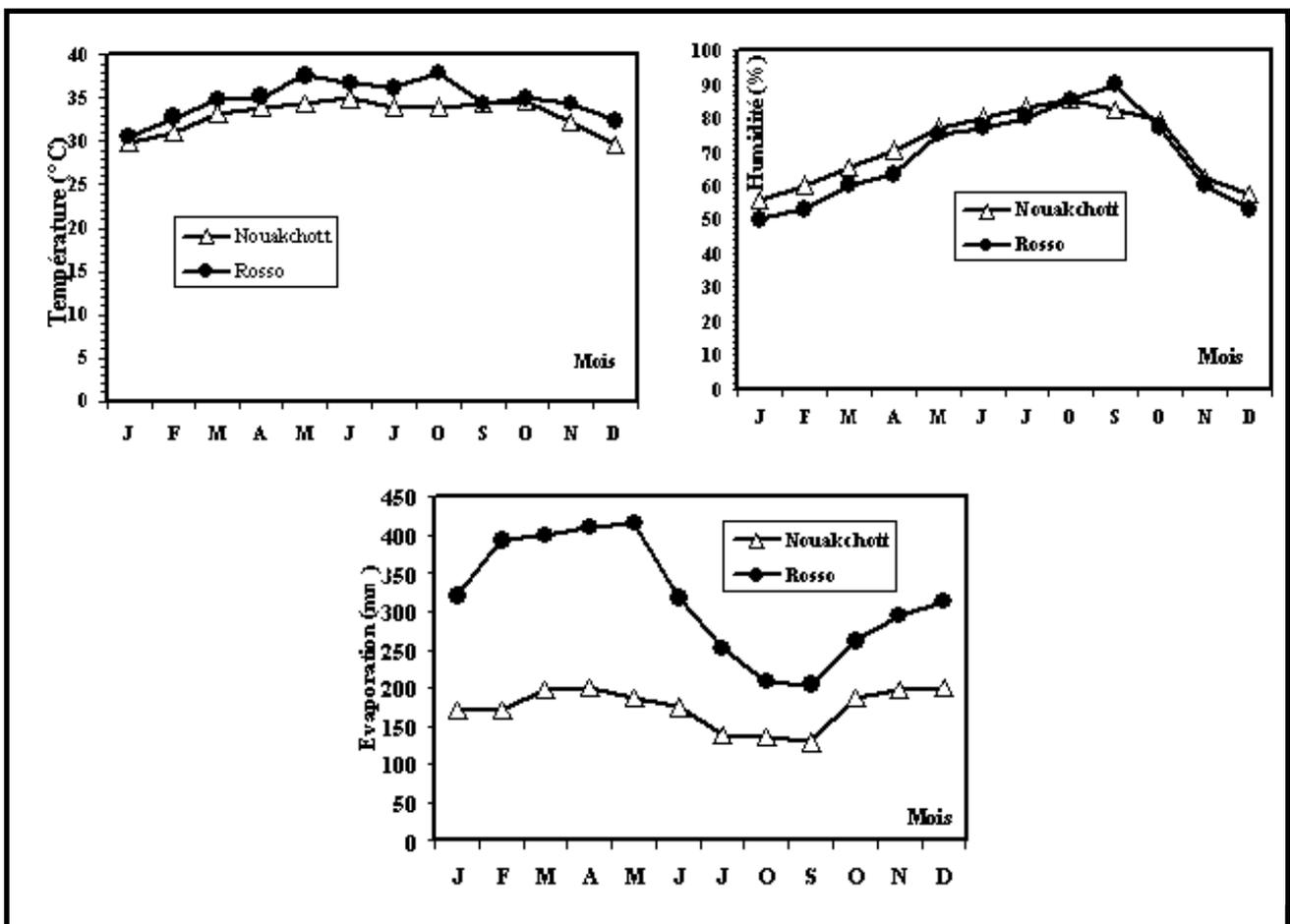


Figure 3 : Evolution de la température, l'humidité relative et l'évaporation dans la région du Trarza (1960 à 2005) Nouakchott et Rosso

I.1.3- Hydrographie

Le réseau hydrographique est pratiquement inexistant sur la plus grande partie de la zone d'étude. Il est désorganisé sous l'influence du climat aride et de la mobilisation des dunes de sable. Le réseau hydrographique actuel connaît des écoulements locaux pendant la saison de pluie.

I.1.3.1- Le fleuve Sénégal

Il constitue le seul cour d'eau permanent dans lequel coule en moyenne un volume de l'ordre de 15 milliards de mètres cubes par an. Son débit de crue peut dépasser 5000 m³.s⁻¹ (5800 m³.s⁻¹ à Bakel en 1954). L'eau salée envahit l'embouchure du fleuve et peut remonter jusqu'à Dagan et parfois Podor.

La crue en général se manifestait de juillet à décembre avant la mise en place du barrage du retenu de Manantali et du barrage anti-sel de Diama.

La pente de la surface de l'eau du fleuve est extrêmement faible durant la traversée du bassin sédimentaire : de l'ordre 0,01% en amont de Boghé, elle est pratiquement nulle à partir de ce centre jusqu'à l'embouchure.

I.1.3.2- Le lac de R'kiz

Le lac de R'kiz : son bassin versant est insignifiant, il coupe la terminaison Ouest de l'Aftout Ech Chergui. Sa superficie maximale est de 333 km².

I.1.4- Relief

Le Sud-Ouest Mauritanien est un espace plat, en légère déclivité vers l'Océan : la dénivellation d'Est en Ouest est de l'ordre d'une soixantaine de mètres. Il est en grande partie recouvert par des formations dunaires parallèles orientées Nord-Est - Sud-Ouest. On peut distinguer quatre principales régions naturelles.

I.1.4.1- La chamama

C'est une plaine alluviale du Sénégal et sa largeur varie de 5 à 20 km.

I.1.4.2- L'Aftout El sahéli

Longue dépression derrière le cordon littoral atlantique, formée de terrains Quaternaires couverts de nombreuses sebkhas. Son altitude est souvent inférieure à celle du niveau marin.

Sa largeur, de 30 km dans le delta du fleuve Sénégal, s'amenuise jusqu'à 5 km au Sud de Nouakchott et s'élargit au Nord de Nouakchott pour atteindre 80 km dans son secteur le plus large.

I.1.4.3- Le Trarza

C'est un grand ensemble de dunes rouge pouvant atteindre 50 m de hauteur, occupant la plus grande partie du territoire étudié.

I.1.4.4- L'Aftout Ech Chergui

C'est une longue dépression entre les dunes du Trarza, qui débute à proximité du fleuve Sénégal par le lac de R'kiz, et se poursuit en direction Nord-Est sur 200 km de long. Sa largeur n'est que de 10 km ;

I.1.5- Végétation

Dans la vallée du fleuve Sénégal vivent le Gonakier (*Acacia scropioides*) et le Talh (*Acacia radina*).

En dehors de la vallée, deux *Acacia* dominent la végétation : le gommier (*Acacia senegalensis*) et Talh. Le Gommier formait à l'Ouest du Trarza une couverture végétale importante.

Un arbuste apparaît : le Titarek (*Leptadenia spartum*) connaît un grand développement dans toutes les zones sableuses principalement au Sud - Est de Nouakchott, au Nord d'Aleg et à l'Est de R'kiz.

I.2- CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

I.2.1- Géologie

I.2.1.1- Contexte géologique général

La région du Trarza fait partie du bassin sédimentaire côtier sénégal-mauritanien et située entre la chaîne des Mauritanides à l'est et l'océan Atlantique à l'ouest.

Le bassin sédimentaire côtier occupe la dépression du golf sénégal-mauritanien, en bordure de la plate-forme africaine et renferme des dépôts détritiques marins et continentaux. Sa largeur est de 250 km à la latitude de Nouakchott et dépasse 50 km au Sénégal. Les dépôts sont constitués en grande partie par des formations du Continental Terminal (CT) recouvertes par des sables éoliens du Quaternaire et reposent sur le socle granitique et métamorphique (Caruba et Dars, 1991).

I.2.1.2- Lithostratigraphie

La série lithostratigraphique de ce bassin marginal subsidant, essentiellement formée de séries grès-argileuses, s'échelonne du Crétacé au Quaternaire (Caruba et Dars, 1991).

Le substratum de ces dépôts détritiques est constitué par le socle Précambrien, fortement faillé en direction du Nord-Sud, et qui s'enfonce vers l'Ouest suivant une structure en marches d'escalier. Cette pente générale est conservée par le Continental Terminal qui, moins épais à l'Est s'enfonce progressivement vers l'océan à l'Ouest (Caruba et Dars, 1991) (Fig. 4).

I.2.1.2.1- Le Maastrichtien

Il n'affleure pas dans le bassin sédimentaire du sud-ouest mauritanien. Mais au contact immédiat du socle, on trouve une série sableuse ou argilo sableuse, qui par analogie avec ce que l'on connaît au Sénégal, a été attribuée au Maastrichtien (Crétacé supérieur), bien qu'elle ne soit pas datée de façon absolue (Caruba et Dars, 1991 ; Guiraud, 1991).

A l'Est de R'kiz, le Maastrichtien est argileux à sablo argileux, de couleur noirâtre et puis il devient plus sableux et donc plus difficile à distinguer des sables jaunes éocènes qui le surmontent (Caruba et Dars, 1991 ; Guiraud, 1991).

A l'Ouest de R'kiz, le Maastrichtien se présente sous forme d'une épaisse série de sable fins et grossiers en alternance avec des argiles, la couleur d'ensemble étant ocre.

Les forages qui ont traversé totalement le Maastrichtien ne sont pas nombreux, à l'Ouest de R'kiz, où les sables maastrichtiens s'épaississent pour atteindre plusieurs centaines de mètres dans le forage RK6, l'épaisseur du Maastrichtien est de 220 m (Caruba et Dars, 1991 ; Guiraud, 1991).

En dehors, des forages situés à l'Ouest de R'kiz (RK6) et Niabina dont le Maastrichtien a des épaisseurs comprises entre 100 et 200 m, tous les autres forages ont des épaisseurs comprises entre 10 et 60 m (Caruba et Dars, 1991 ; Guiraud, 1991).

Le toit du Maastrichtien passe de -18 m à Goural à - 480 m à Idini. Dans la région de R'kiz, le toit du Maastrichtien n'est pas régulier et cette irrégularité peut être liée à la remontée du socle dans cette région (Caruba et Dars, 1991 ; Guiraud, 1991).

Entre les sables maastrichtiens ou éocènes et le socle, il existe une formation épaisse de quelques mètres, d'arènes de graviers de quartz et d'argiles noires. Elle correspond à une frange d'altération du socle (Caruba et Dars, 1991 ; Guiraud, 1991).

I.2.1.2.2- Le Paléocène et l'Eocène

Des sédimentations à caractères essentiellement chimiques, sont constituées d'une série marine de calcaires marneux et d'argiles surmontées par des marnes gréseuses et sableuses. Cette formation géologique existe localement sur le bassin et à une épaisseur très variable. Elle est totalement absente au nord, Bénichab et présente une épaisseur d'environ 300 m à Idini, 210 m à Toundou Besset , de 130 à 140 m dans la zone de Mederdra et dans la région de R'kiz l'Eocène atteint 50 m (Caruba et Dars, 1991 ; Guiraud, 1991).

Le toit de l'Eocène passe de +40 m à Mibidane, -154 m à Idini. Le pendage à l'Est de la dorsale de R'kiz est d'environ 0,6 pour mille alors qu'à l'Ouest il augmente pour atteindre 1 pour mille (Caruba et Dars, 1991 ; Guiraud, 1991).

I.2.1.2.3- Le Mio-Pliocène (Continental Terminal)

Le Mio-Pliocène est représenté par une série détritique continentale d'extension généralisée sur le bassin, mais d'épaisseur variable. Elle est composée de niveaux d'argile, sables grossiers, sables fins argileux, grès, grès argileux versicolores disposés en lentilles ou un niveau localement continu, que l'on regroupe sous le terme du Continental Terminal (Caruba et Dars, 1991 ; Guiraud, 1991).

Le Continental Terminal (CT) est un ensemble azoïque de grès bariolés plus ou moins argileux, de sables fins à grossiers et d'argiles. Ces faciès sont très hétérogènes et lenticulaires

avec des variations latérales rapides. Il affleure en une large bande centrale nord - sud et, est présent sur les 4/5 du bassin. La base du Continental Terminal est facilement identifiée par les argiles jaunes caractéristiques du toit de l'Eocène (Caruba et Dars, 1991).

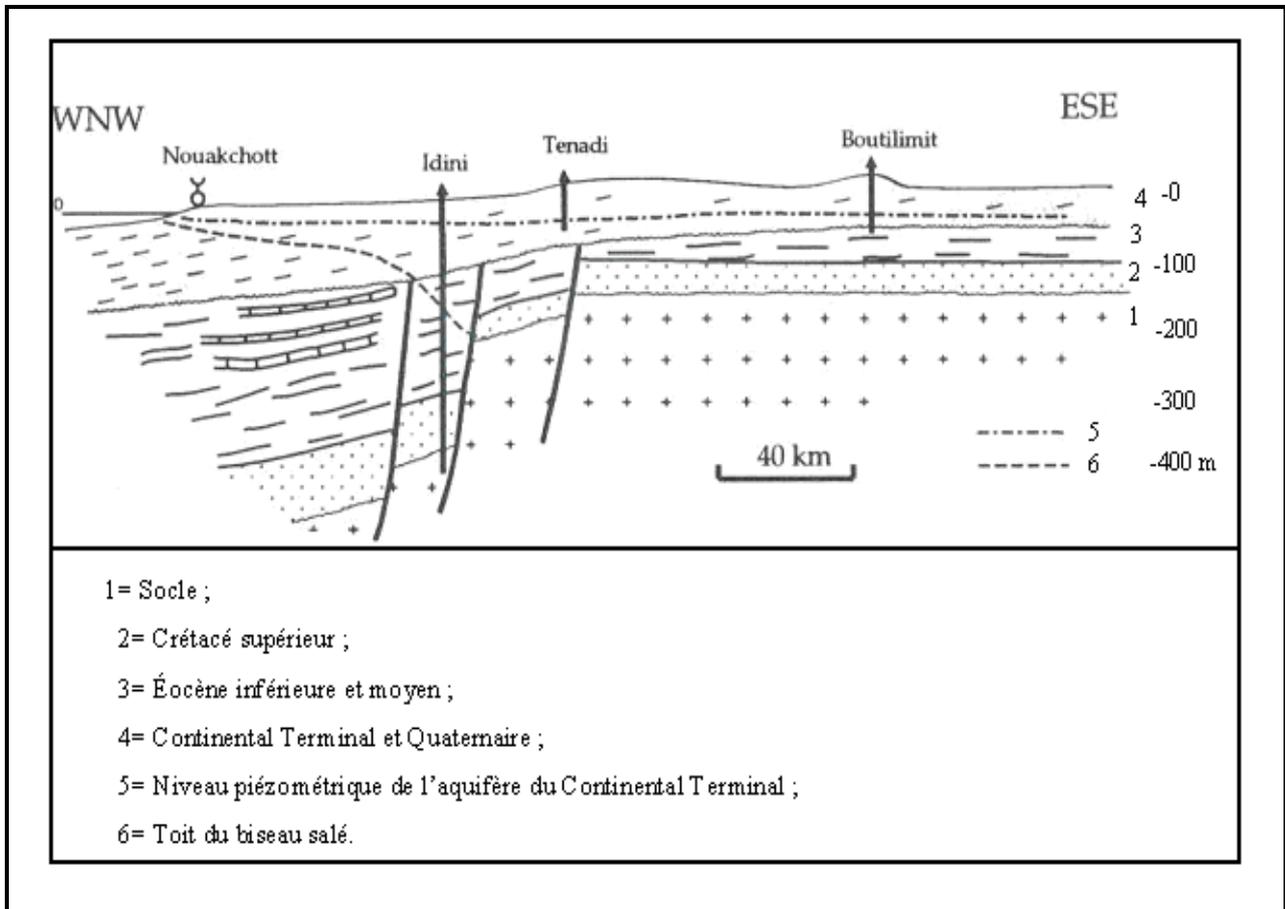


Figure 4 : Coupe géologique et hydrogéologique du bassin côtier entre Nouakchott et Boutilimit (Caruba et Dars, 1991)

I.2.1.2.4- Le Quaternaire

Formé de dépôts marins et lacustres (grès glauconieux, grès ferrugineux, sables et faluns) et des formations éoliennes anciennes (Tafritien) et récentes (Nouakchottien) sont bien développées dans les vastes sebkhas côtières. Le Quaternaire a laissé dans le bassin des dépôts en général peu épais mais qui peuvent atteindre 50 m (Riser, 1991). On distingue :

- des formations argileuses salifères et gypsifères à l'ouest recouvrant une terrasse marine à coquillage (bande étroite en bordure de mer appelé "Aftout El Sahéli") ;

- des formations lacustres dans l'Aftout Chergui (prolongement vers le Nord-Est du lac R'kiz) : calcaire du lac Rkiz et de fond de Goud ;
- des formations alluviales sablo argileuses de la vallée du fleuve Sénégal, de ses affluents et de du lac d'Aleg ;
- des formations éoliennes sableuses : dunes rouges du Trarza.

I.2.2- Hydrogéologie

I.2.2.1- Structure de la nappe

La nappe du Continental Terminal (CT) du Trarza est limitée à l'Ouest par l'océan Atlantique, au Sud par le fleuve Sénégal, au Nord par les sebkhas de N'Dramcha et à l'Est par les formations métamorphiques précambriennes des Mauritanides (Fig. 5).

Cette nappe comporte une frange d'eaux douces continentales en contact avec une frange côtière d'eaux fortement minéralisées dont l'origine marine (parfois par l'intermédiaire de vaste sebkha côtière) paraît évidente. Ces eaux sont considérées comme fossiles et leur accumulation daterait d'entre les deux dernières périodes de l'Ogolien et de l'actuel, soit entre 12 000 et 4 000 BP) qui coïncident en outre avec la dernière transgression marine du Nouakchotien dont la sebkha de N'Dramcha et l'Aftout El Sahéli sont les reliques (BURGEAP, 1978 ; BRGM, 1986).

La nappe à faciès détritique du Continental Terminal au sud - ouest du Trarza, constituée de niveau phréatique à sub-phréatique et de niveau profond salé et limitée au sud par le fleuve Sénégal. Les aquifères forment un ensemble multicouche dont les divers horizons probablement en continuité hydraulique présentent toutefois des caractéristiques hydrodynamiques et chimiques différentes (Fig. 6)

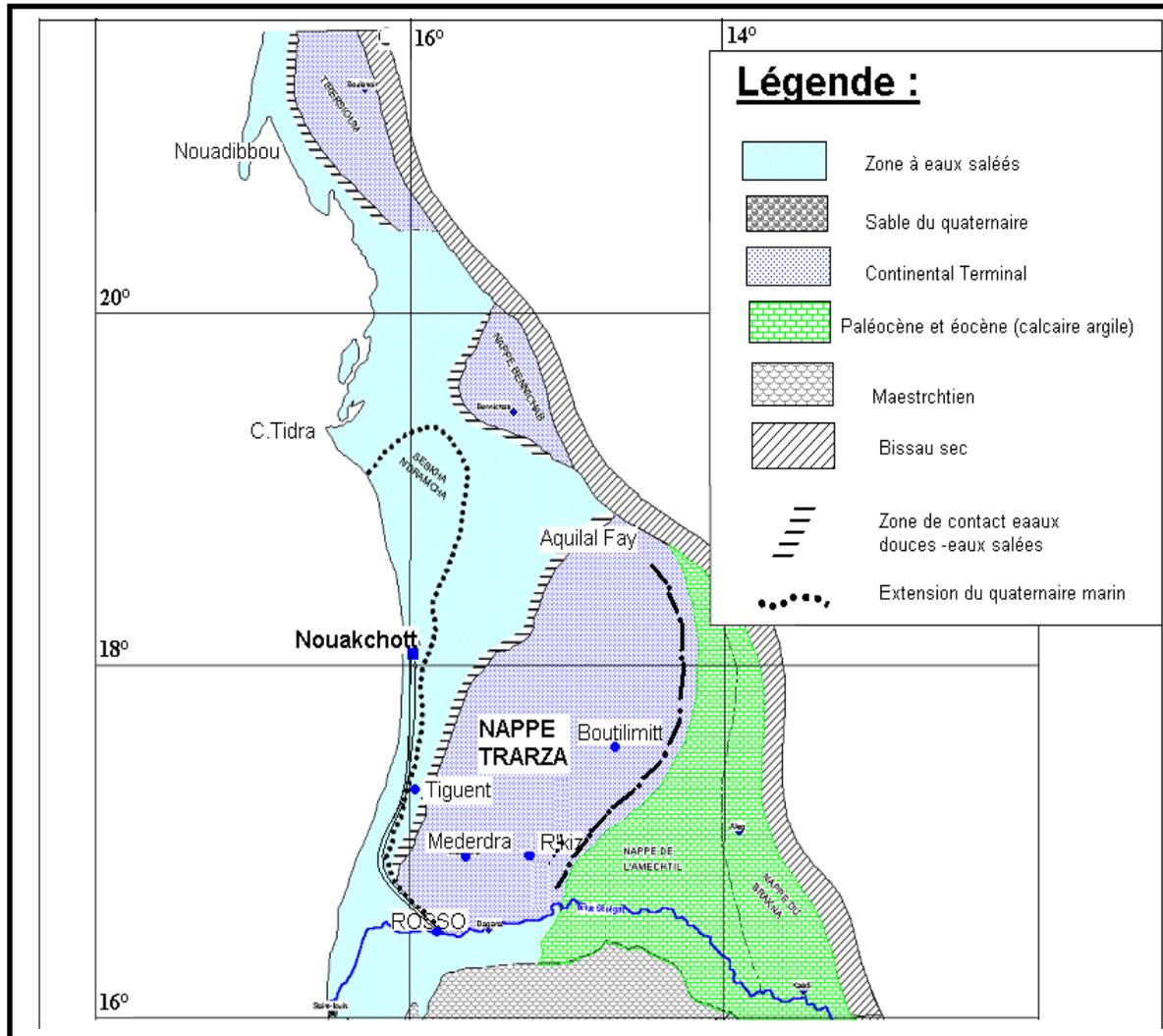


Figure 5 : Nappe Continental Terminal Du Trarza (d'après BRGM, 1986 modifié)

I.2.2.2- Identification de l'aquifère du C.T

Les formations géologiques du Continental Terminal sont très hétérogènes et présentent des variations latérales très rapides et verticales assez brutales. Aussi, la description des coupes lithologiques d'un forage à l'autre est généralement assez différente. Le Continental Terminal est représenté globalement par les grès de Kaédi à la base et les grès du Trarza au sommet. On rencontre successivement de l'ouest à l'est une frange salée sur une distance d'environ 20 km puis une frange d'eaux douces parsemée de corps d'eau salée (BRGM, 1965, 1986 et 1990; BURGEAP, 1978).

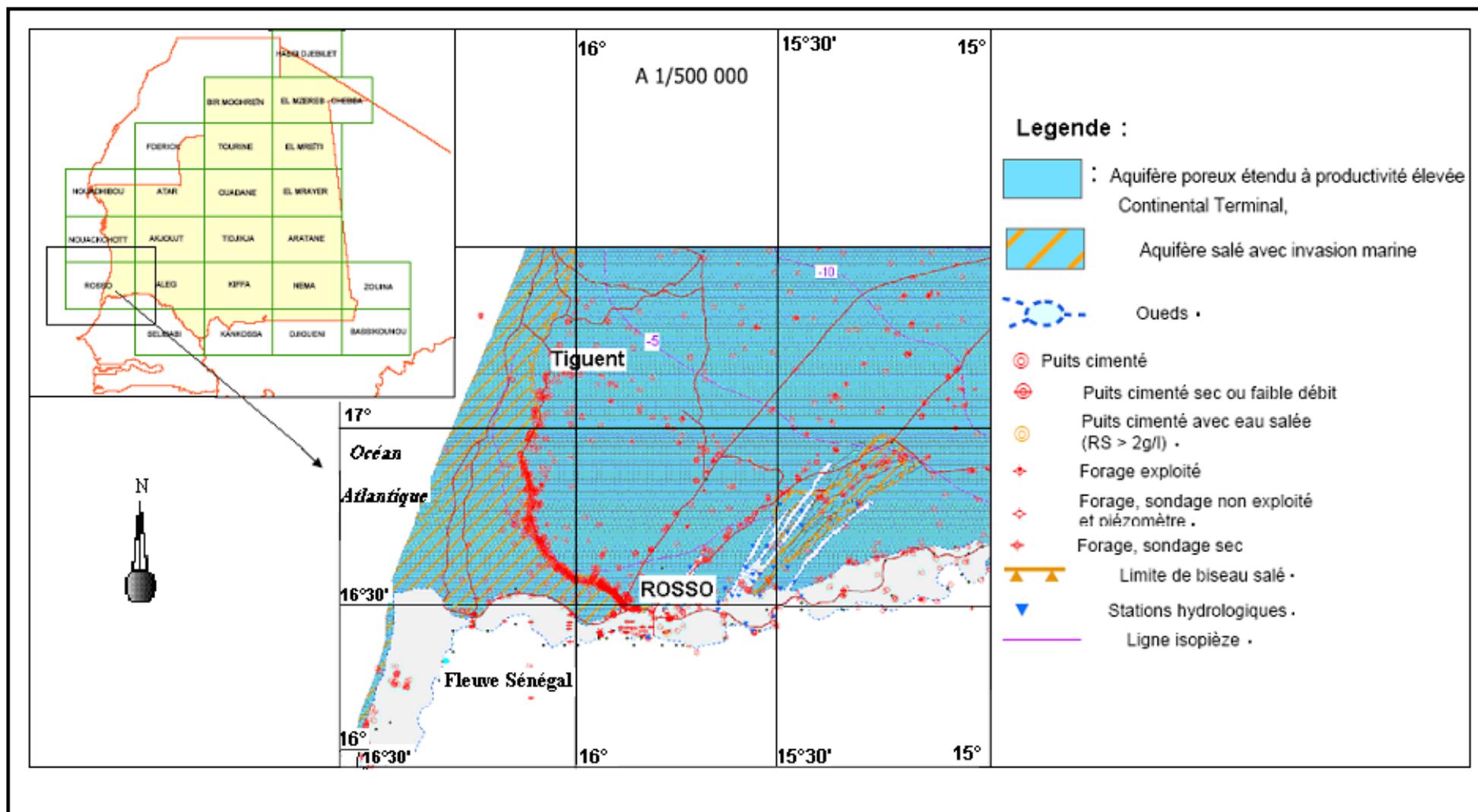


Figure 6 : Carte hydrogéologique du sud-ouest du Trarza (D'après PALOC, 1962 modifié par Hydroconseil 2001)

Les puits et forages dans le polygone (Tiguent – Rosso - R’Kiz – Mederdra), captent pour la plupart des niveaux aquifères du Quaternaire, le niveau supérieur du Continental Terminal ou des lentilles d’eaux douces dans les sables superficiels des alluvions fluviales. Les coupes hydrogéologiques du bassin sédimentaire dans cette zone, montrent successivement (Fig. 7 et 8) :

- un recouvrement superficiel de dépôts quaternaires très hétérogènes (épaisseur maximum 50 m). On distingue les faciès argileux salifères et gypsifères recouvrant la terrasse marine à coquillages de *l’Aftout El Sahéli*, les formations lacustres calcaires du lac de R’Kiz et fond de *goud*, les formations alluviales sablo argileuses de la vallée du fleuve Sénégal et de ses affluents et les formations éoliennes sableuses des dunes rouges du Trarza ;
- une série sédimentaire d’âge mio-pliocène (ou Continental Terminal) à niveaux d’argiles, sables grossiers, sables fins argileux, grés argileux versicolores et lentiformes ;
- des argiles jaunes ("formation jaune"), caractéristiques du toit de l’Eocène.

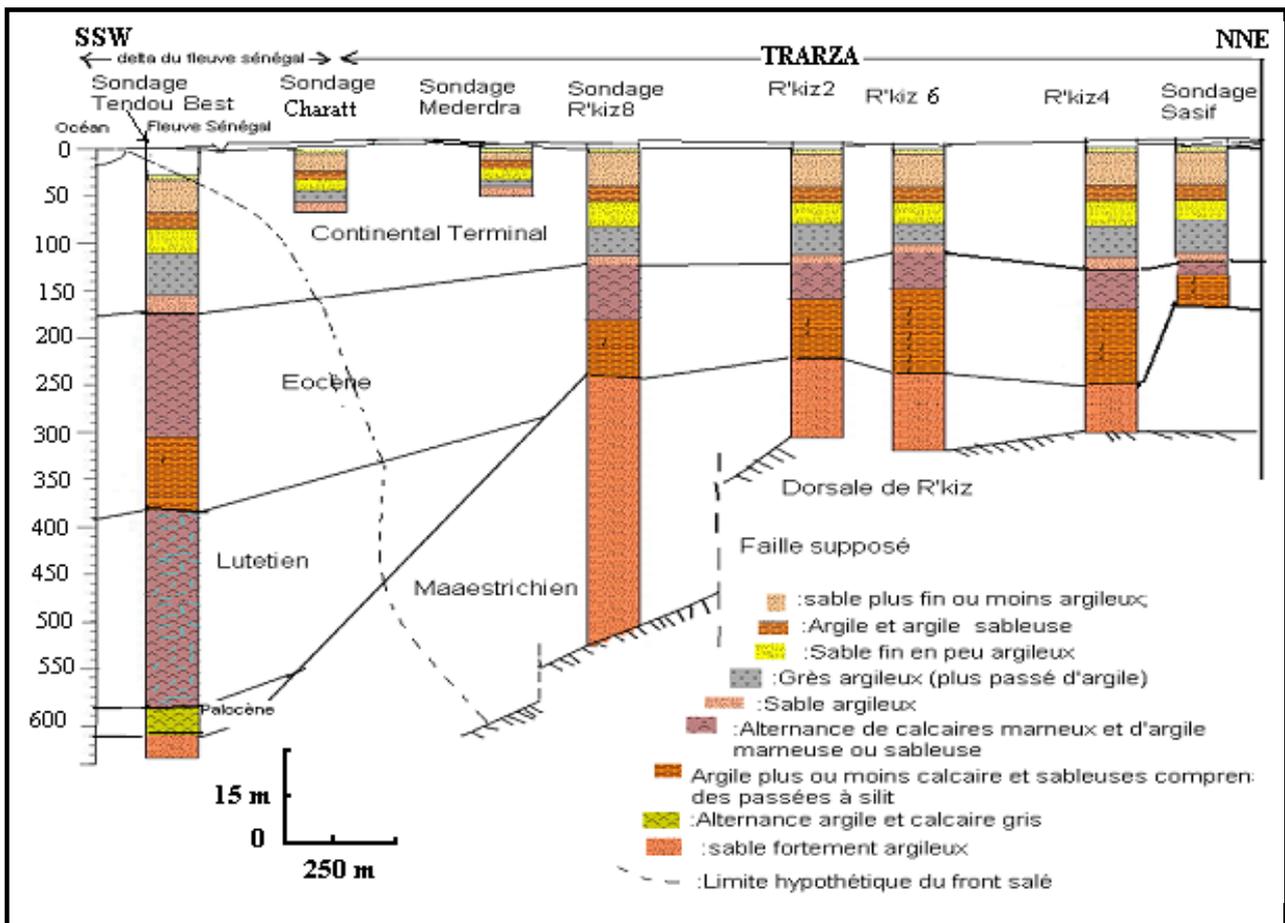


Figure 7 : Coupe hydrogéologique du CT dans le sud-ouest du Trarza (BRGM, 1993 modifié)

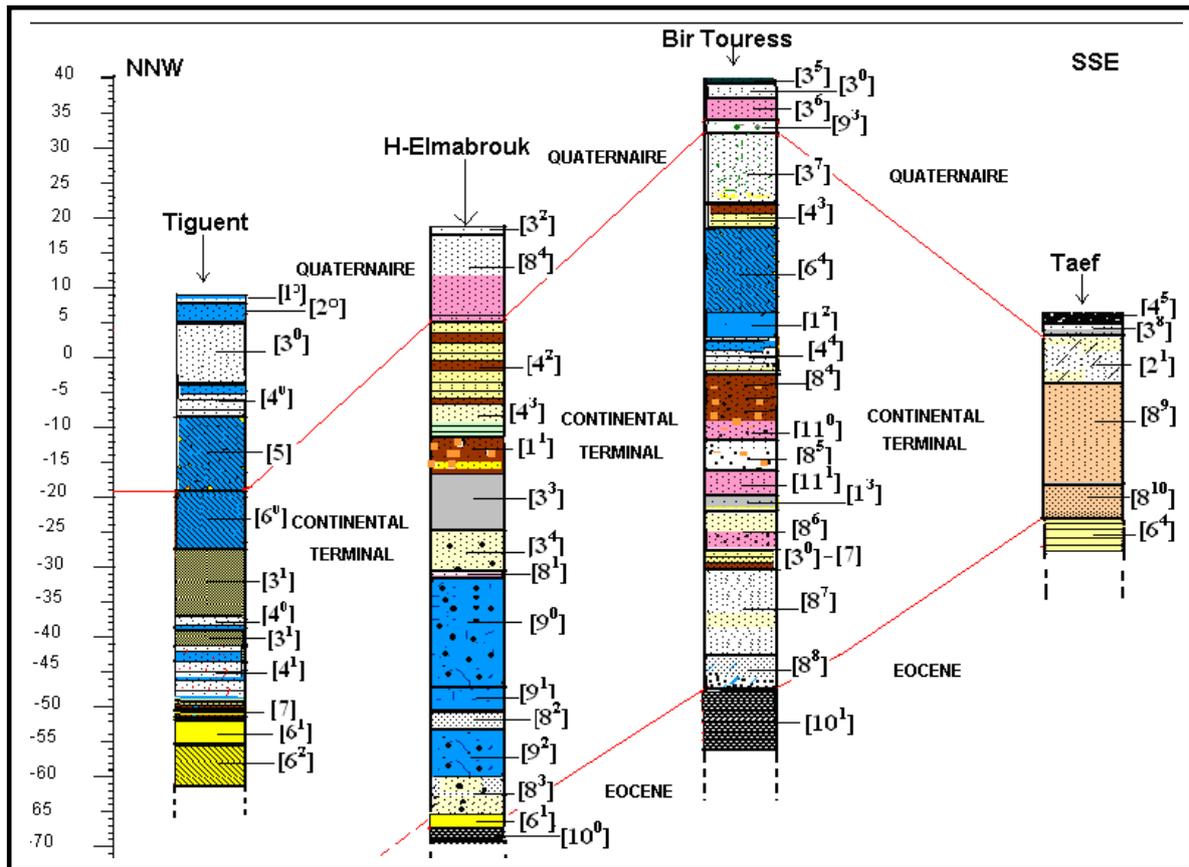


Figure 8 : Corrélation stratégique à partir des coupes Tiguent et Taef (Hydroconseil, 2001)

L'épaisseur du Continental Terminal varie du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest de la dorsale de R'kiz, et augmente du Sud-Est vers le Nord-Ouest du bassin (Hydroconseil, 2001) (Fig. 9).

Dans la région de R'kiz, le CT présente une épaisseur de 60 à 70 m. Le toit du Continental Terminal s'approfondit de façon régulière de l'Est vers l'Ouest (Hydroconseil, 2001) (Fig. 10).

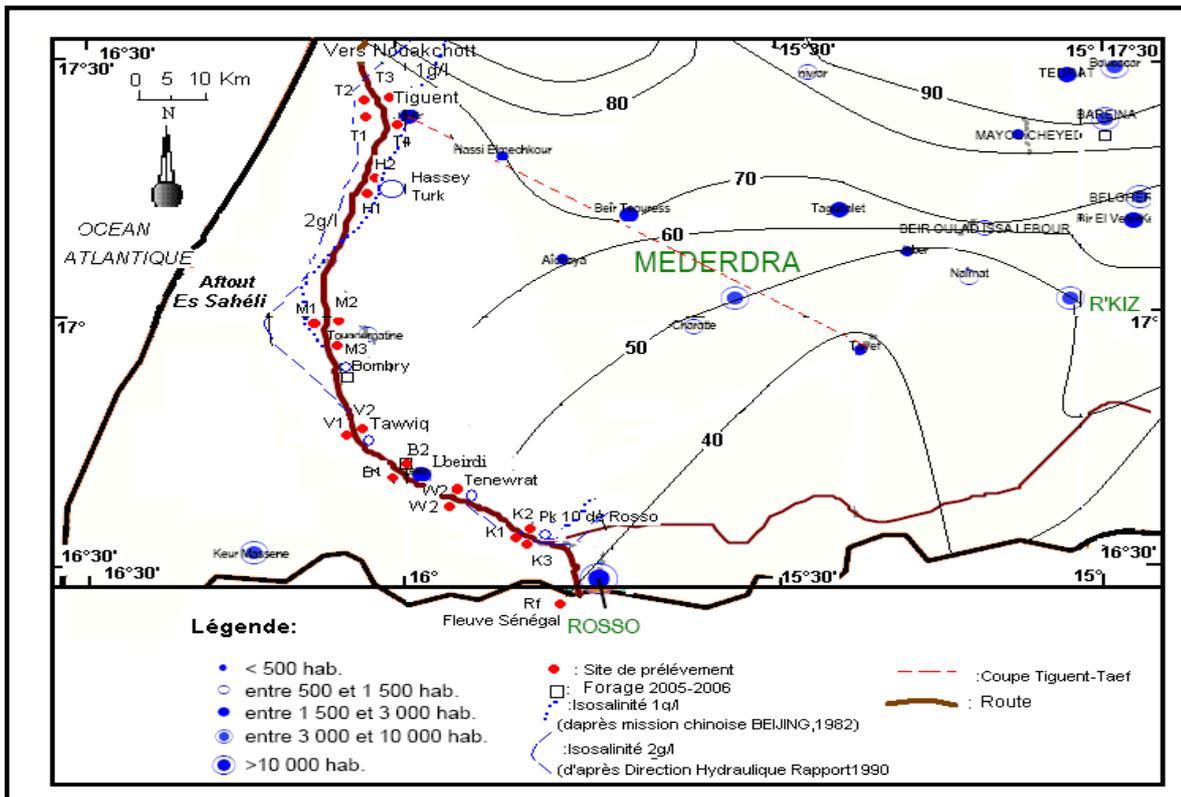


Figure 9 : Carte de l'épaisseur du Continental Terminal (Hydroconseil, 2001)

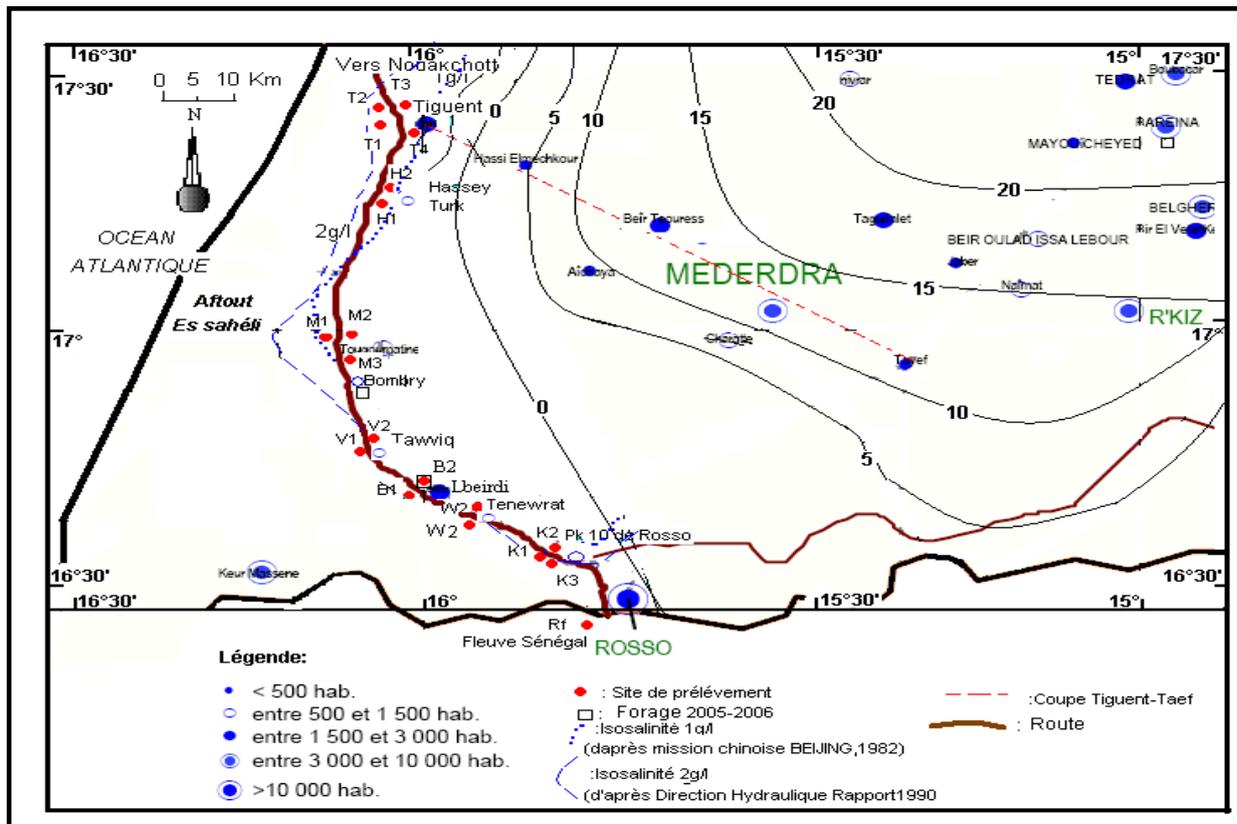


Figure 10 : Carte des altitudes du toi du Continental Terminal (Hydroconseil, 2001)

I.2.2.2.1- Géométrie de l'aquifère du Continental Terminal

Des études hydrogéologiques issues de campagnes de forages (BRGM 1967 ; BURGEAP, 1978 ; Mission chinoise de BEIJING, 1982 ; BRGM, 1986) et différents travaux bibliographiques (Dieng, 1986 ; Archambault, 1987 ; Arranyossy, 1993) attribuent à la nappe du Trarza une allure en creux.

Selon Dieng (1987), la dépression piézométrique des nappes de l'Afrique de l'Ouest, est résultat des processus paléohydrogéologiques qui correspondent à des variations du niveau marin et du climat dans les bassins littoraux.

D'autres auteurs comme Archambault (1987) et Arranyossy (1993) avancent des hypothèses suivant lesquelles, la dépression piézométrique dans les nappes est le résultat de la conjugaison des plusieurs facteurs :

- climatiques où prédominent des températures élevées de l'air, du sol et du sous-sol, une siccité importante de l'atmosphère (évaporation considérable) et une absence d'alimentation des nappes par infiltration des eaux de pluie ;

- géologiques : formations sédimentaires à faible perméabilité latérale, dépôts détritiques tels que les argiles, les limons, les sables et les sables argileux résultant de l'érosion de reliefs environnants et accumulés dans des bas-fonds ;

- géographiques : présence de zones d'alimentation en bordure de l'aquifère.

L'aquifère du CT dans la région du Trarza, dont les niveaux piézométriques, sont toujours inférieurs au niveau de la mer, est une nappe en creux. Il atteint sa profondeur maximale de -40 m au-dessous du niveau de la mer à Aquilal Faye, situé à environ 100 km au nord - est d'Idini (BRGM, 1986).

A l'Ouest, la surface libre de la nappe se raccorde au niveau de la mer et s'abaisse régulièrement en direction de l'est suivant une pente d'environ de 0,3 ‰ pour remonter à l'Est aux abords du socle cristallin des Mauritanides. A l'Ouest, la nappe est limitée par l'océan Atlantique dont les berges sont constituées d'une couche relativement imperméable de conglomérats coquilliers. Au niveau de la chaîne des Mauritanides à l'Est, les directions d'écoulement des rivières Ketchi, Saverel et Gorgol sont orientés vers la nappe qu'elles réalimentent par infiltration (Mission chinoise de BEIJING, 1982).

Au Sud, dans la région de Rosso, la surface libre se raccorde à celle des nappes alluviales du fleuve Sénégal qui constitue sa limite septentrionale, puis s'abaisse suivant une pente importante de 5 ‰ vers le nord-est en direction de la dépression de la nappe (Mission chinoise de BEIJING, 1982).

Au Nord-Est, le réservoir est limité par le biseau sec et au nord, par la sebkha de N'dramcha dont les eaux saumâtres constituent la frange salée nord. Ces eaux peuvent se déplacer suivant une pente de 0,1 à 0,3 ‰ vers la dépression de la nappe (Mission chinoise de BEIJING, 1982).

a)- Situation du contact eau douce-eau salée

La composition chimique des eaux souterraines des formations du Continental Terminal et du Quaternaire est intimement liée à divers facteurs (lithologie et nature des terrains, géographie et climat de la région, profondeurs des niveaux d'eau, etc.). Au Trarza, les facteurs géographiques et hydrogéologiques correspondent essentiellement à la proximité de la mer et à l'existence d'une nappe déprimée (BRGM, 1986).

Les eaux du voisinage immédiat de la mer sont chargées et les eaux continentales relativement douces. Une zone de mélange met donc en contact les eaux salées marines et les eaux douces continentales. Le mouvement général dans ces deux phases, favorisé par la dépression de la nappe, conduit, depuis la mer vers le rivage, les eaux salées dans les nappes douces et au déplacement de l'eau de ces aquifères. Ce processus entraîne une pénétration du biseau salé et une augmentation de la salinité des eaux (Séméga.Giannerini et Sabar. (1994)..

Cette pénétration d'eau salée marine limite à l'ouest les eaux douces du Trarza et une bande côtière dont la langue ($1g.l^{-1}$) en contact avec l'eau douce, constitue le front salé (Cf. Fig. 5). La position du front salé dépend de l'horizon considéré de l'aquifère, et on s'accorde à la situer à quelques dizaines de kilomètres de la côte atlantique (DHR, 1990).

Dans le sud du Trarza, ce contact a été situé en bordure de l'Aftout El sahéli à environ 20 km de la mer. De Tiguent, il suit sensiblement le tracé de la route Nouakchott-Rosso puis effectue une remontée nord-est vers le lac de R'kiz (Mission chinoise de BEIJING, 1982 ; BRGM, 1990).

b)- Frange côtière salée

La frange salée (44 000 km²) correspond à la zone du bassin dans le voisinage immédiat de l'océan Atlantique, jusqu'à parfois plus de 100 km de pénétration dans le continent. Dans ce domaine, les eaux de tous les niveaux aquifères confondus, sont de salinité supérieure à 1g.l⁻¹. La formation de cette frange serait le résultat des alternances transgression - régression qui, souvent accompagnées des précipitations abondantes, ont provoqué une succession de salinisation et de lessivage donnant naissance à une frange côtière salée, diffuse de plusieurs dizaines de kilomètres (Mission chinoise de BEIJING, 1982 ; BRGM, 1990).

La répartition spatiale de cette minéralisation distingue, selon la zone et l'horizon aquifère, un gradient qui croît de sa limite continentale vers la mer. Au niveau d'Idini, il a été établi que ce gradient augmente beaucoup plus rapidement pour la nappe sub-phréatique que pour la nappe phréatique (Mission chinoise de BEIJING, 1982 ; BRGM, 1990).

Dans le littoral sud-ouest du Trarza, les caractéristiques de la frange salée ne sont que sommairement établies. Néanmoins, à l'horizon de Tiguent, le front salé de la nappe phréatique est situé à 1,5 km à l'est de ce site. De Hassei Kafli, il se confond approximativement avec le tracé de la route Nouakchott - Rosso jusqu'aux environs du point kilométrique 20 (PK 20) de Rosso vers Nouakchott. A partir de cette zone, il délimite la bande fluviale salée jusqu'à 15 km au nord de Rosso où il remonte en direction du Nord-Est vers R'kiz. Dans la zone de la frange salée, des lentilles d'eau douce ont été identifiées dans les sables superficiels (Mission chinoise de BEIJING, 1982 ; BRGM, 1990).

c)- Domaine des eaux douces

Les aquifères des eaux douces du bassin sédimentaire s'étendent sur une superficie de 45 800 km² et présentent une puissance de 10 à 40 m, situé au-dessus de la profondeur de 120 à 150 m (Mission chinoise de BEIJING, 1982 ; BRGM, 1990) :

1) au Sud-Est, dans des grès, calcaires et sables d'Eocène, les nappes libres de l'Amchetil et du Brakna renferment des eaux dont la salinité varie globalement de 76 à 850 mg.l⁻¹ avec dans les nappes de l'Amchetil, des zones (1600 km²) de minéralisation élevée dépassant 1000 mg.l⁻¹ et pouvant atteindre 3000 mg.l⁻¹ ;

2) au Nord et Sud-Ouest, dans des grès et sables du CT, la minéralisation des eaux est inférieure à 600 mg.l⁻¹ (localement de 1000 mg.l⁻¹) dans la nappe Tirersioum et

de 200 à 300 mg.l⁻¹ dans la nappe de Binchap. Pour la nappe du Trarza, elle est comprise entre 150 et 500 mg.l⁻¹ et très localement supérieure à 1000 mg.l⁻¹.

Au-delà de la zone contact eau douce - eau salée, la nature des terrains encaissants est déterminante dans les caractéristiques des eaux de la nappe. La composition chimique est alors très variable d'une zone à l'autre et d'un niveau aquifère à l'autre. La nappe phréatique du Continental Terminal dans le sud-ouest Trarza, renferme des eaux dont la minéralisation est aussi hétérogène que celle de la zone d'Idini. Cette minéralisation pour différents points de prélèvements entre 1975 et 1990, varie globalement de 140 à 500 mg.l⁻¹. Les travaux montrent des domaines de faible salinité (Mederdra et environs) et des domaines de forte salinité, en particulier R'kiz, Naïmant et Jlefty (Mission chinoise de BEIJING, 1982 ; BRGM, 1990).

La réserve globale, essentiellement fossile et estimée à 90.10⁹ m³, se serait constituée entre l'Ogolien et l'Actuel, soit entre 12 000 et 4 000 BP. La réalimentation actuelle en eau douce est relativement faible et provient de l'infiltration du fleuve Sénégal, des rivières intermittents du Gorgol et temporaires d'Aleg et de R'kiz qui peuvent apporter en période de fonctionnement jusqu'à 10 puis 5 m³.j⁻¹ (Mission chinoise de BEIJING, 1982 ; BRGM, 1990).

d)- Biseau sec (zone stérile)

C'est une frange de 15 à 30 km de large à l'extrême est du bassin, qui s'étend sur une superficie de 16 000 km². Au voisinage du socle, les formations du CT ou de l'Eocène situées au-dessus de la ligne de contact entre le niveau d'eau souterraine du bassin et du socle, dépourvu d'eau et incliné, ne présentent plus d'aquifères. Venant de l'Ouest, les horizons aquifères se sont biseautés progressivement vers l'Est et disparaissent complètement avec le socle ancien métamorphique et granitique des Mauritanides (Mission chinoise de BEIJING, 1982 ; BRGM, 1990).

I.2.2.2- Paramètres Hydrodynamiques

Les paramètres hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité, coefficient d'emménagement) de l'aquifère du Continental Terminal sont hétérogènes et leurs variations sont liées à celles des caractéristiques hydrauliques et hydrogéologiques dont l'épaisseur du niveau aquifère. Ils sont donc variables suivant le secteur et l'horizon aquifère considéré. Le CT, du fait de son épaisseur relativement faible dans le sud-ouest du Trarza, comporterait un seul niveau aquifère (BRGM, 1990).

Les transmissivités de cet aquifère calculées dans les environs de Mederdra, sont de l'ordre de 5.10^{-3} à $10^{-2} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ et beaucoup plus faibles de l'ordre de $10^{-4} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ à R'Kiz (Tableau 1) (BRGM, 1990).

Le coefficient d'emménagement est très variable, des forages réalisés à Kraâ El Ahmar dans les environs de Mederdra ont fourni une valeur de 10^{-3} alors qu'au niveau de Tiguent, ce coefficient est évalué à 10^{-1} (BRGM, 1990).

La perméabilité des sédiments hétérogènes du Continental Terminal varie de 0,25 à 3,1 $\text{m}.\text{s}^{-1}$ à travers le bassin. Cette perméabilité est très faible voir inexistante aux abords de l'océan Atlantique et à certains endroits, en raison de la présence de conglomérats coquilliers cimentés à semi-cimentés, comporte une forte étanchéité (Mission chinoise de Beijing, 1982).

Tableau 1 : caractéristiques hydrodynamiques des forages et puits captant le CT dans le sud-ouest du Trarza (BRGM,1990)

Localités	T ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)	Localités	T ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)
Bareïna	$1,2.10^{-3}$	Jaber	$2,0.10^{-3}$
Bou El Ghorbane	$2,0.10^{-3}$	Mederdra	$1,0.10^{-3}$
El meteyene	$1,5.10^{-3}$	Keur Moundi	$2,0.10^{-3}$
El meteyenne er	$2,8.10^{-3}$	Loumbour	$4,4.10^{-3}$
Mederdra	$2,7.10^{-3}$	Mayou Chayed	$0,1.10^{-3}$
Bouer Torres	$8,6.10^{-3}$	R'Kiz	$0,5.10^{-3}$
Naïmat	$5,0.10^{-3}$	AEP Rosso F1	$8,7.10^{-3}$
Jlefty	$1,3.10^{-3}$	AEP Rosso F2	$3,5.10^{-3}$
Charat	$6,0.10^{-3}$	Hassi El Moctar F1	$7,5.10^{-3}$
El Goueissi	$6,0.10^{-3}$		

I.2.2.2.3- Piézométrie

Dans le sud-ouest du Trarza, l'aquifère du CT est essentiellement captif. Il est libre à semi-captif dans la région de Rosso. A partir de l'océan Atlantique et de l'extrême sud-ouest du fleuve Sénégal, les eaux s'écoulent, entre le biseau salé et le biseau sec vers la dépression piézométrique. Le niveau d'eau dans les argiles rencontrées dans des forages au voisinage de Rosso, est inférieur de 1 à 2 m par rapport au plan d'eau du fleuve, et est également différent du niveau d'eau dans les sables (Hydroconseil, 2001) (Fig. 11).

a)- Ecoulement des eaux dans le sud-ouest du Trarza

Les courbes d'isoprosfondeur de la nappe par rapport au niveau de la mer dans cette région présentent un gradient d'abaissement de direction SW-NE, entre le biseau salé à l'ouest et le biseau sec à l'est .A partir de l'océan et de l'extrême sud-ouest du fleuve Sénégal, les eaux s'écoulent vers la dépression piézométrique de Aquilal Faye avec une pente relativement importante. L'alimentation de la nappe phréatique à partir des écoulements qui prennent naissance dans le fleuve Sénégal, est limitée à une pénétration d'une dizaine de kilomètres (Depagne, 1963).

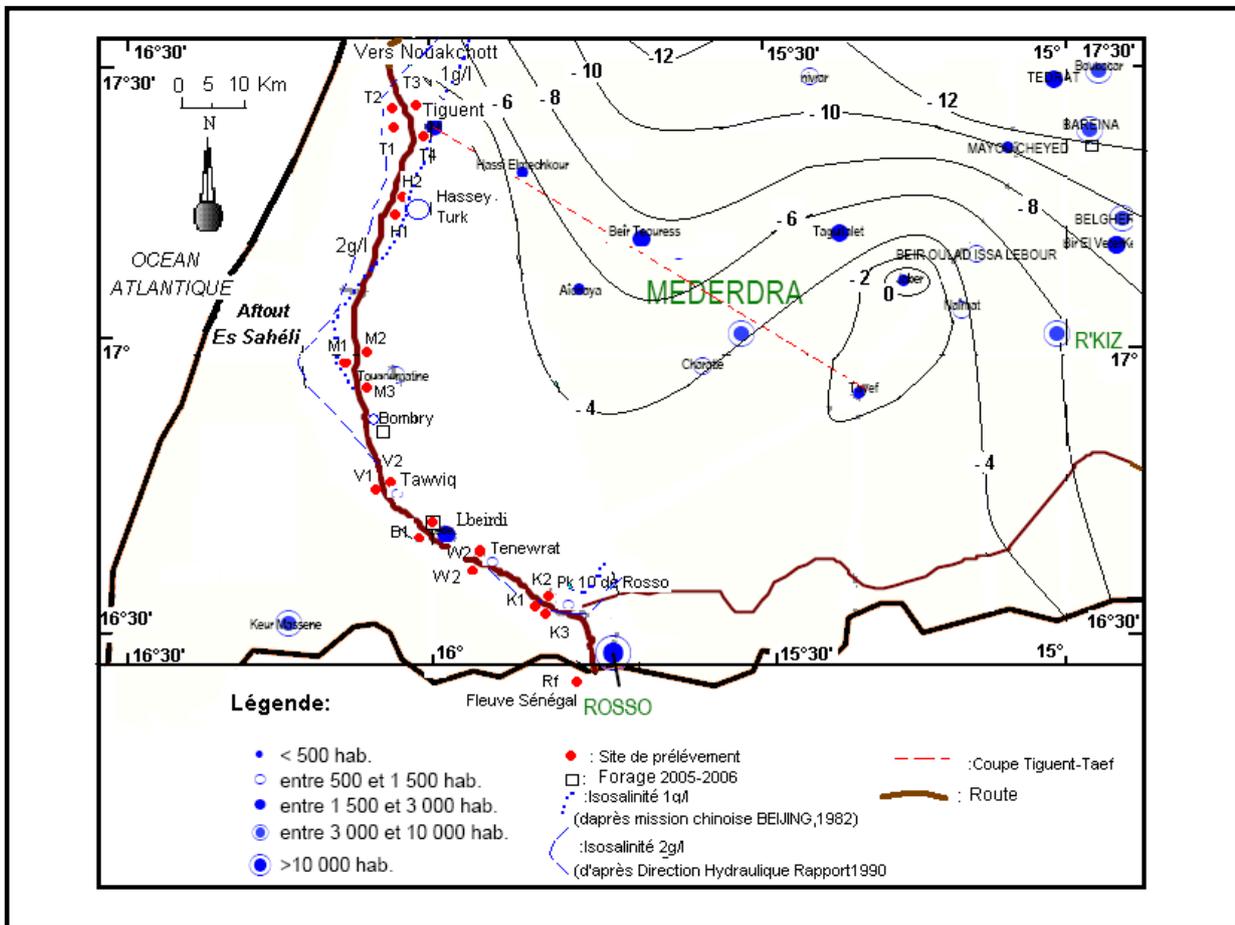


Figure 11 : Carte piézométrique du CT au sud-ouest du Trarza (Hydroconseil, 2001)

b)- Alimentation des aquifères

Les eaux de la nappe du Trarza se seraient emmagasinées durant une période humide du Quaternaire (12 000 - 5 000 B.P.) où le niveau de la mer était supérieur au niveau actuel (Elouard, 1967 ; Deing, 1965). La nappe étant en creux avec sa dépression maximale à

Aquilal Faye à -40 m, les écoulements naturels des masses d'eau avoisinantes convergeraient vers ce secteur suivant des pentes relativement faibles de 0,1 ‰ en bordure du fleuve Sénégal.

L'alimentation de la nappe se trouve potentiellement commandée par quatre processus :

- les phénomènes pluviométriques qui peuvent assurer par infiltration directe des eaux de pluie une alimentation. Cependant, la faible pluviométrie actuelle, inférieure au seul de 400 mm de pluviosité efficace en zone subsaharienne, les températures élevées et la forte évaporation, sont défavorables à cette alimentation (Archambaut, 1987);

- les drainages des nappes voisines du Brakna et de l'Amchetil qui reçoivent les eaux de ruissellement en provenance des régions du socle précambrien. Ces drainages peuvent être peu conséquents à l'image de la pluviométrie, souvent faible et irrégulière (Archambaut, 1987) ;

- les phénomènes d'infiltration horizontale de l'océan Atlantique et/ou du fleuve Sénégal, qui convergent vers la dépression piézométrique de la nappe. La perméabilité, relativement faible, des faciès argileux, des alluvions fluviales et le colmatage des berges par des limons, ont conduit à minimiser la participation du fleuve dans ces phénomènes (Clouet D'Orval et *al.*, 1980 - 1981 ; BRGM, 1986). Cependant, ce fait n'est pas clairement établi et les fluctuations des niveaux statiques dans les puits et les forages entre la saison sèche et crues du fleuve Sénégal, établissent que la nappe superficielle, au dessus de la nappe du Trarza, est alimentée par le fleuve (Depagne, 1963). L'infiltration marine, par un processus d'intrusion lent et continu à travers des sédiments perméables ou semi-perméables ($2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$) de la côte, est en mesure d'entraîner le déplacement du front salé. Néanmoins, les travaux bibliographiques existants, n'ont pas mis en évidence le fait que ce déplacement, autre que l'influence des terrains salés côtiers, reliques des transgressions marines anciennes, soit à l'origine de la salinisation des eaux douces, responsable de l'extension de la frange salée (BRGM., 1965) ;

- les communications entre niveaux aquifères par interruption de l'horizon argileux de séparation. Au niveau d'Idini, l'aquifère profond du CT semble être bien isolé de la nappe sub-phréatique sus-jacente par de grès argileux épais de 80 m. En effet, depuis 1958, son niveau piézométrique est resté stationnaire malgré les pompages de plus en plus intensifs effectués sur la nappe sub-phréatique. Par contre, cette dernière est en contact direct en plusieurs endroits avec la nappe phréatique. L'étude du BRGM (1986) a mis en évidence une

couche d'argile parfois sableuse (d'environ 10 m d'épaisseur) qui constitue le toit de la nappe sub-phréatique. Cette couche est absente par endroit ou est remplacée par des sables argileux ou par des sables. Ce qui met en contact les deux nappes sub-phréatique et phréatique formant ainsi une nappe unique souvent semi captive.

I.3- CONCLUSION

La zone d'étude se caractérise par un climat particulièrement complexe dû aux influences sahéliennes au sud du parallèle de Nouakchott et sahariennes au nord de cette limite. Elle présente une longue saison sèche d'octobre à juin et une courte saison pluvieuse de juillet à septembre pendant lesquelles s'établissent respectivement des vents qui sont l'harmattan et la mousson.

Le secteur de l'étude s'inscrit dans la partie occidentale du vaste bassin sénégalo-mauritanien. La géologie du secteur d'étude est connue grâce aux nombreux sondages de recherches d'eau. Elle présente d'importantes variations latérales et horizontales de faciès sédimentologiques et, est caractérisée par les dépôts de nature variée, témoignant des changements de conditions de sédimentation au cours des différentes périodes géologique. Ainsi dans le secteur étudiée, le Maastrichtien est grésosableux, le Paléocène, calcaire, l'Eocène, marneux ou argileux et le Continental Terminal grès bariolés plus ou moins argileux, sable fin à grossier et d'argile.

Sur le plan hydrogéologique, différents types d'aquifères sont rencontrés et exploités dans la zone d'étude pour l'approvisionnement en eau potable des populations. Parmi ceux-ci on peut citer : les aquifères du Paléocène, de l'Eocène et surtout celui du Continental Terminal, qui fait l'objet de cette présente étude dont les résultats sont présentées dans le troisième chapitre.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

II.1- METHODE D'EXECUTION DES FORAGES

II.1.1- Matériel utilisé

II.1.1.1- Matériel de forage

Ce matériel est constitué d'une machine foreuse de type STENUICK 1500 avec tous ses accessoires (Fig.12) : (vibrateur, câbles, désableur, pompe à boue, outils de forage, tiges et groupes électrogènes, émulseur, etc.).

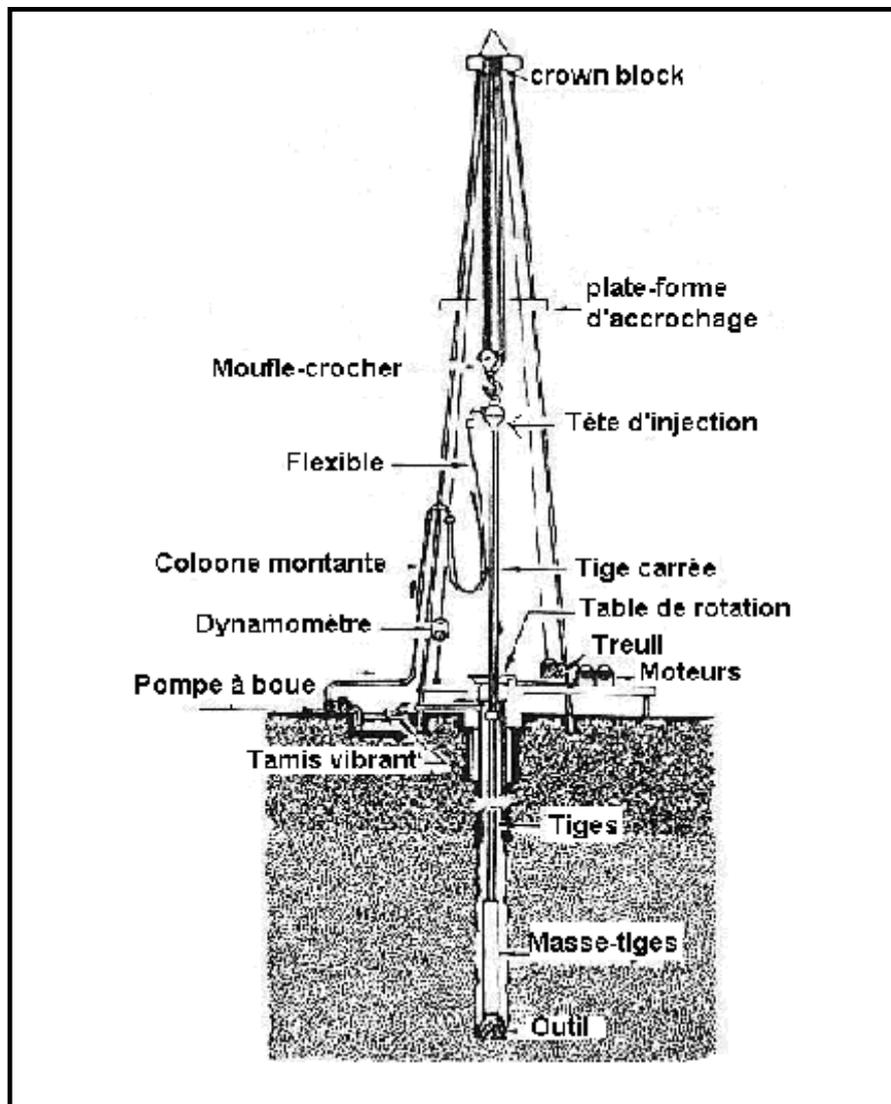


Figure 12 : Dispositif d'un atelier de forage au rotary (Mabillot, 1977)

II.1.1.2- Les outils de pompage

Le matériel utilisé pour les essais de nappe et puits est le suivant :

- une pompe type CAPRARI E8 S55/4A remplie d'une solution de refroidissement et de lubrifiant et munie d'un système de clapet de retenue relié au moteur par un arbre ;
- un groupe électrogène relié à une armoire permettant de contrôler la tension du courant fourni ;
- un tuyau de refoulement muni d'une vanne réglant le débit et d'un tube de Pitot à son extrémité pour mesurer ce débit ;
- un bac de 60 litres permettant de vérifier les mesures de débit ;
- une sonde lumineuse et sonore pour les mesures de niveau d'eau dans le forage.
- un électropompe immergée de type SP 46 de puissance $65 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;
- GPS pour mesurer les coordonnées des ouvrages.

II.1.2- Les méthodes utilisées pour l'exécution des forages

En fonction de la nature des terrains à forer, nous avons utilisé la technique du rotary à la boue benthonite.

II.1.2.1- Technique de forage au rotary

C'est la technique la plus utilisée et son procédé repose sur le broyage et l'abrasion des roches par l'outil. Il permet de forer de grandes profondeurs par jour et de faire des «logs» de diagraphies avant le tubage.

II.1.2.1.1- Le principe

Un outil (tricot) est monté au bout d'une ligne de sonde qui comprend des vissées les unes des autres, une tête d'injection et des masses tiges.

Cet outil est animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation vertical sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique. Le mouvement de rotation est assuré par un moteur situé sur la machine de forage en tête du puits. Les tiges étant creuses, permettent l'injection de la boue au fond du forage dont la circulation se fait en circuit fermé en passant par des bacs de décantation.

II.1.2.1.2- La boue bentonite

Elle est constituée principalement par une argile smectite qui est la montmorillonite. La bentonite joue un rôle important dans l'exécution des forages d'eau notamment par leur propriété de s'hydrater et d'augmenter considérablement de volume lorsqu'elle est dispersée dans l'eau.

Les caractéristiques de cette boue (viscosité, pH, etc.) peuvent être mesurées au cours de la foration. Une bonne viscosité permet d'avoir un outil bien dégagé et de réduire les pertes de charges dans le train de tige. Elle est mesurée par un viscosimètre.

La boue peut avoir comme fonction :

- l'évolution et l'entraînement des débits de forage ;
- le maintien des paroi du trou de sonde : c'est le "cake", dépôt consolidant les parois du trou ;
- le nettoyage et le refroidissement de l'outil ;
- la mise en évidence des venues d'eau ;
- le maintien des venues d'eau intempestive dans les terrains.

II.1.2.2- Equipement des forages

II.1.2.2.1- les échantillonnages des cittings

Le prélèvement d'échantillons intacts s'effectue lors d'un carottage continue. Généralement, le suivi des roches forés s'effectue lors de l'examen des débris (ou cuttings) issus du broyage des roches par l'outil de tête du forage et remontés en surface par la boue qui circule dans le trou. Lorsque celui-ci est réalisé des appareils de mesure peuvent être introduits et servent à mesurer en continu le long des parois les caractéristiques physiques des roches forées.

L'échantillonnage consiste à prélever lors de la foration de chaque 2 m, les cuttings sortant jusqu'au dernier mètre de foration (dernière tige) et finalement reconstituer une coupe lithologique de forage par l'ensemble des échantillons prélevés. C'est ainsi que le prélèvement des échantillons réalisés dans ces forages permet de connaître en particuliers la position du réservoir, la nature des formations imperméables et le type de réservoir : libre, confiné, etc.

II.1.2.2.2- Choix du tubage

Le tubage utilisé pour ces quatre forages est en PVC de diamètre 8" (203,2 mm). La longueur de la chambre de pompage dépendant du niveau maximum rabattu prévisionnel, elle doit dépasser de quelques mètres le niveau dynamique de l'eau dans le forage.

Il est souhaitable de respecter les règles suivantes (Solage, 1979) :

- laisser au moins un jeu de un (1) pouce (25,4 mm) entre le diamètre de pompe et le diamètre intérieur du tubage ;
- laisser également du jeu entre les parois nues du trou et le tubage plein, notamment en prévision de l'espace annulaire pour une cimentation future.

En fonction du débit escompté et compte tenu des groupes électropompes à moteur immergé utilisé, le tableau 2 permet de choisir le tubage de la chambre de pompage.

La colonne d'exhaure doit être de même diamètre que la crépine. Pour éviter la corrosion d'origine électrique, le tube d'exhaure est séparé de la crépine par un raccord diélectrique.

Tableau 2 : Diamètres des chambres de pompage utilisés en forage d'eau (Doumouya, 1988)

Débit (m ³ /h)	5 - 20	20 - 50	50 - 150	150 - 200	200 - 250	250 - 300	300-400
Diamètres des pompes	95 mm 3"¾	188 mm 7"³/³²	241 mm 9"¹/²	241 mm 9"¹/²	241 mm 9"¹/²	318 mm 12"¹/²	318 mm 12"¹/²
Diamètres de la chambre de pompage	113 mm 4"¹/²	216 mm 8"⁵/⁸	269 mm 10"³/⁴	294 mm 11"³/⁴	334 mm 13"³/⁸	400 mm 16"	400 mm 16"

Le tableau 3, résume toutes les informations des différentes parties du trou foré et des tubages utilisés.

Tableau 3 : Diamètre de foration et de tubage des différentes parties des forages

Pose d'un tubage technique	Diamètre de la chambre de pompage	Diamètre du captage
Lbeirdi		
Forage en diamètre 12 ^{1/4} de 0 à 3 m (Avant trou)	Forage en diamètre 10 ^{5/8} de 3 à 30 m et 42 à 44 m	Forage en diamètre 10 ^{5/8} de 30 à 42 m
Tubage en diamètre 10 ^{3/4}	Tubes pleins (tubage en PVC) vissé en fibre de verre, en diamètre 8 ^{7/8} vissé	Crépines en diamètre 8 ^{7/8}
Baraina		
Forage en diamètre 12 ^{1/4} de 0 à 8 m (Avant trou)	Forage en diamètre 10 ^{5/8} de 8 à 86 m et 110 à 112 m	Forage en diamètre 10 ^{5/8} de 86 à 110 m
Tubage en diamètre 10 ^{3/4}	Tubes pleins (tubage en PVC) vissé en fibre de verre, en diamètre 8 ^{7/8} vissé	Crépines en diamètre 8 ^{7/8}
Bombry		
Forage en diamètre 12 ^{1/4} de 0 à 4 m (Avant trou)	Forage en diamètre 10 ^{5/8} de 4 à 32 m et 47 à 49 m	Forage en diamètre 10 ^{5/8} de 32 à 47 m
Tubage en diamètre 10 ^{3/4}	Tubes pleins (tubage en PVC) vissé en fibre de verre, en diamètre 8 ^{7/8} vissé	Crépines en diamètre 8 ^{7/8}

II.1.2.2.3- Le captage

a) Le choix des crépines

Le vieillissement prématuré des forages qui alimentent la région Rosso et des environs en eau potable, est souvent simultanément causé par la mauvaise détermination des caractéristiques techniques des forages et par la surexploitation (1990).

L'ouverture des crépines doit permettre le passage et l'élimination pendant le développement du forage des éléments les plus fins de formation mais, elle doit également être inférieure à la plus faible granulométrie du gravier.

Certains auteurs fixent l'ouverture maximale des crépines à D_{10} , mais pour :

- TERZAGHI (1943) : e (épaisseur des crépines) = d_{85} ;

- JOHONSON (USA) : $e = D_0 = 7d_{10}$;

- JOHONSON (FRANCE) : $e = d_{60}$.

«D» représente un diamètre des grains de l'aquifère

«d» représente un diamètre des grains du massif filtrant

Afin d'éviter un régime turbulent de l'eau pouvant entraîner une mobilisation des éléments solides du terrain, il est souhaitable que la surface de vides des crépines soit la plus grande possible.

Les crépines utilisées dans ces forages sont de type PVC et présentent une résistance à la corrosion intercrystalline et sont bien adaptées aux formations aquifères peu épaisses et fines ou assez fines.

b)- Le choix des niveaux captés

En dépit de nombreuses études effectuées sur l'aquifère du Continental Terminal, le choix du niveau à capter pose toujours de problèmes surtout au forage Lbeirdi. A ce niveau vers la côte +44 m, on était obligé d'arrêter le forage car le tricône déclenchait. Donc la zone comprise entre 30 m et 42 m devait être crépinée soit 12 m de crépine.

Le forage Baraina a été arrêté à 115 m dans les formations argileuses imperméables. L'analyse des cuttings montre que la formation sableuse grossière se situe entre 86 et 110 m soit une épaisseur de 24 m. Puisque les crépines ont été déjà commandées avant l'exécution de l'ouvrage, la longueur crépinée s'élève à 20 m.

c)- Gravier additionnel et cimentation

Le massif filtrant est de type siliceux, propre à élément arrondi dépourvu d'éléments fins argileux. Son diamètre se situe entre 1 à 1,6 mm. Ce gravier joue les rôles de limiter les pertes de charges et d'éviter tout risque de cimentation ou de dissolution au contact avec l'eau ou durant la phase d'acidification.

La mise en place du gravier est effectuée par gravité à travers une colonne de tube munie d'une trémie entonnoir à sa partie supérieur, descendue dans l'espace annulaire.

La cimentation consiste à remplir, par un mélange à base de ciment, tout ou une partie de la hauteur de l'espace annulaire entre le tubage et les parois du forage. Le but à atteindre par cimentation est le suivant :

- rendre étanche cet espace annulaire et empêcher la pollution par les eaux de surface ;
- ancrer les colonnes du tubage au terrain et les protéger ainsi contre les attaques corrosives de certaines eaux.

Avant d'effectuer cette opération, il faut calculer le volume de mélange de ciment à injecter. Il est donné par la formule suivante :

$$V = H/2(d_1^2 - d_2^2)$$

H = hauteur de cimentation ;

d₁ = diamètre de foration ;

d₂ = diamètre du tubage.

II.1.2.2.4- Equipement des forages et coupes techniques

Les caractéristiques des forages sont résumées dans les figures des coupes lithologiques et techniques (voir annexe 4). Les coupes techniques définitives sont différentes des coupes techniques prévisionnelles. Cela est dû aux énormes difficultés rencontrées au cours de l'exécution de ces ouvrages.

II.1.2.3- Le développement et les essais de pompage

On a procédé à un développement et à un essai de pompage de réception provisoire après l'équipement des forages.

II.1.2.3.1- Le développement

Le développement d'un forage d'eau consiste entre autre d'améliorer la perméabilité de la formation aquifère située autour de la crépine, la capacité spécifique de l'ouvrage, d'éliminer le « cake » et tout ce qui a pénétré dans le forage et d'éviter les venues de sables pouvant endommager la crépine, la pompe dues souvent au colmatage par le sable et le tassement du massif filtrant. Divers méthodes de développement existent mais les plus utilisées sont les suivantes :

a)- Le traitement chimique

Aussitôt après le gravillonnage et la cimentation, trois traitements à l'hexamétophosphate de sodium ont été effectués. Pour chaque traitement, on a utilisé une

solution à 25 %. Ces traitements permettent la défloculation de la boue colmatée au fond et autour du trou et la dispersion des argiles du terrain.

b)- Le développement par pompage alterné

On met le forage en production par pompage et on provoque des arrêts brusques de la pompe. Il se crée ainsi des variations brutales de pression qui ont pour effet de nettoyer la formation.

c)- Le développement par pistonnage

On utilise un piston actionné verticalement dans les deux sens à l'intérieur d'un forage tubé et crépiné.

Dans un mouvement de descente, le piston comprime la nappe. Il refoule dans le terrain les fines particules qui n'ont pas été entraînées par l'opération.

Dans un mouvement de remontée, le piston crée une dépression qui attire l'eau et le sable fin de la formation vers la crépine. Ce sable qui va traverser la crépine pourra être extrait par cuillérage ou par air lift.

d)- Le développement à l'air lift

Il consiste à introduire une colonne d'eau et une couche d'air dans le captage. A l'aide d'un compresseur, de l'air est introduit à travers la colonne d'air ce qui crée une pression résiduelle au fond de l'ouvrage. Cette pression permet de remonter l'eau et les sédiments à la surface.

e)- Le développement à la pompe immergée

Dans ce cas, on peut mesurer le débit et le rabattement en même temps. Ce procédé s'effectue après le dévisage du filetage droite gauche ou la baïonnette et le désherbage des tubes de largage.

II.1.2.3.2- Les essais de pompage

Un pompage d'essai consiste à prélever dans un ouvrage un débit et à suivre simultanément les variations de niveau de la nappe sollicitée dans un ou plusieurs ouvrages satellites, située à diverses distances de l'axe du puits d'essai, et généralement dénommés

« piézomètre ». Il n'est pas interdit, bien au contraire, de suivre également les variations de niveau dans l'ouvrage de prélèvement (Demassieux, 1989).

Son but essentiel est de s'assurer de la bonne réalisation des travaux avant toute acceptation de la part des commanditaires. Ainsi deux types d'essai sont à distinguer : les essais de puits et les essais de nappe.

a)- Les essais de puits

Ces essais sont exécutés pour obtenir des renseignements sur les caractéristiques de l'ouvrage. On peut ainsi déterminer le débit d'exploitation pour choisir le type de pompe et estimer le coût du pompage.

Quatre paliers de débit d'une heure de pompage chacun suivi d'une heure de remontée ont été effectués. A fin de chaque palier, on note le débit (Q) et le rabattement mesuré. annexe 2 (Tableau2)

b)- Les essais de nappe

Ce sont les pompages de longue durée, avec un seul palier de débit constant durant l'essai la durée de l'essai doit être au minimum 42h.annex2 (Tableau3a) .Les rabattement sont mesurés aussi bien pendant la descente que la remontée.annexe2.

Ils permettent de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques d'un aquifère comme les conditions aux limites, les hétérogénéités, la drainance, la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement.

A cause de l'étroitesse des sites et de faibles quantités d'eau souterraine dans la région du Trarza, il a été difficile d'exécuter un pompage de longue durée. Néanmoins, on est parvenu à réaliser un essai de 20 heures au Lebeirdi, Baraina et Bombry (voir annexe 2,Tableau3b).

II.2- ACQUISITION DES DONNEES HYDROCHIMIQUES

II.2.1- Les prélèvements

Les sites des mesures physico-chimiques ont été choisis suivant des axes parallèles au rivage de la zone Tiguent (à environ 100 km de Nouakcote) à Rosso en bordure du fleuve Sénégal (Cf. Fig.1).

De novembre 2005 à avril 2006, six campagnes de prélèvements mensuels de 19 points d'eau captant l'aquifère du Continental Terminal dans le sud - ouest de la région du Trarza, ont été réalisées.

Les conditions d'échantillonnage sont assez variables, vu la diversité des ouvrages hydrauliques (Puits traditionnels et forages). Pour les puits traditionnels, un *delou* permet de récupérer directement l'eau et pour les forages, le prélèvement est fait à partir du robinet, après un écoulement suffisant pour s'assurer de la venue d'eau du forage en régime de pompage.

II.2.2- Les mesures physico-chimiques

Les paramètres physiques comme le pH, la température et la conductivité électrique ont été mesurés sur le terrain à partir d'un pH-mètre à microprocesseur WTW 196 et d'un conductimètre à microprocesseur WTW196 LF.

Au laboratoire, les analyses des échantillons d'eau ont été effectués systématiquement sur les éléments chimiques : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ pour les cations et Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Br^- et NO_3^- pour les anions par des méthodes volumiques et spectrométriques :

- le calcium et le magnésium sont dosés simultanément par la méthode volumique complexométrique à l'E.D.T.A. ;

- les chlorures par la méthode volumique argentimétrique de Moher ;

- les teneurs carbonates et en bicarbonates par un dosage volumique acido-basique ;

- les sulfates sont dosés par la méthode néphélométrique au chlorure de baryum sur un spectrophotomètre Spectronic 20 D Milton Roy Compagny ;

- les concentrations en sodium et en potassium, par spectrophotomètre de flamme sur un photomètre JENWAY PEP 7 ;

- le dosage des nitrates, de nitrites, de l'ammoniaque, et du fer est réalisé par colorimétrie, respectivement au salicylate de sodium, au réactif de Zambelli, à l'hypochlorite de Sodium et à l'orthophénanthroline. Les concentrations de ces éléments sont déterminés avec une précision comprise entre 2 et 4 %. Les mesures colorimétriques et néphélométriques sont effectuées sur un spectrophotomètre Spectronic 20 D Milton Roy Compagny qui présente une erreur de mesure de l'ordre 2% ;

- et le dosage des bromures, par chromatographie en phase liquide au laboratoire d'Hydrologie et de Nuisances de la ville de Nice en France.

II.2.3- Traitement des données

Les données des analyses chimiques ont fait l'objet d'un traitement à partir des différentes méthodes d'interprétation en hydrogéologie :

- le diagramme de Chadha (1999) dans le but de classer les eaux souterraines et d'identifier les différents processus hydrochimiques intervenant dans la minéralisation des eaux souterraines de l'aquifère du Continental Terminal dans sud Ouest du Trarza;

- et des diagrammes binaires permettant de comprendre l'origine et processus de la minéralisation des eaux de la nappe.

N.B : L'erreur de la balance ionique est calculé par le rapport de la différence des anions et des cations sur leur somme :

$$\epsilon = \left| \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \times 100 \right|$$

Dans notre cas, l'erreur ϵ inférieure à 5% pour tous les ouvrages (annexe3 tableau1b), l'analyse donc sera acceptable.

II.3- CONCLUSION

Les données brutes de mesures physico-chimiques sont traitées et stockées dans un micro-ordinateur. Un tableau comportant les paramètres étudiés regroupe les résultats pour chaque site d'étude (voir annexes 3, tableau1b).

Les différentes méthodes d'investigation en hydrogéologie ont été utilisées et ont permis d'obtenir avec l'aide de l'outil informatique (logiciels de traitement des données hydrogéologiques et des cartes), les résultats présentés et discutés dans le chapitre III, consacré aux résultats de la présente étude.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1- EXECUTION DES FORAGES

III.1.1- Reconstitution de terrains traversés

La reconstitution des formations géologiques traversées est faite essentiellement à partir des descriptions macroscopiques des cuttings (Fig. 13).

Pour forage Lbeirdi la description montre que les terrains traversés sont moyenne argileux jusqu'à 45 m de profondeur. Les résultats des analyses des cuttings sont :

De 0 à 18	Sable rouge ;
De 18 à 26	Sable argileuse noire ;
De 26 à 30	Argile sableuse
De 30 à 33	Sable fin de couleur blanchâtre ;
De 33 à 43	Sable fin peu argileux ;
Et de 43 à 45	on rencontre argile plastique.

Alors que pour forage Baraina la description montre que les terrains traversés sont très peu argileux jusqu'à 110 m de profondeur.

De 0 à 20 m	Sables dunaire moyen rougeâtre,
De 20 à 30 m	Sable fin beige ;
De 30 à 54 m	Sable fin rougeâtre ;
De 54 à 60 m	Sable fin blanchâtre ;
De 60 à 81 m	Sable moyen à peu grossier beige ;
De 81 à 115 m	Sable fin blanchâtre.

Pour forage Bombry les résultats des analyses des cuttings sont :

De 0 à 4 m	Sable argileux grisâtre,
De 0 à 9 m	Sable fin jaunâtre ;
De 9 à 22 m	Sable fin blanchâtre ;
De 22 à 24 m	Sable fin argileuse ;
De 24 à 32 m	Sable fin argileuse rosâtre ;
De 32 à 41 m	Sable fin à moyen argileux rosâtre ;
De 41 à 52 m	Sable moyen beige.

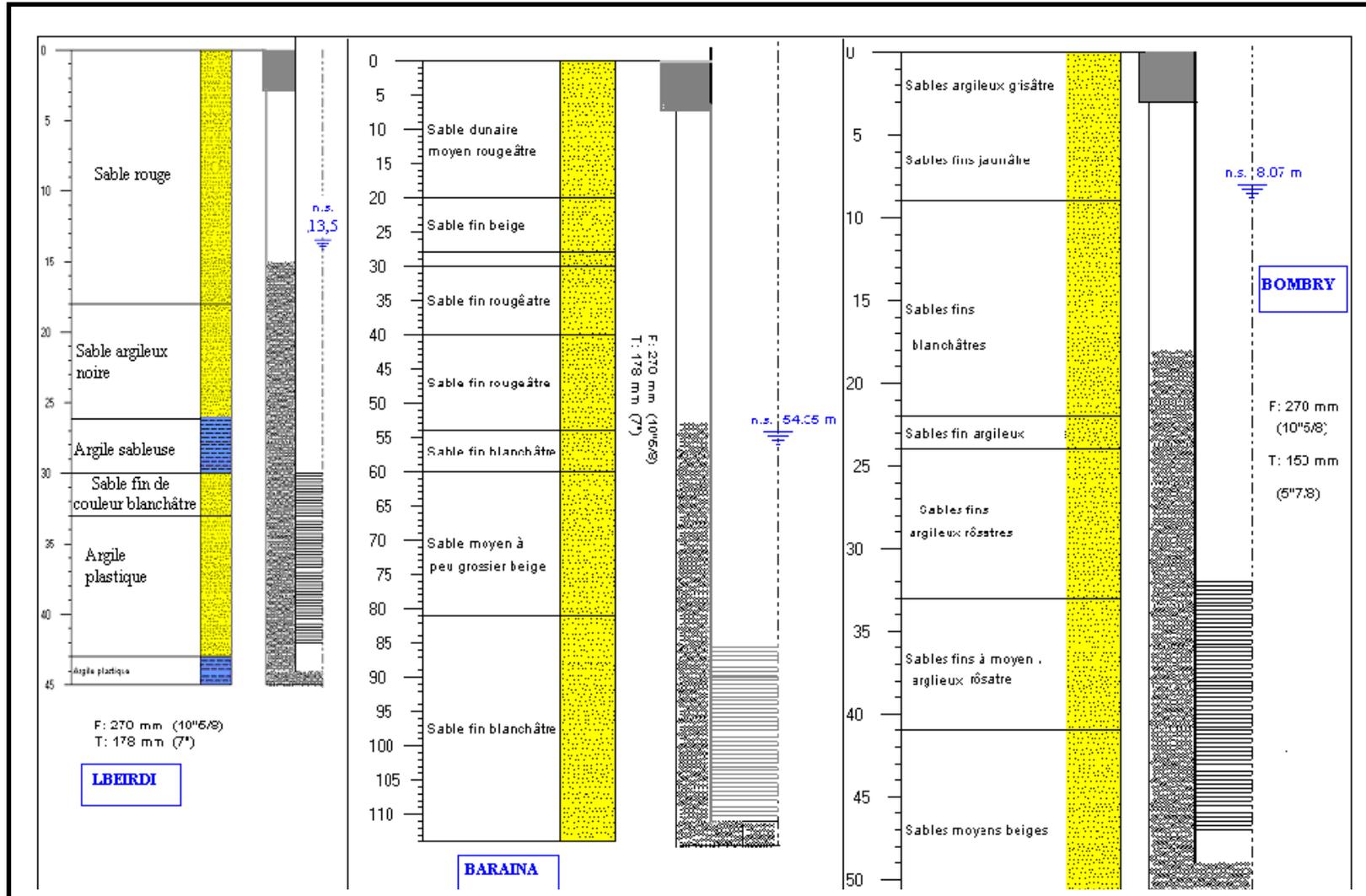


Figure 13 : Coupes lithologiques des forages de Lbeirdi, Baraina et Bombry.

III.1.2- Interprétation des essais de pompage

Les données de l'expérimentation des essais qui font l'objet de cette interprétation sont consignées dans les tableaux 1,2 et 3 en annexe (2).

III.1.2.1- Essai de puits

III.1.2.1.1- Courbe caractéristique [s=f (Q)]

Elle constitue une fiche d'identification ultérieure des améliorations ou des détériorations suite à l'exploitation de l'ouvrage. Elle permet de déterminer le débit maximum d'exploitation, fonction d'un rabattement maximum admissible (Castany, 1982).

Elle est obtenue en portant le couple de données de chaque palier (débit en $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ et le rabattement en m) sur un papier millimétré (Tableau4). Les points obtenus permettent de tracer la courbe [s= f (Q)].

Tableau 4 : Essais de puits par paliers de débit courtes durées dans les trois forages

	Q($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	s _{obs} (m)	s/Q ($\text{m}/\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	Q/s ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}/\text{m}$)
LBEIRDI	3,870	0,270	0,070	14,333
	7,910	0,530	0,067	14,925
	12,300	0,820	0,067	15,000
	14,010	1,100	0,079	12,736
BARAINA	6,950	1,570	0,226	4,427
	13,720	2,920	0,213	4,699
	20,950	4,930	0,235	4,249
	23,600	5,280	0,224	4,470
BOMBRY	7,400	1,330	0,180	5,564
	13,500	2,410	0,179	5,602
	16,400	2,880	0,176	5,694
	20,700	3,720	0,180	5,565

III.1.2.1.2- La détermination du débit critique

Le débit critique représente la valeur au-delà de laquelle, il apparaît des pertes de charges dans l'ouvrage. Il correspond au point où la courbe quitte l'allure linéaire pour prendre une forme parabolique, et est noté Q_{cr} et s'exprime en $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$.

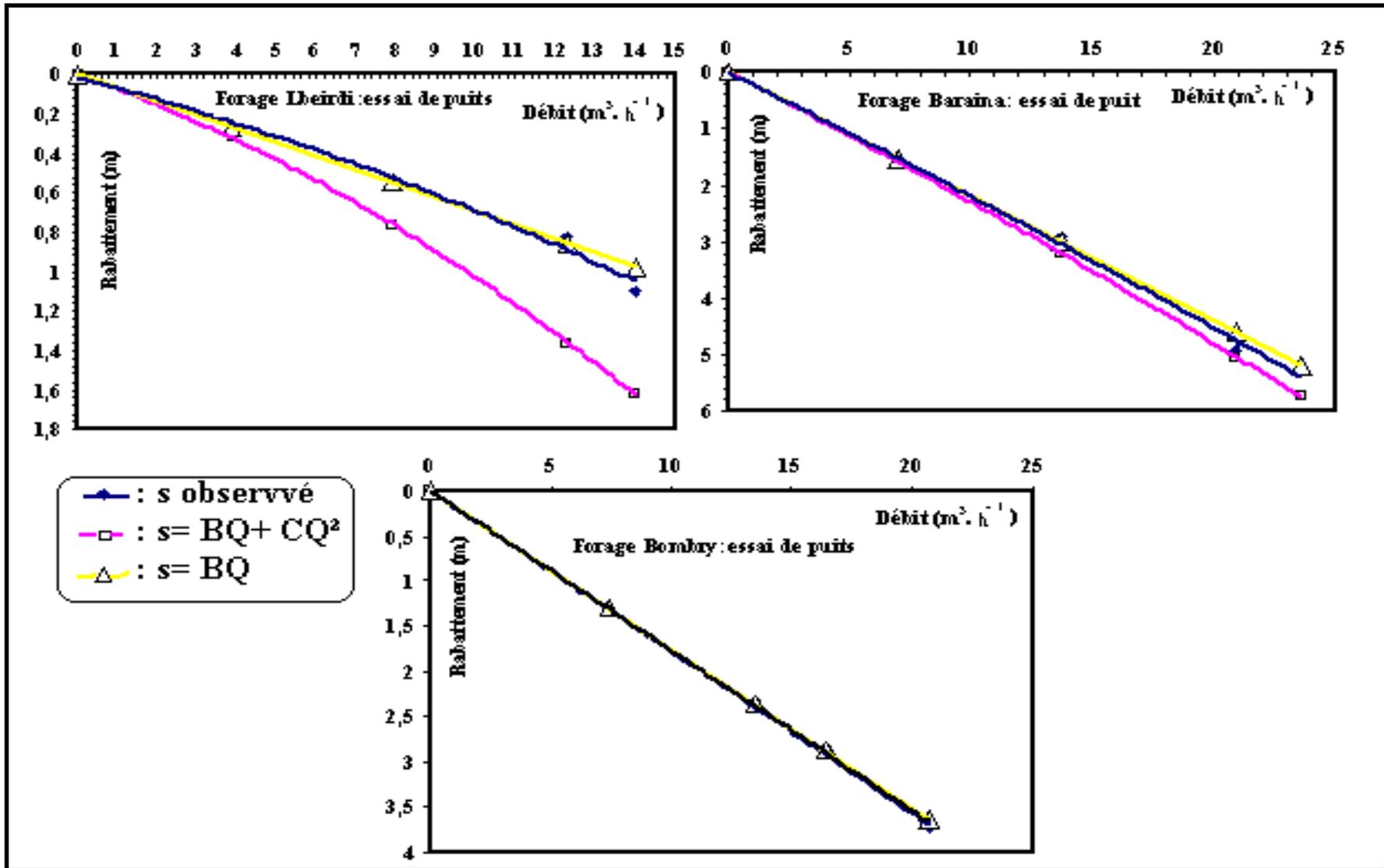


Figure 14 : Courbe caractéristique des forages (Lbeirdi, Baraina et Bombry) : rabattement en fonction du débit : $s=f(Q)$

La courbe obtenue au niveau de Lbeirdi présente une allure convexe. De plus, elle ne se superpose pas complètement à la courbe théorique de Jacob.

Au niveau de Baraina et Bombry les courbes obtenues présentent une allure linéaire. De plus, elle ne se superpose pas complètement à la courbe théorique de Jacob au forage Baraina, par contre se superpose parfaitement à la courbe théorique de Jacob au forage Bombry. Ces observations traduisent que l'expérimentation est valable mais a été moins bien réalisée au forage Lbeirdi qu'au forage Baraina et très bien réalisée au forage Bombry (Fig.14).

Au forage Lbeirdi, la courbe quitte l'aspect linéaire à partir de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, ce débit représente le débit critique et le rabattement critique correspondant est donc de 0,82 m à Lbeirdi, par contre au forage Baraina, le débit critique n'est pas atteint (l'allure de la courbe étant une droite).

A Bombry la courbe obtenue se confond avec la courbe théorique de Jacob ; le débit critique n'a donc pas été atteint. Les pertes de charges sont donc négligeables.

III.1.2.1.3- Evaluation des pertes de charges par la méthode de Jacob

[courbe $S/Q = f(Q)$]

La réalisation technique d'un forage et de son dispositif de captage perturbe l'écoulement au voisinage de l'ouvrage. Ces diverses perturbations entraînent l'apparition, en période de pompage, d'une perte de charge supplémentaire qui s'ajoute à la perte de charge théorique qui serait imposée par le milieu poreux supposé capté dans les conditions idéales (Forkasiewicz, 1972).

L'évaluation du débit exploitable maximal d'un puits ou forage et le calcul des caractéristiques à donner à l'ouvrage, passe obligatoirement par le calcul des pertes de charge qui seront provoquées par le pompage d'exploitation.

Parmi ces pertes de charges, on distingue celles qui sont dues à la formation aquifère et celles causées par l'équipement du puits.

Au sud-ouest de Trarza puisque l'alimentation en eau des populations se fait par des forages peu profonds, le calcul des pertes de charges ne doit être toujours effectué pour apprécier la rentabilité des ouvrages de captage.

La figure 15 montre le report sur coordonnées cartésiennes des rabattements spécifique ($s/Q =$ débit de pompage pour chaque forage).

L'équation générale de la droite obtenue est de la forme : $[s/Q = B + CQ]$.

Le coefficient B est donné par l'intersection de la droite avec l'axe s/Q et le coefficient C représente la pente de la droite.

Le calcul des pertes de charges montre que l'essentiel du rabattement observé au niveau des forages Baraina, Bombry et Lbeirdi est due aux pertes de charges linéaires (BQ). Les pertes de charge quadratiques (CQ²) interviennent pour 3 à 10 % (Baraina), pour 0,33 à 1 % (Bombry), et pour 15 à 40 % (Lbeirdi) du rabattement total observé. L'importance des pertes de charge linéaires liées à la nappe au niveau du forage Bombry, peut être causée par la boue de forage utilisée lors de foration et qui n'a pas été éliminée. Ceci avait poussé le contrôleur à prolonger les opérations de développement.

Ces résultats expliquent respectivement la présence de la pente observée sur la courbe caractéristique de Lbeirdi et l'absence de cette pente sur celle de Bombry.

Dans les trois forages, les pertes de charges linéaires croissent en fonction du débit de pompage. (Tableau 5a).

Tableau 5a: Récapitulation des essais par palier des trois forages

	Q(m ³ .h ⁻¹)	B	C	BQ	CQ ²	s _{cal} (m)	BQ/s(%)	CQ ² /BQ(%)
LBEIRDI	3,87	0,07	0,0033	0,27	0,05	0,32	84,57	18,24
	7,91			0,55	0,21	0,76	72,83	37,29
	12,3			0,86	0,50	1,36	63,30	57,99
	14			0,98	0,65	1,63	60,20	66,00
BARAINA	6,95	0,22	0,001	1,53	0,05	1,58	96,94	3,16
	13,7			3,01	0,19	3,20	94,14	6,23
	21,6			4,75	0,47	5,22	91,06	9,82
	23,6			5,19	0,56	5,75	90,03	10,73
BOMBRY	7,4	0,176	8.10 ⁻⁵	1,30	0,00	1,31	99,66	0,34
	13,5			2,38	0,01	2,39	99,39	0,61
	16,4			2,89	0,02	2,91	99,26	0,74
	20,7			3,64	0,03	3,68	99,07	0,94

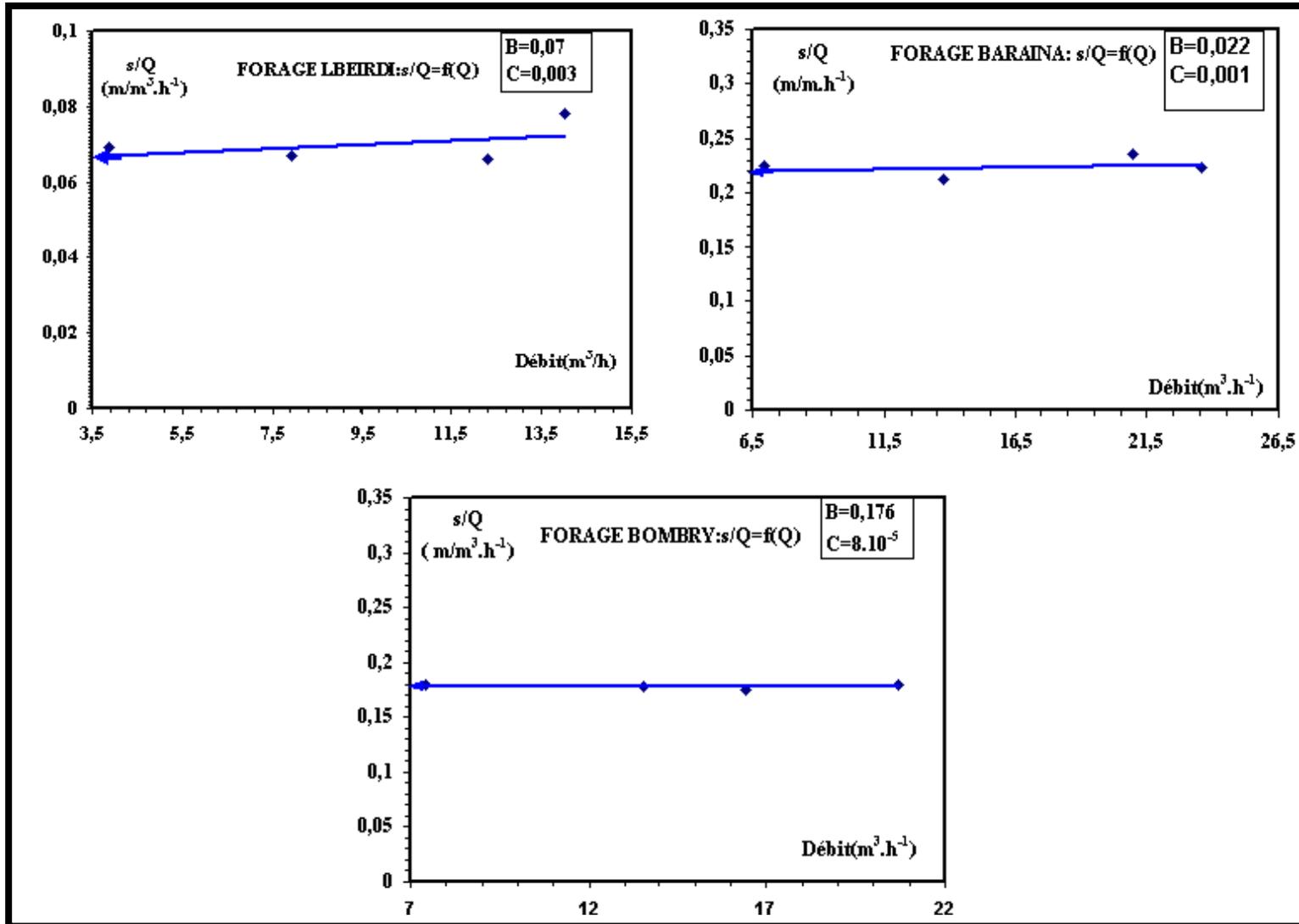


Figure 15: Détermination des constantes de Jacob (B et C) sur les forages de Lbeirdi, Baraina et Bombry

III.1.2.1.4- Débit d'exploitation maximum des ouvrages

Le débit maximum d'exploitation (Q_{\max}) l'on peut prélever dans l'ouvrage pendant un temps donné et dans des conditions données doit être inférieur à débit critique Q_c . Par conséquent, le rabattement maximum doit être inférieur au rabattement critique

Les courbes caractéristiques obtenues donnent un débit critique de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à Lbeirdi. Ce qui délimite le débit d'exploitation maximum à de débit inférieur aux débit critique.

Or d'après Castany (1982), le débit d'exploitation maximum peut être supérieur au débit critique. Dans ce cas, la perte de charge quadratique ne doit pas être élevée par rapport à la perte de charge linéaire. En général, on prend CQ^2 de sorte qu'il soit représente de 25% de BQ.

Il revient donc à évaluer d'une part, le pourcentage des deux types de pertes de charge par rapport aux pertes de charges totales, d'autre part, les pertes de charges quadratiques par rapport aux pertes des charges linéaires.

L'extrapolation raisonnable à partir de l'équation de Jacob [$s = BQ + CQ^2$] montre que cette condition est valable pour un débit de $55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à Baraina et de $5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à Lbeirdi. Cependant, le fait que le rabattement du forage Baraina soit élevé (15,25 m), il serait judicieux d'estimer le débit d'exploitation maximum à $55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Par contre le rabattement étant faible à Lbeirdi (0,48 m) et le rendement de 79,41 %, on peut relever la valeur du débit à $7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pour un rabattement de 0,63 m et un rendement de 76,72 %.(Tableau5b)

A Bombry, l'essai étant bien réalisé on peut proposer après extrapolation raisonnable un débit de $80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pour un rabattement de 14,59 m (Tableau 5b). L'exploitation de ce forage a été limitée à $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pour un rabattement de 7,16 pour éviter tout risque d'augmentation de la salinité de l'ouvrage. Ce débit couvre largement les besoins du village à court et moyen terme.

Tableau 5b : Récapitulation des essais puits pour les trois forages

	Q(m ³ .h ⁻¹)	B	C	BQ	CQ ²	s _{cl} (m)	BQ/s(%)	CQ ² /s	CQ ² /BQ(%)
LBEIRDI	5,5	0,07	0,0033	0,39	0,1	0,48	79,41	20,59	24,93
	7			0,49	0,147	0,637	76,72	24,81	30
BARAINA	45	0,22	0,001	9,9	2,03	11,93	83,02	16,98	20,45
	55			12,1	3,03	15,25	80	20	25
BOMBRY	40	0,176	8.10 ⁻⁵	7,04	0,128	7,168	98,21	1,79	1,80

III.1.2.1.5- Les productivités des forages

La productivité d'un puits, P_r , est le débit d'exploitation maximum d'un ouvrage correspond au débit qui peut être pompé dans l'ouvrage, pendant une durée définie, sans que le rabattement induit par le pompage ne dépasse le rabattement maximum admissible (Forkasiewicz, 1978).(Tableau 6)

$$P_r = q_s * s_{\max}$$

Tableau 6 : Déterminations les productivités des ouvrages

	q_s (m ³ /h.m)	s_{\max} (m)	P_r (m ³ .h ⁻¹)
Lbeirdi	14,33	0,63	7,3
Baraina	4.42	15,25	56,3
Bombry	5.56	5,35	29,5

III.1.2.2- les essais de nappe

Toutes les méthodes d'interprétation des pompages d'essai, sont basées sur la comparaison des expérimentaux avec une expression analytique, solution particulière d'une équation différentielle.

Les forages de Lbeirdi, Baraina et Bombry, sont interprétés par la méthode bilogaritmique et sem-logaritmiaue de JACOB (module Theis).

Les raisonnements suivis pour choisir cette méthode sont :

La couche aquifère est homogène, isotrope et d'extension latérale infinie ensuite les épontes sont imperméables (nappe captive), les diamètres des forages aussi sont faibles : effet de capacité de forage négligeable (Massy, 1993).Donc les hypothèses de Theis lui sont applicables.

III.1.2.2.1- l'interprétation par la méthode bi-logarithmique (bi-log)

Elle consiste à reporter les rabattement s observés en fonction du temps en coordonnées bi-log et a superposer la courbe obtenue avec la courbe théorique $u'=W(u)$, *de même module*

(Fig.16a). On choisit ensuite un point a l'endroit ou la courbe expérimentale coïncide avec la courbe de Theis. Cette identification fourni un couple de points (s, t) et (W (u), u'), qui permet de calculer les paramètres hydrodynamique de la nappe (tableau7a).

$$T = \frac{0,08.Q}{s} W(u)$$

$$S = \frac{4.Tt}{X^2.u'}$$

Tableau 7a : valeurs de transmissivités obtenues avec la méthode bi-logarithmique

	Méthode bi-logarithmique						
	s (m)	t (min)	W (u)	u'	T (m ² .s ⁻¹)	S	Q
LBEIRDI	1,99		0,107		4,1.10 ⁻⁴		12
BARAINA	7,95		4,25		2.10 ⁻³		20
BOMBRY	3,47		0,20		2,98.10 ⁻³		15

III.1.2.2.2- l'interprétation par la méthode semi-logarithmique de

JACOB

Rappelons que le rabattement dû au pompage d'un voisin en un point quelconque est :

$$T = \frac{0,183Q}{s} \lg \frac{2,25Tt}{x^2 S}$$

Le report sur coordonnées semi-logarithmiques des couples rabattement/temps

[s = f (t)] des pompages (Fig. 16b) a permis de déterminer des valeurs de transmissivités par la méthode approximative de Jacob (Tableau7b).

$$T = \frac{0,183.Q}{A}$$

$$S = \frac{2,25.T.t_0}{X^2}$$

Tableau 7b : valeurs de transmissivité obtenues avec la méthode semi-logarithmique

Méthodes semi-logarithmique de JACOB					
	A : pente	Q (m³.h⁻¹)	T (m³.h⁻¹)		S
			Décente	Remontée	
LBEIRDI	1,053	12	3,3.10 ⁻⁴	3,1.10 ⁻⁴	4,47.10 ⁻³
BARAINA	0,147	20	1,3.10 ⁻³	2,07.10 ⁻³	
BOMBRY	0,325	15	2,27.10 ⁻³	1,97.10 ⁻³	

Les valeurs de transmissivités trouvées au niveau des forages sont la même gamme des valeurs trouvées dans les travaux menés par le BRGM (1990-1992).

Les coefficients d'emménagement n'ont pas pu être déterminés sauf le forage Lbeirdi pour les raisons suivantes :

- au forage Bombry, par manque d'un ouvrage d'observation (puits villageois ou piézomètre) aux alentours du site ;

- pour le forage Baraina, un ancien forage datant de 1967 existe mais son équipement ne nous permettait pas de prendre des mesures de niveaux lors du pompage.

Pour l'ensemble de la zone, le coefficient d'emménagement de la nappe est compris entre 10⁻³ et 10⁻² (BRGM, 1990)

L'interprétation de la courbe descente permet de retenir les conclusions suivantes :

- les transmissivités correspondent à des valeurs relativement élevées et autorisent des débits d'exploitation jusqu'à 55 m³.h⁻¹ pour le forage de Baraina et moyennes pour forage Bombry 40 m³.h⁻¹.

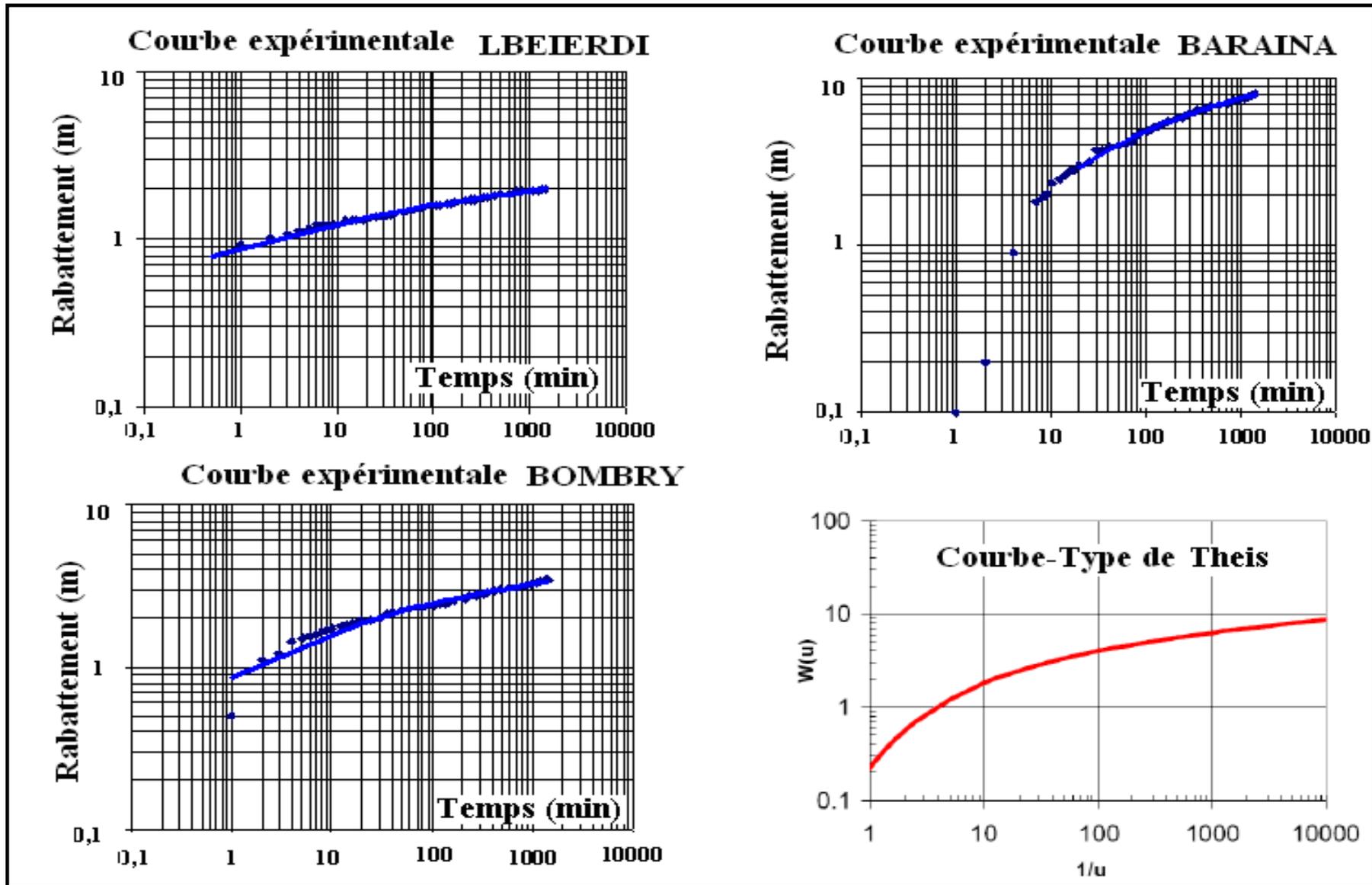


Figure16a : Détermination de la transmissivité par la méthode bi-logarithmique (module Theis)

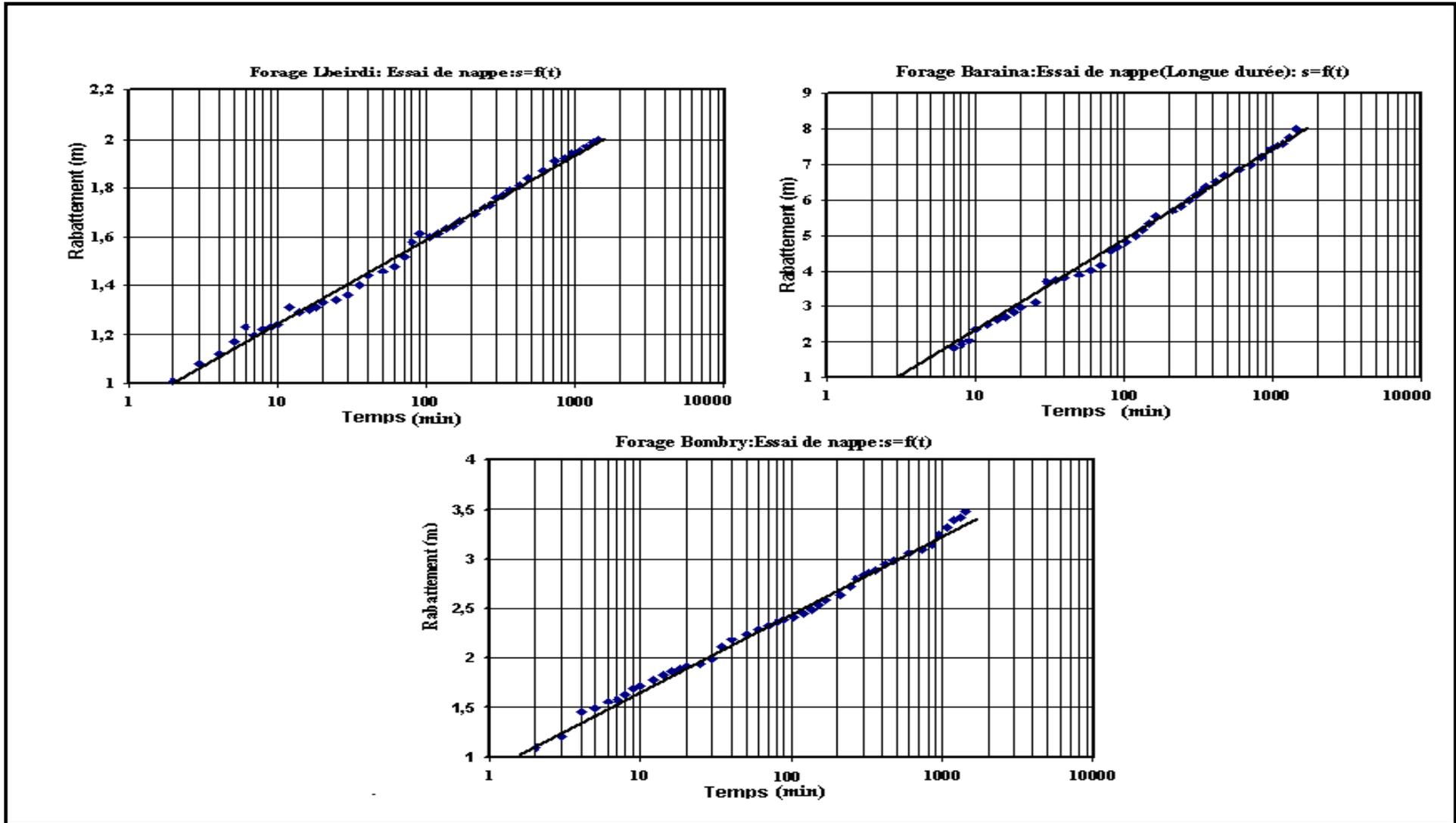


Figure16b : Détermination de la transmissivité par la méthode semi-logarithmique de Jacob (Descente)

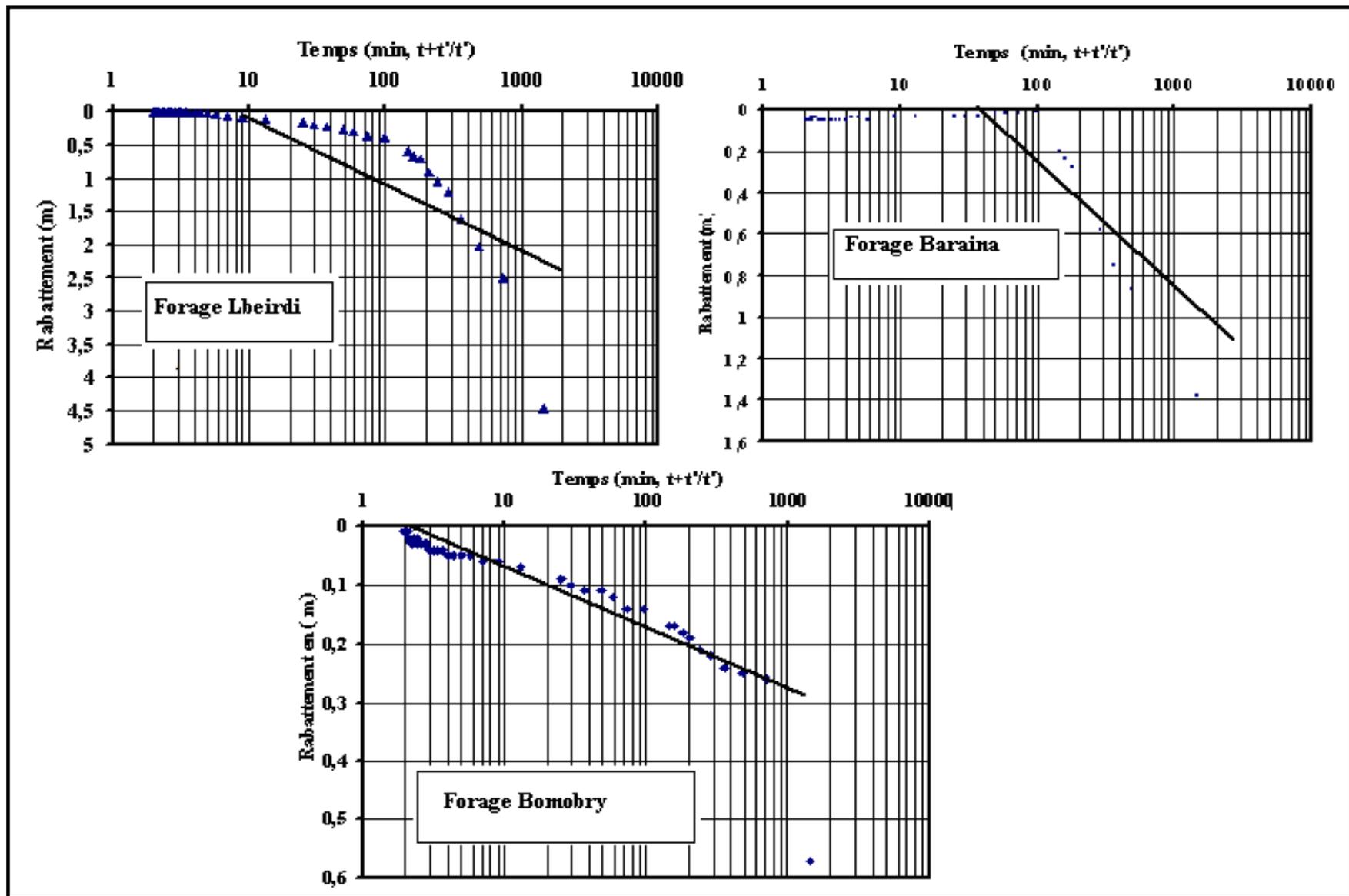


Figure16c : Détermination de la transmissivité par la méthode semi-logarithmique de Jacob (Remontée)

III.2- CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

III.2.1- Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe du CT

III.2.1.1- Caractéristiques physiques des eaux

Les caractéristiques physiques des eaux qui font l'objet de cette étude, se résument à un certain nombre de paramètres tels que le pH, la température et la conductivité électrique. Les mesures de ces paramètres ont été réalisées *in situ* en même temps que les prélèvements d'échantillons d'eau pour les analyses chimiques. Les résultats de ces paramètres physiques, représentant la moyenne des différentes campagnes, sont consignés en annexes (Tableau 2, annexe 3).

III.2.1.1.1- Les températures

Pour l'année 2006, les valeurs de la température des eaux sont comprises entre 27,7 (puits H1 et M2) et 29,4 °C (puits T1 et B1) et entre 27,68 (puits H1) et 29,38 °C (puits T1) pour les mesures de l'année 1994. Ces valeurs sont dans la gamme des températures moyennes de l'air ambiant qui sont de 30 °C dans la région du Trarza.

III.2.1.1.2- Le pH

Toutes les mesures de 2006 varient de 6,37 (puits T1) à 7,92 (puits M2) et celles de 1994 de 6,36 (puits T1) à 7,90 (puits M2). Ces valeurs de pH, indiquent que les eaux sont neutres à légèrement basiques et que l'alcalinité des eaux dans le sud-ouest du Trarza, est contrôlée essentiellement par les ions bicarbonates (HCO_3^-).

III.2.1.1.3- Conductivité électrique

Les fluctuations globales de la charge chimique de l'eau peuvent être traduites par la détermination de la conductivité électrique (C.E.) qui est une fonction linéaire des ions dissous. C'est un paramètre qui permet de déterminer le degré de minéralisation et de salinité des eaux. La valeur de la conductivité est d'autant plus élevée que l'eau est minéralisée. Les valeurs de conductivités électriques mesurées en 2006, varient de 525 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (puits V1) à 3538 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (puits H1). Les eaux de la nappe du Continental Terminal sont donc moyennement à fortement minéralisées. Ces valeurs de conductivités entrent dans la même

gamme de variations que celles de 1994 (493,87 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (puits V1) à 3535 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ (puits H1)). Les zones présentant des anomalies (conductivité élevée supérieure à 2000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$) sont localisées le long du littoral au nord de Tiguent, indiquant qu'une contribution de la mer à la minéralisation des eaux de la nappe de Trarza par dissolution des aérosols et des embruns marins.

Des corrélations ont été établies entre les principaux ions chimiques (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Br^- et HCO_3^-) aboutissant à l'acquisition de la salinité des eaux d'une part, et d'autre part entre ces éléments majeurs et la minéralisation totale représentée par la conductivité électrique (Tableau 8). Les différentes relations entre les valeurs de conductivités électriques et les concentrations en ions majeurs montrent des corrélations positives. Globalement la variation de la minéralisation est liée aux ions Cl^- , Br^- , Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} .

Tableau 8: Matrices de corrélations des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe du Continental Terminal au sud-ouest du Trarza

Données chimiques de 2006										
	C.E.	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Br^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
C.E.	1									
HCO_3^-	0,49	1								
Cl^-	0,98	0,36	1							
NO_3^-	0,55	0,39	0,48	1						
SO_4^{2-}	0,46	0,42	0,29	0,33	1					
Br^-	0,93	0,50	0,93	0,45	0,39	1				
Ca^{2+}	0,97	0,40	0,97	0,47	0,39	0,87	1			
Mg^{2+}	0,97	0,41	0,95	0,58	0,46	0,86	0,96	1		
Na^+	0,91	0,56	0,86	0,52	0,48	0,94	0,80	0,82	1	
K^+	0,57	0,92	0,42	0,40	0,67	0,61	0,46	0,47	0,69	1
Données chimiques de 1994										
	C.E.	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Br^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
C.E.	1									
HCO_3^-	0,41	1								
Cl^-	0,97	0,28	1							
NO_3^-	0,46	0,43	0,38	1						
SO_4^{2-}	0,40	0,39	0,23	0,21	1					
Br^-	0,91	0,46	0,88	0,35		1				
Ca^{2+}	0,97	0,35	0,98	0,44	0,31	0,84	1			
Mg^{2+}	0,97	0,36	0,94	0,47	0,41	0,82	0,95	1		
Na^+	0,93	0,54	0,88	0,44	0,44	0,96	0,84	0,85	1	
K^+	0,53	0,89	0,37	0,36	0,65	0,59	0,42	0,46	0,70	1

III.2.1.2- Classification chimique des eaux de la nappe du CT : Diagramme de Chadha (1999)

Pour classer et identifier les processus hydrochimiques intervenant dans la minéralisation des eaux souterraines, un diagramme de Chadha (1999) a été construit (Fig. 17). Ce nouveau diagramme diffère des diagrammes de Piper et de Durov étendu par le fait que les triangles équilatéraux sont éliminés et que la forme du principal domaine d'étude est différente. Il est construit à partir de la différence en pourcentage des milliéquivalents entre les alcalino-terreux ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) et les alcalins ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), exprimés comme des teneurs en pourcentage réactionnel sur l'axe des abscisses, et de la différence en pourcentage des milliéquivalents entre les anions d'acides faibles ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) et les anions d'acides forts ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$), exprimés aussi comme des teneurs en pourcentage réactionnel sur l'axe des ordonnées. Les différences en pourcentage des milliéquivalents des abscisses et ordonnées sont par la suite étendues dans les principaux sous domaines d'étude du diagramme de Chadha, qui définit le caractère de l'ensemble des eaux. Le nouveau diagramme présente tous les avantages du domaine central du diagramme de Piper et permet d'identifier la typologie des eaux souterraines et les différents processus hydrogéochimiques comme les réactions d'échange de base cationique ($2 \text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ et $2 \text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$), la pollution, le mélange des eaux naturelles, la réduction des sulfates et l'intrusion saline.

Les données des analyses chimiques des eaux souterraines des campagnes de 2006 et 1994, sont reportées dans le diagramme de Chadha (1999) et se répartissent en deux groupes d'eaux (Fig. 17) :

- les eaux du groupe A sont localisées dans le sous domaine 6, où les alcalino-terreux ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) dominent les métaux alcalins ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) et les anions d'acides forts ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) dominent les anions d'acides faibles ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$). Le faciès chimique de ces eaux est chloruré calcique et magnésien à sulfaté calcique et magnésien (puits k3), et sont moyennement à fortement minéralisées (TDS : (504– 2683 mg l^{-1}). Elles proviendraient très probablement des phénomènes d'échange de base inverse entre l'eau et l'aquifère (le sodium s'attache aux argiles et le calcium est libéré dans l'eau) pour les eaux moyennement minéralisées ou résulteraient des phénomènes d'intrusion saline ou de lessivage des embruns et des aérosols marins au cours de l'infiltration des eaux de pluie pour les eaux fortement minéralisées ;

- les eaux du groupe B localisées dans le sous domaine 7, où les métaux alcalins ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) dominent les alcalino-terreux ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) et les anions d'acides forts ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) dominent les anions d'acides faibles ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$), les points d'eaux se subdivisent en deux types d'eaux :

- Les eaux moyennement minéralisées ($500 < \text{TDS} < 1000 \text{ mg.l}^{-1}$) à faciès chloruré sodique, représentées essentiellement par le puits H2 et M1. L'eau de puits résulterait soit des phénomènes de mélange avec les eaux salées, soit des processus d'échange de base où le calcium s'attache aux argiles et le sodium est libéré dans l'eau ;

- Les eaux fortement minéralisées ($\text{TDS} > 1000 \text{ mg.l}^{-1}$) à faciès chloruré sodique (puits K1), résulteraient des phénomènes d'intrusion saline ou de lessivage des embruns et des aérosols marins au cours de l'infiltration des eaux de pluie.

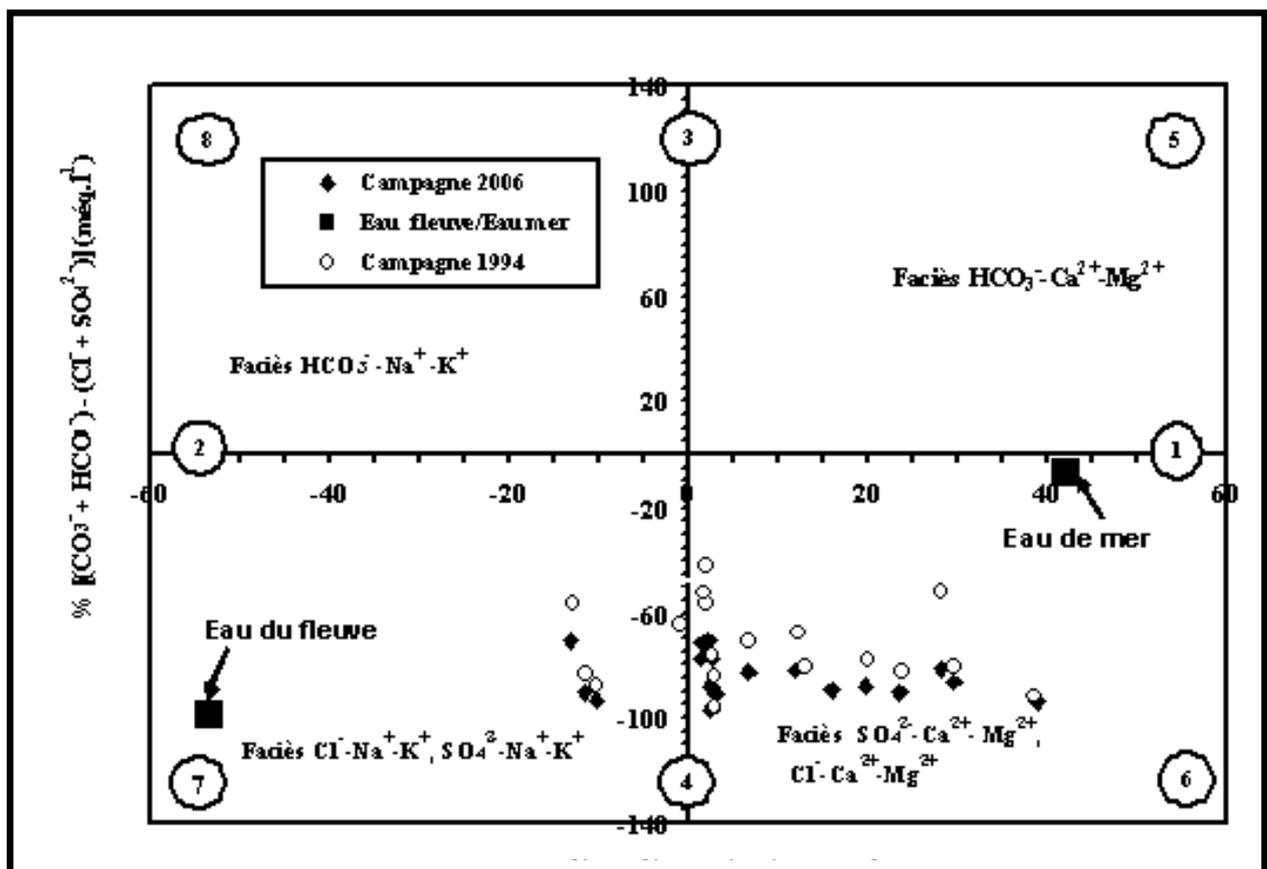


Figure 17 : Classification et processus de minéralisation des eaux souterraines par le diagramme de Chadha (campagnes 2006 et 1994)

La figure 18 illustre la répartition spatiale des différents faciès chimiques des eaux souterraines entre Tiguent et Rosso.

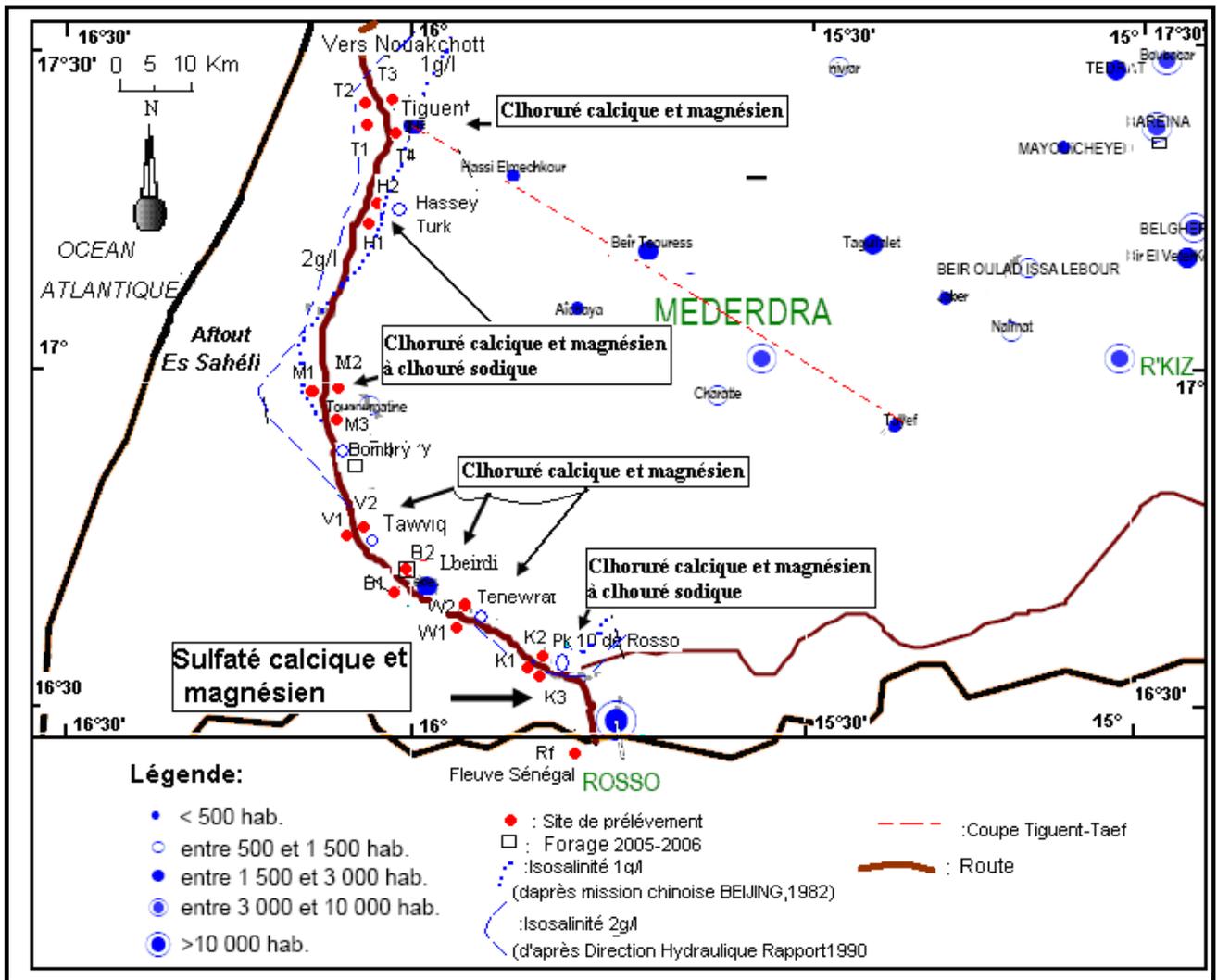


Figure 18 : Répartition spatiale des faciès chimiques des eaux le long du littoral entre Tiguent et Rosso

III.2.1.3- Variations des teneurs en ions majeurs des eaux du CT dans le sud-ouest du Trarza

La répartition spatio-temporelle des ions majeurs des eaux de la nappe du Continental Terminal dans le sud-ouest du Trarza, basée sur les résultats des analyses des campagnes de 2006 et 1994 (Tableau 9), permet de mettre en évidence l'évolution dans le temps et dans l'espace de chaque ion majeur.

Les données chimiques montrent que les cations dominants sont Na^+ et Ca^{2+} et les anions dominants sont Cl^- et SO_4^{2-} . Les valeurs des nitrates (NO_3^-) exceptionnellement élevées, mesurées au niveau de quelques puits villageois proviendraient très probablement d'une pollution très localisée au droit de ces ouvrages.

Tableau 9: Variations spatiales des ions majeurs des eaux de la nappe du Continental Terminal dans le sud-ouest du Trarza

Données chimiques de 2006 (mg.l ⁻¹)									
	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Br ⁻
Min	54,04	5,07	8,16	34,8	113,95	30,2	19,52	1,86	0,14
Max	266,8	45,63	124,80	344	1249,6	255	245,83	59,5	1,4
Données chimiques de 1994 (mg.l ⁻¹)									
	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Br ⁻
Min	35,59	5,11	7,68	35	113,63	28,8	20,74	1,85	0,138
Max	266,34	545,2	125,4	344,4	1246	253	249,49	51,2	1,37

III.2.2- Origine et processus de minéralisation des eaux

III.2.2.1- Les rapports caractéristiques et indices d'échange de base (I.E.B.) et de saturation (IS)

Les rapports caractéristiques permettent de situer les zones d'apports des cations et des anions au sein de l'aquifère du Continental Terminal dans le sud-ouest de Trarza.

L'indice d'échange de base (I.E.B.) permet cependant d'apprécier l'ampleur des phénomènes d'échange des cations (alcalins et alcalino-terreux) entre certaines formations dites permutolites de la matrice de l'aquifère (minéraux argileux, minéraux zéolitiques, hydroxyde de fer et substances organiques "humus") et l'eau de la nappe. L'indice d'échange de base est encore appelé indice de déséquilibre calco-alcalin compte tenu de la nature des ions échangeables et est calculé par la formule suivante (Schoeller, 1962 *in* Sy Tapsoba, 1990) :

$$\text{I.E.B.} = \frac{r \text{ Cl}^- - r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r \text{ Cl}^-}$$

- si $r \text{ Cl}^- > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, dans ce cas l'eau de la nappe échange ces alcalins (Na^+ , K^+) contre les alcalino-terreux (Ca^+ , Mg^+) des minéraux argileux, l'indice d'échange de base est positif ;

- si $r \text{ Cl}^- < r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, dans ce cas l'eau de la nappe échange ses alcalino-terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}) contre les alcalins (Na^+ , K^+) des permutolites, l'indice d'échange de base est négatif.

Ainsi les résultats du calcul des rapports caractéristiques et des I.E.B. des points d'eaux des données chimiques récentes (2006) et anciennes de Séméga (1994) sont consignés dans le tableau 10.

Le rapport $r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$ montre valeurs inférieures à 1 indiquant un enrichissement en ions chlorures dans tout l'aquifère du Continental Terminal entre Tiguent et Rosso, à l'exception du puits K3 où il atteint 1,66 (2006) et 1,69 (1994). Ce qui traduirait une origine marine des chlorures.

Le rapport $r\text{HCO}_3^-/r\text{Cl}^-$ montre des valeurs inférieures à 1. Cela suppose prédominance des ions Cl^- par rapport aux ions bicarbonates (HCO_3^-). La présence des ions HCO_3^- dans ces eaux résulterait d'une dissolution du CO_2 atmosphérique et celle des ions Cl^- soit à une intrusion marine et/ou du lessivage des aérosols et des embruns marins par les eaux de pluie.

Le rapport $r\text{Br}^-/\text{Cl}^-$ montre des valeurs proches de 1 pour l'ensemble des deux campagnes de prélèvement, indiquant une origine commune des chlorures et des bromures.

Le rapport $r\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ montre des valeurs supérieures 1 traduisant un enrichissement des eaux de la nappe du CT en ions calcium par échange de base avec les minéraux argileux. Cette hypothèse est confirmée par le rapport $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ montre également des valeurs inférieures 1.

Le rapport $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$ des échantillons des deux campagnes, montre également des valeurs inférieures 1 indiquant la prédominance des ions calcium sur les ions magnésium, ce qui traduit l'influence de la matrice calcaire sur celui dolomitique au sein de l'aquifère du Continental Terminal. Cette dominance est le résultat d'une sous saturation des eaux en calcite.

Le calcul des I.E.B. donne des valeurs positives pour tous les points d'eau de la nappe du CT, à l'exception du puits K3 qui à un I.E.B. négatif. Un indice d'échange de base positif, indique une fixation des alcalins ($\text{Na}^+ ; \text{K}^+$) et la solubilisation des alcalino-terreux ($\text{Ca}^{2+} ; \text{Mg}^{2+}$). Par contre, un I.E.B. négatif, indique que l'échange cationique s'effectuera inversement c'est-à-dire une fixation des alcalino-terreux ($\text{Ca}^{2+} ; \text{Mg}^{2+}$) et une solubilisation des alcalins ($\text{Na}^+ ; \text{K}^+$). Ces échanges cationiques sont symbolisés par les réactions suivantes : ($2 \text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ et $2 \text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$).

Tableau 10 : Rapports caractéristiques et indices d'échange de base (I.E.B.) des eaux de la nappe du CT dans le sud-ouest du Trarza (Données de 2006 et 1994)

Données chimiques de 2006								
Ouvrages	SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻	HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻	Br ⁻ /Cl ⁻ (10 ⁻²)	SO ₄ ²⁻ /HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺ /HCO ₃ ⁻	Na ⁺ /Ca ²⁺	Mg ²⁺ /Ca ²⁺	I.E.B
T1	0,25	0,02	0,11	11,9	4,96	0,62	0,47	0,58
T2	0,2	0,1	0,08	5,22	1,29	0,53	0,5	0,62
T3	0,22	0,09	0,1	2,97	1,26	0,62	0,49	0,57
T4	0,23	0,15	0,1	1,57	0,85	0,68	0,54	0,51
H1	0,07	0,05	0,07	1,51	3,68	0,33	0,34	0,77
H2	0,24	0,1	0,1	1,51	1,09	0,7	0,39	0,51
M1	0,24	0,08	0,11	3,24	1,34	0,68	0,52	0,52
M2	0,16	0,11	0,09	1,4	1,35	0,44	0,5	0,68
M3	0,38	0,29	0,09	1,35	0,61	0,82	0,42	0,38
V1	0,25	0,31	0,98	0,81	0,6	0,7	0,21	0,5
V2	0,17	0,4	0,09	0,44	0,43	0,71	0,29	0,47
B1	0,26	0,15	0,06	1,81	1,35	0,61	0,37	0,56
B2	0,28	0,23	0,07	1,23	0,85	0,7	0,32	0,5
W1	0,87	0,37	0,09	2,34	0,74	0,78	0,49	0,4
W2	0,89	0,17	0,12	6,3	1,56	0,77	0,41	0,43
K1	0,32	0,38	0,17	0,86	0,45	0,87	0,35	0,35
K2	0,26	0,39	0,09	0,68	0,46	0,8	0,39	0,38
K3	1,66	0,45	0,12	3,77	0,86	1,27	0,41	-0,03
Rf	0,68	1,51	0	0,36	0,22	0,69	0,68	0,34
Eau de mer	0,093	0,0036	0,29	25,21	3,42	19,25	3,04	0,24
Données chimiques de 1994								
Ouvrages	SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻	HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻	Br ⁻ /Cl ⁻ (10 ⁻²)	SO ₄ ²⁻ /HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺ /HCO ₃ ⁻	Na ⁺ /Ca ²⁺	Mg ²⁺ /Ca ²⁺	I.E.B
T1	0,23	0,03	0,11	11,9	4,65	1,66	0,48	0,55
T2	0,21	0,1	0,07	5,22	1,26	1,26	0,49	0,59
T3	0,22	0,09	0,09	2,97	1,23	1,65	0,5	0,55
T4	0,24	0,15	0,1	1,57	0,84	1,69	0,54	0,49
H1	0,09	0,06	0,05	1,51	3,64	0,64	0,34	0,76
H2	0,23	0,1	0,1	1,51	1,09	1,97	0,39	0,5
M1	0,24	0,08	0,1	3,24	1,26	2,18	0,89	0,23
M2	0,19	0,11	0,07	1,4	1,44	0,93	0,47	0,69
M3	0,38	0,12	0,09	1,35	0,6	1,57	0,42	0,37
V1	0,26	0,3	0,97	0,81	0,58	1,23	0,19	0,48
V2	0,18	0,41	0,08	0,44	0,42	1,34	0,28	0,46
B1	0,25	0,16	0,06	1,81	1,22	1,05	0,41	0,54
W1	0,88	0,38	0,08	2,34	0,47	0,92	0,5	0,37
W2	0,9	0,17	0,11	6,3	1,49	0,96	0,42	0,42
K1	0,33	0,39	0,16	0,86	0,44	1,79	0,35	0,33
K2	0,27	0,45	0,08	0,68	0,46	1,45	40	0,36
K3	1,69	0,46	0,11	3,77	0,62	1,52	0,43	-0,04

L'équilibre eau – minéral est souvent exprimé par l'indice de saturation (IS) déterminé par la formule :

$$IS = \text{Log} (PAI/K_s) \text{ avec,}$$

PAI : Produit d'activité ionique des ions concernés,

K_s : Constante d'équilibre.

Quand IS = 0, l'eau est alors en équilibre avec le minéral. En revanche, l'eau est sous-saturée ou sursaturée vis-à-vis du minéral dans le cas où IS serait inférieur ou supérieur à zéro. Toutefois, dans la pratique, il faut tenir compte des erreurs de précision dans la mesure de teneurs en éléments majeurs. Par conséquent, il est recommandé de considérer que le domaine de saturation est obtenu pour des valeurs comprises entre -1 et 1 (Plummer et *al.*, 1976).

Les indices de saturation (IS) des eaux vis-à-vis des phases minérales (anhydrite, aragonite, calcite, dolomite, magnésite et gypse), ont été calculés à partir du programme Wateq (Truesdel et Jones, ; Plummer et *al.*, 1976).

Les indices de saturation sont utilisés pour évaluer le degré d'équilibre entre l'eau et le minéral afin de mettre en évidence les différents stades de l'évolution géochimique des eaux qui se traduisent par une variation de ces indices.

La figure 19 traduisant l'évolution des indices de saturation des minéraux carbonatés et évaporites par rapport au TDS dans la nappe du Continental Terminal entre Tiguent et Rosso, montre que les eaux de la nappe sont sous-saturées à saturées vis à vis de l'anhydrite, la calcite, la dolomite, la magnésite, l'aragonite et le gypse pour les deux campagnes de prélèvement (2006 et 1994). La phase minérale de ces éléments si elle existe dans la matrice de l'aquifère, peut être facilement solubilisée au contact des eaux de la nappe.

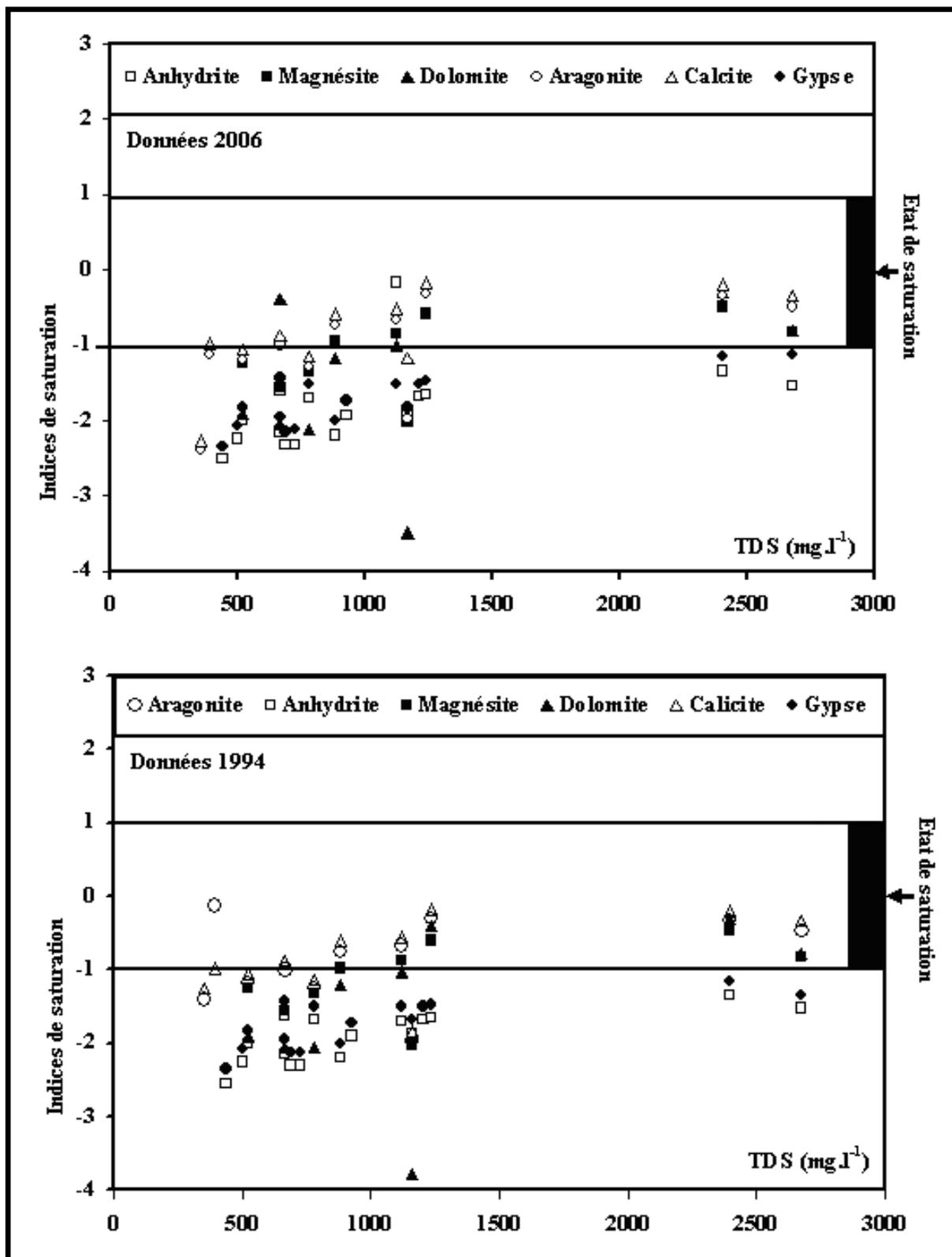


Figure 19 : Evolution des indices de saturation de minéraux carbonatés et évaporites par rapport au TDS dans la nappe du Continental Terminal du Sud-Ouest du Trarza

III.2.2.2- Diagrammes binaires de dilution de l'eau de mer

La mer, l'Aftout El Sahéli et les alluvions fluviales salées qui avoisinent la nappe du Continental Terminal du sud-ouest du Trarza, peuvent être des sources potentielles de minéralisation de cette dernière. Afin de situer les interactions dont les eaux sont le siège, le profil d'évolution des ions majeurs, corrélativement à celle de l'eau de mer, est considéré en fonction de la teneur en chlorures. La figure 20 traduit la relation entre les chlorures et les éléments majeurs (SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- et Br^-) des points d'eau de la nappe du CT (données de 2006 et 1994). Les analyses chimiques sur les eaux du fleuve Sénégal ont été prélevées lors des prélèvements mensuels des eaux de la nappe entre novembre 2005 et avril 2006.

La disposition des différents points d'eau par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer peut être d'une grande utilité pour identifier d'autres phénomènes qui sont annexés aux processus de mélange. Les réactions majeures reconnues comme responsables d'enrichissements ou d'appauvrissements des éléments majeurs dans les eaux souterraines (Fidelibus et Tulipano, 1996) : (a) échange $\text{Ca}^{2+} \leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$ dû à l'interaction eau-roches, (b) $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ ou $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$ par des échanges de base, (c) réduction des sulfates.

La relation entre les teneurs en bicarbonates et en chlorures montre que l'ensemble des points d'eau des deux campagnes se situe au dessus de la droite théorique de mélange eau de pluie - eau de mer. Donc il y a un apport en bicarbonates dans les eaux de la nappe. L'enrichissement en bicarbonate pourrait avoir trois origines : la dissolution du CO_2 atmosphérique et des sols ; la dissolution des minéraux carbonatés et l'action de la matière organique.

Le graphique traduisant la relation entre Cl^- et SO_4^{2-} , montre que la plupart des points d'eau se trouve au-dessous de la droite de dilution de l'eau de mer. Les points d'eau qui sont situés en dessous de la droite de dilution de l'eau de mer supposent des phénomènes de réduction contribuant à une baisse de teneurs en sulfates dans les eaux souterraines. Cependant, les points d'eau qui sont au dessus de la droite dilution d'eau de mer montrent qu'il y a un apport en sulfates et présentent des rapports molaires $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ supérieurs à celui de l'eau de mer. L'enrichissement de ces eaux en sulfates serait lié soit à la dissolution des

minéraux riches en sulfates des formations géologiques constitutives de l'aquifère et soit au lessivage des aérosols et embruns marins.

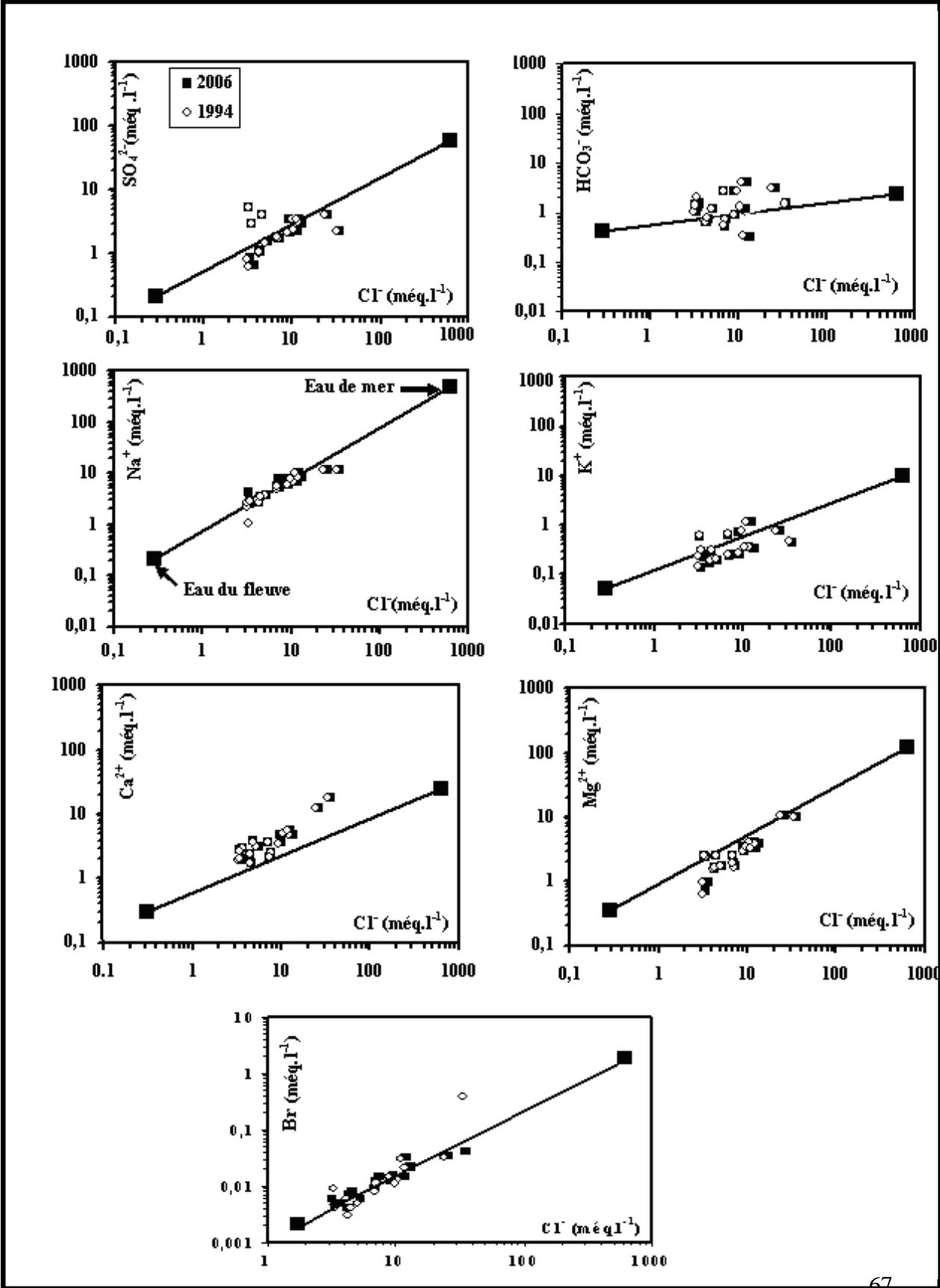
L'analyse du graphique Cl^- contre Na^+ montre que les points d'eaux sont bien alignés le long de la droite de dilution de l'eau de mer. Ces points montrent que les ions Cl^- et Na^+ sont bien corrélés et ont une origine commune. Le déficit en ions Na^+ dans certains points d'eau peut être expliqué par un phénomène d'échange ionique entre l'eau et l'aquifère et se traduisant par une fixation de Na^+ et une libération Ca^{2+} . On peut également envisager une influence indirecte de l'eau de mer où la minéralisation est due au lessivage des aérosols et des embruns marins par les eaux de pluie.

La relation entre les teneurs en ions Ca^{2+} et Cl^- , montre que la quasi-totalité des points d'eau est située au dessus de la droite théorique de dilution de l'eau de mer. Cette position des points d'eau au dessus de la droite de dilution suggère un enrichissement en Ca^{2+} par rapport aux teneurs de l'eau de mélange théorique. L'enrichissement en Ca^{2+} pourrait être attribué à plusieurs facteurs : substitution ($\text{Ca}^{2+} \Leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$) dû à l'interaction eau - roche et aux phénomènes d'échange de base ($2\text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$) entre la nappe et la matrice de l'aquifère et/ou à la dissolution des minéraux carbonatés et évaporitiques.

L'analyse du graphique Cl^- contre Mg^{2+} , montre que la majorité des points d'eau sont situés au dessous de la droite de dilution de l'eau de mer pour les deux campagnes d'échantillonnage. Les points d'eau situés au dessus de la droite ont des concentrations plus élevées et ceux situés en dessous ont des concentrations plus faibles que celles de l'eau de mer. Les points d'eau qui sont situés au dessous traduisent vraisemblablement une minéralisation issue du lessivage des aérosols et des embruns marins au cours de l'infiltration des eaux de pluies. Contrairement à ce premier groupe, nous notons un groupe de points situés au dessus de la droite théorique de mélange montrant un léger enrichissement en magnésium. Ce léger apport en magnésium peut être dû au lessivage des aérosols et embruns marins et aux phénomènes d'échange de base ($\text{Na}^+ \Leftrightarrow \text{Mg}^{2+}$) entre l'eau de la nappe et la matrice aquifère et de dissolution des minéraux argileux présents dans le réservoir aquifère.

La relation entre les teneurs en ions K^+ et Cl^- montre que les échantillons d'eaux sont situés de part et d'autre de la droite de l'eau de mer. Les points d'eau qui sont situés en dessous de la droite de dilution suggèrent des phénomènes d'échange de base entraînant la fixation des alcalins des eaux souterraines et la solubilisation des alcalino-terreux de la

matrice de l'aquifère. Les points d'eau situés au dessus de la droite théorique de dilution de l'eau de mer, semblent montrer une légère augmentation de la teneur en potassium. On pourrait lier l'enrichissement en ions potassium à un apport dû à la dissolution des minéraux argileux contenus dans les sédiments sableux.



**Figure 20 : Relation entre les éléments majeurs des eaux souterraines et de l'eau de mer
(Données de 2006 et 1994)**

Le Br^- est un élément ionique mineur très mobile. Normé aux chlorures, le rapport Br^-/Cl^- , comparé à celui de l'eau de mer actuelle peut être pour caractériser l'origine du chlore et par conséquent l'origine de l'eau et de la minéralisation (Andreasen et Fleck, 1997 ; Marjoua 1995 et Hsissou et *al.*, 1997). Représentées par rapport aux chlorures, la plupart des valeurs des teneurs en bromures s'alignent le long de la droite de dilution de l'eau de mer. Ce qui démontre l'origine marine des chlorures et des bromures de ces eaux souterraines.

L'effet de la dissolution des évaporites et des minéraux carbonatés peut être mis en évidence par la relation entre $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ et $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$. Cette relation illustrée dans la figure 21, montre que seuls les eaux de l'aquifère du Continental Terminal dans le sud-ouest du Trarza qui longent la droite de pente 1 ou droite théorique de dissolution sont concernées par l'effet de la dissolution (Dindane et *al.*, 2003).

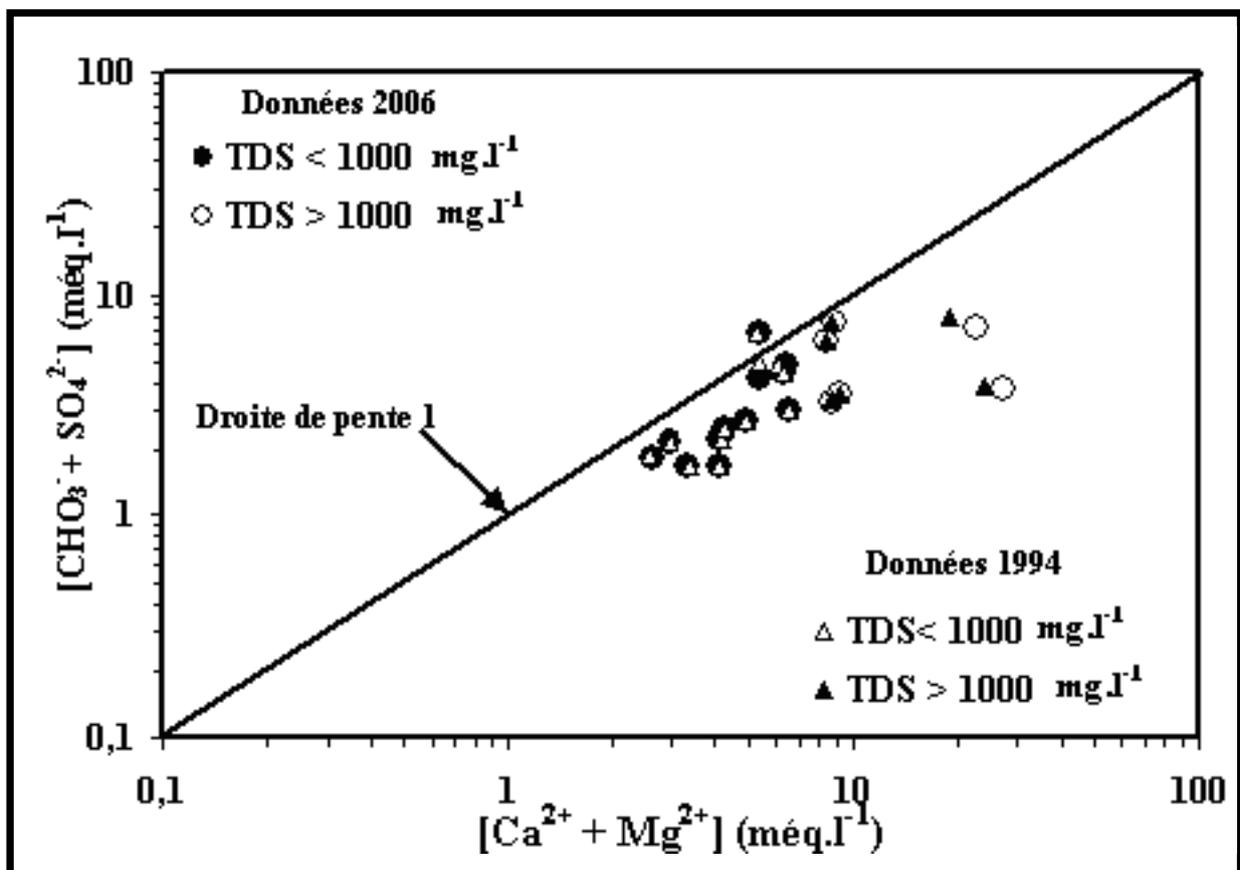


Figure 21 : Diagramme binaire $[\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ vs $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ des eaux de la nappe du Continental Terminal dans le sud-ouest du Trarza (Données 2006 et 1994)

III.2.3- Qualité des eaux souterraines

Pour l'étude de la qualité des eaux de la nappe du Continental Terminal du Trarza, nous nous limiterons à l'étude comparative de certains éléments chimiques aux normes de qualités requises pour une eau potable car les analyses bactériologiques n'ont pas été réalisées.

Les normes de potabilité de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S., 1993) relatives à la qualité chimique des eaux et les résultats chimiques (minimum et maximum) de la nappe du CT sont représentées dans le tableau 11.

L'aquifère du CT présente une potabilité permanente entre les qualités bonne, passable, médiocre et mauvaise. La majorité des points d'eau dépassent les normes de potabilité en certains éléments, notamment en chlorures, sodium et potassium. Ceci peut être dû à la proximité de cette région de l'océan atlantique (action des embruns marins et des aérosols et par endroit l'intrusion saline). D'autre part les variations climatiques marquées par un déficit pluviométrique ces dernières années sont également responsables de la dégradation de la qualité aboutissant à une concentration en éléments chimiques.

Tableau 11 : Normes de potabilité de l'O.M.S. (1993) et paramètres physico-chimiques de la nappe du Continental Terminal dans le sud-ouest du Trarza

Paramètres et substances chimiques	Concentrations maximales admissibles (O.M.S.)	Teneurs chimiques dans les eaux de la nappe du Continental Terminal (Données 2006)	
		Minimum	Maximum
T (°C)	25	27,70	29,40
pH	9,60	6,37	7,92
CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	2000	495	3538
Cl (mg.l^{-1})	200	113,95	1249,60
SO ₄ ²⁻ (mg.l^{-1})	250	30,20	255
NO ₃ ⁻ (mg.l^{-1})	50	1,86	59,50

Na⁺ (mg.l⁻¹)	100	54,04	266,80
K⁺ (mg.l⁻¹)	12	5,07	45,63
Mg²⁺ (mg.l⁻¹)	50	8,16	124,80
Ca²⁺ (mg.l⁻¹)	100	34,80	344

En concerne les nitrates, ils sont présents dans la plupart des points d'eau analysés dans la région du Trarza, mais à des concentrations inférieures à la valeur maximale admissible pour l'eau de boisson de 50 mg.l⁻¹ l'O.M.S. Sauf au niveau du point d'eau M2 situé dans la localité Tigomatine, où la concentration en nitrates est de 59,52 mg.l⁻¹. En effet, la présence de nitrates à concentrations élevées peut provoquer des problèmes de santé aux nourrissons (moins de 6 mois). Elle peut causer des troubles circulatoires : méthémoglobinémie ou *blue baby syndrome* (Rajagopal et Graham, 1989), comme elle peut provoquer le cancer se l'estomac (El Tayeb El Saddig, 1982). Les nitrates peuvent aussi provoquer l'hypertension et sont les précurseurs de nitrosamines cancérigènes (Castany, 1982).

III.3- CONCLUSION

L'application des outils hydrogéologiques et hydrochimiques à l'investigation des eaux souterraines de l'aquifère du Continental Terminal dans le sud-ouest du Trarza, a permis d'obtenir les renseignements suivants :

Sur le plan hydrogéologique, l'analyse des échantillons des cuttings a permis de reconstituer la nature des terrains traversés pendant la foration et de localiser les différents aquifères et de faire le choix du niveau à capter.

Le développement et les essais de pompage par de débit sont intervenus dans l'estimation de la productivité mais également la détermination des caractéristiques hydrodynamiques du complexe aquifère/ouvrage de captage. Les transmissivités calculées par la méthode de Jacob, entrent dans la gamme d'une nappe captive.

Du point de vue hydrochimique, l'étude des paramètres physico-chimiques a montré que les valeurs de pH des eaux sont neutres à légèrement basiques. Les eaux sont moyennement à fortement minéralisées avec des valeurs de conductivité électriques variant de 525 à 3538 $\mu\text{S.cm}^{-1}$;

Le report des points d'eau dans les diagrammes de Chadha (1999) et binaires de dilution de l'eau de mer a permis d'une part de faire ressortir les différents faciès chimiques : chloruré calcique et magnésien et chloruré sodique et potassiques et d'autre par les différents processus contrôlant la minéralisation des eaux dans le sud - ouest du Trarza : les phénomènes de dissolution des minéraux carbonatés et évaporitiques, de mélange des eaux ou des processus d'échange de base entre l'eau et l'aquifère et les phénomènes d'intrusion saline et de lessivage des embruns ou des aérosols marins au cours de l'infiltration des eaux de pluie.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le secteur de Tiguent - Rosso, est situé à l'extrême sud-ouest de la région de Trarza, entre les latitudes 16°30' et 17°30' Nord et les longitudes 15° et 16° Ouest. Il présente un régime climatique soumis aux influences à la fois sahélienne et saharienne.

Le secteur de l'étude s'inscrit dans la partie occidentale du vaste bassin sénégalo-mauritanien. La géologie du secteur d'étude est connue grâce aux nombreux sondages de recherches d'eau. Elle présente d'importantes variations latérales et horizontales sédimentologiques et, est caractérisée par les dépôts de nature variée, témoignant des changements de conditions de sédimentation au cours des différentes périodes géologique.

Sur le plan hydrogéologique, différents types d'aquifères sont rencontrés et exploités dans la zone d'étude pour l'approvisionnement en eau potable des populations. Parmi ceux-ci on peut citer : les aquifères du Paléocène, de l'Eocène et surtout celui du Continental Terminal, qui fait l'objet de cette présente étude dont les résultats sont présentées dans le troisième chapitre.

Le développement et les essais de pompage par de débit sont intervenus dans l'estimation de la productivité mais également la détermination des caractéristiques hydrodynamiques du complexe aquifère/ouvrage de captage. Les temps de pompages courts et l'absence parfois des points d'observation comme les puits villageois ou des piézomètres dans les zones de mise en œuvres de ouvrages de production, ont été des contraintes pour la détermination du coefficient d'emménagement. Cependant, les transmissivités calculées par les méthodes du module de Theis, entrent dans la gamme d'une nappe captive.

La réalisation des ouvrages si coûteux comme les forages hydrauliques, doit au moins s'accompagner de dispositions nécessaires permettant de bien les équiper afin de permettre le bon déroulement des développements et des essais de nappe.

Du point de vue hydrochimique, l'étude des paramètres physico-chimiques a montré que les valeurs de pH des eaux sont acides à neutres indiquant que l'alcalimétrie est essentiellement contrôlée par les ions bicarbonates (HCO_3^-). Les valeurs de températures des eaux sont proches de celles de la température atmosphérique ambiante. Les eaux sont moyennement à fortement minéralisées avec des valeurs de conductivité électriques variant de 525 à 3538 $\mu\text{S.cm}^{-1}$;

Le report des points d'eau dans les diagrammes de Chadha (1999) et binaires de dilution de l'eau de mer a permis d'une part de faire ressortir les différents faciès chimiques : chloruré calcique et magnésien et chloruré sodique et potassiques et d'autre par les différents processus contrôlant la minéralisation des eaux dans le sud - ouest du Trarza : les phénomènes de dissolution des minéraux carbonatés et évaporitiques, de mélange des eaux ou des processus d'échange de base entre l'eau et l'aquifère et les phénomènes d'intrusion saline et de lessivage des embruns ou des aérosols marins au cours de l'infiltration des eaux de pluie.

Enfin, l'impact de l'invasion saline dont la nappe présente de réelles prédispositions (semi perméabilité à perméabilité des sédiments, gradient piézométrique décroissant de la mer vers l'intérieur de l'aquifère), n'a pu être mis en évidence. L'absence de réseau et suivi piézométrique ne permet d'évaluer les fluctuations du niveau des eaux de la nappe et pour ainsi localiser précisément les zones d'alimentation d'origine marine. L'influence marine ne s'observe qu'à travers le caractère chloruré sodique dont l'évolution en fonction du temps n'est pas clairement établi. Actuellement, dans les eaux du Trarza, ce caractère est-il en phase d'amplification ou de dégénérescence ? La question reste posée !

Pour mieux contrôler la salinité des eaux souterraines de la région Sud-Ouest du Trarza, nous proposons en guise de recommandations et perspectives de :

- faire de deux campagnes d'échantillonnages (avant et après l'hivernage) des eaux de la nappe du Continental Termina dans le secteur Sud-Ouest du Trarza ;
- établir des cartes piézométriques pour contrôler les dômes, les dépressions et les sens de l'écoulement des eaux avant de réaliser des ouvrages hydrauliques captant cette nappe ;
- La tenue d'une campagne de sensibilisation par les autorités locales pour un meilleur traitement sanitaire des puits abandonnés qui doivent être bien refermés en béton ;

Enfin pour évaluer la puissance de cette nappe, il faudrait réactualiser les paramètres hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité et coefficient d'emménagement).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDREUSE D.C ET FLECK W.B. (1997).** Use bromide: chloride ratio to differential potential source of chloride in shallow, unconfined aquifer affected by brackish-water intrusion, *Hydrogeology*, Han nover, 5(2), 17-26.
- ARANYOSSY J. F. ET GUERRE (1993).** Etude et modélisation de la formation des dépressions piézométriques. *Revue des Sciences de l'eau*, 6, pp.81-96
- ARCHAMBAULT J. (1987).** Réflexions sur l'alimentation et l'évaporation des nappes phréatique en Afrique subsaharienne. *Journal Hydrogéologie*, n°2, pp.69-78.
- BRGM (1965).** Études de la frange de transition entre les douces et les eaux saumâtre sur la bordure de la nappe du Trarza. BRGM. 67p
- BRGM (1967).** Études géochimiques des eaux souterraines de l'Afrique de l'ouest : nappes du sud-ouest Mauritanien. Rapport BRGM, 15-19p.
- BRGM (1986).** Alimentation en eau potable de Nouakchott : étude pour le renforcement et l'extension du champ captant d'Idini. Rapport de la SONELEC/Direction hydraulique, 96 p.
- BRGM (1990).** Alimentation en eau potable de R'kiz et de Magta-Lahjar : localisation des ressources en eaux souterraines. Rapport Direction Hydraulique, 45 p.
- BRGM (1990).** Alimentation en eau potable de Rosso : localisation des ressources en eaux souterraines. Rapport Direction Hydraulique, 27p.
- BRGM (1990).** Alimentation en eau potable de Rosso : travaux de forage. Rapport Direction Hydraulique, 15 p.
- BRGM (1992).** Alimentation en eau potable de Tiguent, Aghchourguit et Magama, réalisation des travaux de forage. Rapport Direction Hydraulique, 19-22p.
- BURGEAP (1979).** Alimentation en eau de Nouakchott : étude préliminaire. Rapport RIM/Direction Hydraulique, 18 p.
- CARUBA.R. et DARS.R.** Géologie de la Mauritanie, CDRP Université de Nice, France.313p
- CASTANY G. (1982).** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition Dunod, Paris, France, 238 p.
- CHADHA D. K. (1999).** A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. *Hydrogeology Journal*, 7: pp. 431 – 439.

- COUET D'ORVAL M., MOULAYE A., PETIT J-P. (1980 - 1981).** Entre l'océan et le désert, à quel prix le capital mauritanien peut-elle assurer son alimentation en eau ? Bull. BRGM. (2) III, n°2, pp.7-22.
- DEING.B. ET LEDOUX.E (1987).** Les nappes déprimées d'Afrique de occidentale : une explication paléohydrogéologique. Hydrogéologie, n°3, pp.99-108
- DEMASSIEUX L. (1989).** Les fondements de l'hydraulique. Evolution et gestion des ressources en eaux, 29 p.
- DEPAGNE J. (1963).** Exploitation et interprétation des mesures piézométriques effectuées de juillet 1961 à mai 1963 dans le sud-ouest mauritanien, la vallée du fleuve Sénégal, le lac de R'kiz et le lac d'Aleg. Rapport BRGM, DAK 63A14 Orléans, France.
- DH/RIM (1990).** Eaux souterraines de Mauritanie. Rapport Direction Hydraulique, 25-28p.
- DH/RIM (1991).** Alimentation en eau potable de Tiguent (Trarza) : étude géophysique complémentaire. Rapport interne Direction Hydraulique, xx p.
- DINDANE K., BOUCHAOU L., HSISSOU Y., KRIMISSA M. (2003).** Hydrochemical and isotopic characteristics of groundwater in the Souss Upstream Basin, southwestern Morocco. *Journal of African Earth Sciences* 36 (4), pp. 315 – 327
- DOUMOUYA I (1988).** Synthèse des propriétés de recevoir des électrociès et de faciès sédimentologique de l'aquifère maastrichtien : établissement d'un outil d'équivalence. Thèse de 3^{ém} cycle U.C.A.D, Dakar, 123p
- HYDROCONSEI MAURITANIE, BURGEAP (2001).** Projet de renforcement institutionnel minier (PRISM II)
- ELOUARD P. (1962).** Etude géologique et hydrogéologique des formations sédimentaires du Guebla mauritanien et de vallée du Sénégal. Mémoire BRGM.
- HSISSOU Y., MADRY J., MANIA J., BOUCHAOUL M., CHAUVE P. (1997).** Dynamique et salinité de la nappe côtière d'Agadir (Maroc), influence du biseau salé et des faciès évaporitiques, in : Hydromchiemis.try, Rabat Sompium, 1AHS, 244, pp 73-82
- FIDELIBUS M.D et TULIPANO., (1996)-**Regional flow of intruding sea water in the carbonate aquifer of Apulia (south Italy).14th Salt water Intrusion Meeting. Rapporter och meddelanden nr 87.pp:230-241
- FINAUDE.L., (1974)** Traitement automatique des données de vent en altitude. Publication ASECNA.

- FORKASIEWICZ J. (1974).** Essai de puits et par paliers de débit. Analyse et interprétation des données. Rapport BRGM, 31 p.
- GAUCHER.L., (1974).** Pluies provoquées, consignes d'opération. Documents ASECNA.
- MABILLOT. (1971)-** le forage d'eau- guide pratique.2^{ème} Edition, Technique et documentation, pp277
- MARJOUA A. (1995).** Approche géochimique et modélisation hydrochimique de l'aquifère de la Chaouia côtier (Maroc) : origines de la salinisation des eaux, Thèse, Université Paris-6, 102 p.
- MASSY V. (1993).** Eléments hydrogéologiques pour la caractérisation et la définition des conditions aux limites de l'aquifères sédimentaires du bassin du Trarza (Mauritanie). Diplôme de 3^{ème} cycle postgrade. Université de Neuchâtel (Suisse) 130 p.
- MISSION CHINOISE BEIJING (1982).** Etude du deuxième champ de captage d'Idini pour l'alimentation en eau de Nouakchott. Rapport interne MCB/MH, 88 p.
- OMS (1993).** Directives de qualité pour l'eau de Boisson. Volume 1-recommandations 2^{ème} Edition. Genève, 85 p.
- PALOC H. (1962).** Carte hydrogéologique du bassin Sud-Ouest mauritanien au 1/500000^e et notice explicative.
- PIRO J., SEMEGA. B.M., OULD KANKOU M., ARNAUD L. (1994).** Qualité des eaux des puits du projet "Alizé" dans le sud du Trarza (Mauritanie), Colloque International "Eau, environnement, développement", Nouakchott 20 – 22 mars 1994, pp. 57 - 60.
- PLUMMER L. N., JONES B. F., TRUESDELL A. H. (1976).** WateqF, a Fortran IV version of Wateq, a computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. *US Geol Survey Water Res Invest.*, 76 (13).
- RISER J. (1991).** Quaternaire alluvial éolien et littoral en Mauritanie, une riche trilogie, Idini Géologie de Mauritanie. CRDP Université de Nice, France, 313 p.
- SEMEGA B. M., GIANNERINI G., PIRO J., A. O., SABAR M .S., CARUBA R. (1994).** Evolution du Front salé de la côte du Trarza (Mauritanie) en relation avec l'exploitation des eaux souterraines du Continental Terminal. RST, Nancy 26-28 avril 1994, 125 p.

SEMEGA B. M., VIALANT A., J., OULD CHEIKH AABDALLAHI B., (1994).

Approche Hydrochimique et hydrogéologique de la nappe du Trarza (Mauritanie), étude du champ captant d'Idini. Colloque International "Eau, Environnement, Développement ", Nouakchatt 20-22 mars 1994, pp. 46-56.

SOLAGES S. (1979). Choix et caractéristiques des colonnes de captage. Rapport BRGM, 74 p.

SY TAPSOBA A. (1990). Géologie et hydrogéologie du bassin sédimentaire côtier de la Côte d'Ivoire. Recharge et qualité des eaux dans l'aquifère côtier (Région de Jacquville). Mémoire de DEA, Département de Géologie, Univ. CAD, Dakar, Sénégal, 65 p.

TABLE DES MATIERES

**DEDICACES
AVANT-PROPOS**

RESUME

INTRODUCTION GENERAL	1
<i>I.1- CADRE PHYSIQUE</i>	3
I.1.1- Situation géographique	3
<i>I.1.2- Climatologie</i>	<i>3</i>
I.1.3- Hydrographie	7
I.1.3.1- Le fleuve Sénégal	7
I.1.3.2- Le lac de R'kiz.....	7
I.1.4- Relief	7
I.1.4.1- La chamama.....	7
I.1.4.2- L'Aftout El sahéli	7
I.1.4.3- Le Trarza.....	8
I.1.4.4- L'Aftout Ech Chergui	8
I.1.5- Végétation.....	8
I.2- CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	
I.2.1- Géologie	9
I.2.1.1- Contexte géologique général	9
I.2.1.2- Lithostratigraphie.....	9
I.2.1.2.1- Le Maastrichtien	9
I.2.1.2.2- Le Paléocène et l'Eocène.....	10
I.2.1.2.3- Le Mio-Pliocène (Continental Terminal)	10
I.2.1.2.4- Le Quaternaire	11
I.2.2- Hydrogéologie	12
I.2.2.1- Structure de la nappe	12
I.2.2.2- Identification de l'aquifère du C.T	13
I.2.2.2.1- Géométrie de l'aquifère du Continental Terminal.....	18
a)- Situation du contact eau douce-eau salée	19
b)- Frange côtière salée	20
c)- Domaine des eaux douces.....	20
d)- Biseau sec (zone stérile)	21
I.2.2.2.2- Paramètres Hydrodynamiques	21
I.2.2.2.3- Piézométrie	22
a)- Ecoulement des eaux dans le sud-ouest du Trarza	23
b)- Alimentation des aquifères	23
I.3- CONCLUSION	25
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES D'ETUDE	26

II.1- METHODE D'EXECUTION DES FORAGES	26
II.1.1- Matériel utilisé.....	26
II.1.1.1- Matériel de forage	26
II.1.1.2- Les outils de pompage.....	27
II.1.2- Les méthodes utilisées pour l'exécution des forages	27
II.1.2.1- Technique de forage au rotary	27
II.1.2.1.1- Le principe.....	27
II.1.2.1.2- La boue bentonite	28
II.1.2.2- Equipement des forages	28
II.1.2.2.1- les échantillonnages des cittings.....	28
II.1.2.2.2- Choix du tubage	29
II.1.2.2.3- Le captage	30
a) Le choix des crépines	30
b)- Le choix des niveaux captés	31
c)- Gravier additionnel et cimentation	31
II.1.2.2.4- Equipement des forages et coupes techniques.....	32
II.1.2.3- Le développement et les essais de pompage	32
II.1.2.3.1- Le développement	32
a)- Le traitement chimique	32
b)- Le développement par pompage alterné.....	33
c)- Le développement par pistonnage	33
d)- Le développement à l'air lift	33
e)- Le développement à la pompe immergée	33
II.1.2.3.2- Les essais de pompage	33
a)- Les essais de puits.....	34
b)- Les essais de nappe.....	34
II.2- ACQUISITION DES DONNEES HYDROCHIMIQUES	34
II.2.1- Les prélèvements	34
II.2.2- Les mesures physico-chimiques.....	35
II.2.3- Traitement des données	36
II.3- CONCLUSION	36
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	37
III.1- EXECUTION DES FORAGES.....	37
III.1.1- Reconstitution de terrains traversés	37
III.1.2- Interprétation des essais de pompage.....	39
III.1.2.1- Essai de puits.....	39
III.1.2.1.1- Courbe caractéristique $[s=f(Q)]$	39
III.1.2.1.2- La détermination du débit critique	39

III.1.2.1.3- Evaluation des pertes de charges	41
III.1.2.1.4- Débit d'exploitation maximum des ouvrages	44
III.1.2.1.5- Les productivités des forages.....	45
III.1.2.2- les essais de nappe	45
III.1.2.2.1- l'interprétation par la méthode bilogarithmique (bi-log).....	45
III.1.2.2.2- l'interprétation par la méthode sem-logarithmique de JACOB	46

III.2- CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

<i>III.2.1- Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe du CT.....</i>	<i>51</i>
III.2.1.1- Caractéristiques physiques des eaux.....	51
III.2.1.1.1- Les températures	51
III.2.1.1.2- Le pH	51
III.2.1.1.3- Conductivité électrique	51
III.2.1.2- Classification chimique des eaux de la nappe du CT	53
III.2.1.3- Variations des teneurs en ions majeurs des eaux du CT.....	55
<i>III.2.2- Origine et processus de minéralisation des eaux</i>	<i>56</i>
III.2.2.1- Les rapports caractéristiques et indices d'échange de base (I.E.B.) et de saturation (IS).....	56
III.2.2.2- Diagrammes binaires de dilution de l'eau de mer	61
III.2.3- Qualité des eaux souterraines.....	65
III.3- CONCLUSION.....	66

CONCLUSION GENERAL..... 67

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... 69

ANNEXES

Annexe1 : Données antérieurs

Annexe2 : Résultats des essais de pompage

Annexe3 : Résultats des analyses chimiques des eaux souterraines

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (le sud-ouest de la région du Trarza)	4
Figure 2 : Evolution de la pluviométrie dans la région du Trarza (1960 à 2005)	5
Figure 3 : Evolution de la température, l'humidité relative et l'évaporation dans la région du Trarza (1960 à 2005) Nouakchott ; Boutilimit ; Rosso.....	6
Figure 4 : Coupe géologique et hydrogéologique du bassin côtier entre Nouakchott et Boutilimit	11
Figure 5 : Nappe Continental Terminal Du Trarza (d'après BRGM, 1986 modifié)	13
Figure 6 : Carte hydrogéologique du sud-ouest du Trarza.....	14
Figure 7 : Coupe hydrogéologique du CT dans le sud-ouest du Trarza.....	15
Figure 8 : Coupe géologique et hydrogéologique entre Tiguent et Taef	16
Figure 9 : Carte de l'épaisseur du Continental Terminal	17
Figure 10 : Carte des altitudes du toit du Continental Terminal	17
Figure 11 : Carte piézométrique du sud-ouest Continental Terminal	23
Figure 12 : Dispositif d'un atelier de forage au rotary (Mabillot, 1977)	26
Figure 13 : Coupes lithologiques des forages de Lbeirdi, Baraina et Bombry	38
Figure14 : Courbe caractéristique des forages : rabattement en fonction du débit.....	40
Figure 15 : Détermination des constantes de Jacob (B et C) sur les forages	43
Figure16a : Détermination de la transmissivité par la méthode bi-log.....	48
Figure16b Détermination de la transmissivité par la méthode semi-log de JACOB	49
Figure 17 : Classification et processus de minéralisation des eaux souterraines par le diagramme de Chadha (campagnes 2006 et 1994).....	53
Figure 18 : Répartition spatiale des faciès chimiques des eaux le long du littoral sud.....	54
Figure 19 : Evolution des indices de saturation de minéraux carbonatés et évaporites par rapport au TDS dans la nappe du Continental Terminal du Trarza	59
Figure 20 : Relation entre les éléments majeurs des eaux souterraines et de l'eau de mer	

(Données 2006 et 1994) 62

Figure 21 : Diagramme binaire $[\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ vs $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ des eaux de la nappe du Continental Terminal dans le sud-ouest du Trarza (Données 2006 et 1994)..... 63

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1 : caractéristiques hydrodynamiques des forages et puits captant le CT dans le sud-ouest du Trarza 22

Tableau 2 : Diamètre des chambres de pompages utilisé en forage d'eau 29

Tableau 3 : Diamètre de foration et de tubage des différentes parties des forages..... 30

Tableau 4 : Essais de puits par paliers de débit court durée sur pour les forages..... 39

Tableau 5: Récapitulation des essais par palier des trois forages 42

Tableau 6 : Déterminations les productivités des ouvrages..... 45

Tableau 7 : Valeurs de transmissivités obtenues avec les méthodes bi-log et semi-log.46-47

Tableau 8 : Matrices de corrélations des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe du Continental Terminal au sud-ouest du Trarza 52

Tableau 9 : Variations spatiales des ions majeurs des eaux de la nappe du CT (Données 2006 et 1994)..... 56

SIGLES	Signification
--------	---------------

Tableau 10 : Rapports caractéristiques et indices d'échange de base (I.E.B.) des eaux de la nappe du CT dans le sud-ouest du Trarza (Données de 2006 et 1994)..... 58

Tableau 11 : Normes de potabilité de l'O.M.S. (1993) et teneurs chimiques dans la nappe du Continental Terminal dans le sud-ouest du Trarza..... 65

A	Pente de la droite
BQ	Perte de charge linéaire
CQ ²	Perte de charge quadratique
C.T	Continental Terminal
EO	Eocène
Maa	Maastrichtien
OMS	Organisation Mondiale pour la Santé
pH	Potentiel Hydrogé
Q (m ³ .h ⁻¹)	Débit
Q/s(m ³ .h ⁻¹ /m)	Débit spécifique
s/Q (m/(m ³ .h ⁻¹))	Rabattement spécifique
s (m)	Rabattement
S	Coefficient d'emmagasinement
T (m ² .s ⁻¹)	Transmissivité
t ₀	Temps fictif à l'origine (point d'intersection de la droite représentative avec l'axe de t)
ε	Erreur de la balance ionique

LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ANNEXES

ANNEXE 1 : DONNEES ANTERIEURS

Tableau 1 : Données hydrogéologiques des différents forages

Site	Longitude	Latitude	Z	Horizon capté	TDS (mg.l ⁻¹)	N.S (m)	Q (m ³ .h ⁻¹)	s (m)	Aquifère	T (m ² .s ⁻¹)
Charat	15°42'19"	16°49'32.0"	17	51,9 à 63,3	250	53,3	6,4	0,56	Eocène	5.10 ⁻³
Hassi Elmebrouk	15°53'58,4"	17°08'08.2"	20	46,9 à 84,2	200	27,7	10,6	0,99	C.T	
Mederdra	15°39'38.0"	16°55'14.0"	34	51,32 à 63,32	170	38,3	32	3,94	C.T	1.10 ⁻²
Beir Touerss	15°43'55.7"	17°01'14.0"	40	51 à 54,82 à 91	300	54,1	10	0,31	C.T	
R'Kizspm	15°05'09.5"	17°02'59.0"	17	52,08 à 68	258	29,92	44	12,15	C.T	1.10 ⁻³
R'kiz2	15°11'24"	17°110'28"	40	84-114	200	54,30	26	6,67	C.T	1,17.0 ⁻³
R'kiz4	15°05'24.0"	17°03'36.0"	30	70 à 76,6	1400	33	72	40	Eocène	1.10 ⁻⁴
R'kiz6	15°21'36.0"	16°55'48.0"	20	136 à 146	750	25,33	14,4	23,5	Maast	1.10 ⁻³
Taef	15°29'41.4"	16°50'30.8"	8	16,2 à 33,3		9				

Tableau 2 : Logs des forages utilisés dans les coupes géologiques et hydrogéologiques

Forage Tiguent

Altitude	Epaisseur	Mur	Lithologie
Quaternaire			
9	1	1	Argile sableuse [1 ⁰]
5,5	2,5	3,5	Sable argileuse fin [2 ⁰]
-3	9,5	13	Sable fin blanc [3 ⁰]
-7	4	17	Sable fin argileux [4 ⁰]
-19	12	29	Sable fin et silt argileux [5]

Continental Terminal

-25,5	6,5	36	Argile silteuse [6 ⁰]
-36,5	11	47	Sable ocre [3 ⁰]
-39,5	3	50	Sable fin argileux [4 ⁰]
-42	2,5	52	Sable fin ocre [3 ¹]
-48,5	6,5	59	Sable fin argile lie-de-vin [4 ¹]
-50	1,5	60	Sable moyen argileux [7]
-54	4	64	Argile jaune ocre [6 ¹]

-60 6 70 Argile silteuse jaune [6¹]

Forage Hassi Elmebrouk

Quaternaire

19 1 1 Sable fin marron [3²]
3 16 17 Sable fin à moyen rose et blanchâtre [8]

Continental Terminal

-5 8 25 Sable fin un peu argileux bariolé [4²]
-10 5 30 Sable fin jaune-verdâtre argileux vers la base [4³]
-15 5 35 Argile sableuse à graviers latéritique et quartez [1¹]
-23 8 43 Sable fin gris à marrons [3³]
-32 9 52 Sable fin à quelques graviers de latéritique et de quartez [3⁴]
-33 1 51 Sable hétérogène blanc rose [8¹]
-48 15 68 Grès tendre fin argileux bariolé avec quelques [9⁰]
-52 4 72 Grès tendre argileux [9¹]
-55 3 75 Sable moyen à grossiers claire [8²]
-61 6 81 Grès tendre peu argileux [9²]
-66 5 86 Sable hétérogène à graviers quartez [8³]

Eocène

-68 2 88 Argile jaune [6³]
-69 1 89 Marne noire à graviers quartzeux et latéritique [10⁰]

Forage Bir Touersse

Quaternaire

39 1 1 Sable fin ombre [8⁵]
37 2 3 Sable fin blanc [3⁰]
34 3 6 Sable fin rose [3⁶]
32 2 8 Grès tendre gris vert [9³]

Altitude Epaisseur Mur Continental Terminal

21 11 19 Sable fin bariolé gris vert entête rose vers la base [3⁷]
17 4 23 Sable fin peu argileux [4³]

2	15	38	Argile bariolé [6 ⁴]
0	2	40	Argile sableuse marron jaune [1 ²]
-4	4	44	Sable fin légèrement argileux [4 ⁴]
-12	8	52	Sable fin à moyen rose et marron quelques graviers latéritiques [8 ⁴]
-14	2	54	Sable moyen quartzeux et latéritique [11 ^o]
-17	3	57	Sable fin à moyen bariolé [8 ⁵]
-19	2	59	Sable moyen marron à rose [11 ¹]
-21	2	61	Argile grise sableuse [1 ³]
-27	6	67	Sable fin jaune et rose plus grossiers vers la base [8 ⁶]
-30	3	70	Sable fin à moyen argileux [3-7]
-42	12	82	Sable fin à moyen jaune (oxydation) [8 ⁷]
-51	10	92	Sable moyen à grossier avec quelques quartz (oxydé) [8 ⁸]

Eocène

-59	7	99	Marne blanche grise et noire [10 ¹]
-----	---	----	---

Forage Taef

Quaternaire

6	2	2	Sable fin argileux noire [4 ⁵]
4	2	4	Sable fin gris à blanc [3 ⁸]

Continental Terminal

-3	7	11	Sable argileux bariolé blanc et jaune (gravier quartzeux à la base) [2 ¹]
-21	18	29	Sable hétérogène brun à graviers de quartz et latérite [8 ⁹]
-25,5	4	34	Sable hétérogène blanc jaune à graviers de quartz et latérite [8 ¹⁰]

Eocène

-31	5	39	Argile jaune verte feuilletées [6 ⁴]
-----	---	----	--

Forage Rkiz4

Quaternaire

+20	10	10	Sables
-----	----	----	--------

Continental Terminal

-25	5	15	Sable argileux
-----	---	----	----------------

Eocène

-70	45	60	Argile
-----	----	----	--------

Maastrichtien

-100	30	90	Argiles sableuses
------	----	----	-------------------

-110	10	100	Socle
------	----	-----	--------------

Forage Rkiz 6

Continental Terminal

-20	40	40	Sable argileux
-----	----	----	----------------

Eocène

-80	60	100	Argile
-----	----	-----	--------

Maastrichtien

-300	220	320	Argiles silteuses
------	-----	-----	-------------------

-310			Socle
------	--	--	--------------

Forage Charatt

Quaternaire

+4	12	12	Sable
----	----	----	-------

Continental Terminal

-3	7	19	grès
----	---	----	------

-6	3	22	Sables argileux
----	---	----	-----------------

-22	28	50	Sables
-----	----	----	--------

-48	26	76	Sables graveleux
-----	----	----	------------------

Eocène

-55	7	83	Argiles
-----	---	----	---------

ANNEXE 2 : RESULTATS DES ESSAIS DE POMPAGE

Tableau 1 : Données des forages du G.T.H 2005 - 2006 dans le sud-ouest du Trarza

Forage	Longitudes	Latitudes	Altitude	N.S	Con. $\mu\text{S.cm}^{-1}$	T°C	pH	Date
Lbeirdi,B2	16°1'49"	16°40'17"		13,5	874	28,1	7,44	28/11/2005
Baraina	15°11'23.8"	17°15'55.8"	40	54,7	350	31	7,5	02/11/2006
Bombry	16°3'29"	16°46'20,6		8,07	288	23,2	6,77	17/11/2006

Tableau 2 : Résultats des mesures de terrain des essais de puits sur les différents forages

Forages	1érepalier		2émepalier		3émepalier		4émepalier	
	Q($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	s (m)	Q($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	s (m)	Q ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	s(m)	Q($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	s (m)
LBEIRDI	3,87	0,27	7,91	0,53	12,3	0,82	14,01	1,10
BARAINA	6,95	1,57	13,72	2,92	20,95	4,93	23,6	5,28
BOMBRY	7,4	1,33	13,5	2,41	16,4	2,88	20,7	3,72

Tableau 3a : Résultats des meures de terrain d'essai de nappe sur les différents forages

Résultas des essais de pompage	Débit de pompage (constant) (m^3/h)	Niveau statique/sol (m)	ND/sol (m)	s(m)	X(m)
Lebierdi	12,31	13,5	14,74	1,24	132
Baraina	25,3	54,35	60,92	6,57	
Bombry	15.5	8.07	10.12	2.81	

Tableau 3b : Résultats des meures de terrain des essais de nappe sur les différents forages (Descente)

Lbeirdi				Bombry				Baraina			
t(min)	s (m)	t(min)	s (m)	t(s)	s (m)	t(min)	s (m)	t (min)	s(m)	t(min)	s (m)
1	0,93	105	1,6	1	0,5	105	2,41	1	0,1	105	4,81
2	1,01	120	1,61	2	1,1	120	2,45	2	0,2	120	4,98
3	1,08	135	1,63	3	1,21	135	2,49	3	0	135	5,15
4	1,12	150	1,64	4	1,45	150	2,54	4	0,9	150	5,32
5	1,17	165	1,66	5	1,49	165	2,59	5	0	165	5,52
6	1,23	210	1,69	6	1,56	210	2,64	6	0	210	5,7
7	1,2	240	1,72	7	1,59	240	2,72	7	1,81	240	5,85
8	1,22	270	1,73	8	1,64	270	2,79	8	1,93	270	6
9	1,23	300	1,76	9	1,69	300	2,84	9	2,01	300	6,15
10	1,24	330	1,77	10	1,72	330	2,86	10	2,35	330	6,24
12	1,31	360	1,79	12	1,78	360	2,89	12	2,49	360	6,39
14	1,29	420	1,81	14	1,83	420	2,95	14	2,62	420	6,51
16	1,3	480	1,84	16	1,86	480	2,99	16	2,71	480	6,69
18	1,31	600	1,87	18	1,89	600	3,06	18	2,85	600	6,87
20	1,33	720	1,91	20	1,92	720	3,1	20	2,99	720	7
25	1,34	840	1,92	25	1,94	840	3,15	25	3,1	840	7,2
30	1,36	960	1,94	30	1,99	960	3,25	30	3,7	960	7,43
35	1,4	1080	1,95	35	2,11	1080	3,32	35	3,72	1080	7,52
40	1,44	1200	1,97	40	2,18	1200	3,39	40	3,8	1200	7,62
50	1,46			50	2,24			50	3,89		
60	1,48			60	2,29			60	4,02		
70	1,52			70	2,33			70	4,16		
80	1,58			80	2,36			80	4,58		
90	1,61			90	2,39			90	4,69		

**ANNEXE 3 : RESULTATS DES ANALYSES
CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES**

Tableau 1a : Moyennes des résultats hydrochimiques des eaux souterraines entre Tiguent et Rosso à 1994 (les ions en méq.l⁻¹)

Données chimiques de 1994													
N°	Longitudes	Latitudes	Localités	Désignation	Min (mg.l ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻
1	16°03'58"	17°13'50"	TIGUENT	T1	1203	4,83	3,9	7,9	0,35	11,7	0,34	3,02	0,021
2	16°2'55"	17°10'38"		T2	1162	4,99	4,21	6,71	0,37	10,5	1,29	2,3	0,013
3	15°59'17,8"	17°11'10,8"		T3	927	3,58	2,99	5,94	0,27	8,97	0,95	2,06	0,014
4	16°02'44"	17°11'42"		T4	438	1,77	1,6	3	0,19	4,15	0,69	1	0,006
5	16°3'38"	17°7'27"	HASY TURK	H1	2679	17,22	9,94	11,54	0,48	33,2	1,55	2,27	0,38
6	16°3'32"	17°7'38"		H2	725	2,6	1,69	5,12	0,26	7,2	0,78	1,72	0,011
7	16°6'35"	16°51'1"	TIGOMATINE	M1	686	2,2	1,97	4,8	0,25	7	0,57	1,7	0,011
8	16°2'28"	16°55'15"		M2	2399	12,32	10,42	11,58	0,8	23,5	3	4,14	0,033
9	16°4'27"	16°53'57"		M3	1120	4,97	3,5	7,83	0,79	9,99	2,69	3,49	0,011
10	16°3'46"	16°41'55"	TAWVIQ	V1	354	1,93	0,69	2,33	0,14	3,11	1,09	0,8	0,004
11	16°3'38"	16°42'16"		V2	393	2	0,96	2,61	0,24	3,2	1,56	0,6	0,004
12	16°1'42"	16°40'29"	LBEIRDI	B1	500	2,42	1,69	2,55	0,19	4,23	0,65	1,07	0,003
14	15°56'42"	16°37'54"	TENWERAT	W1	664,5	3,17	1,78	3,67	0,21	5	1,25	1,47	0,004
15	15°54'10,08"	16°36'39"		W2	521	2,9	2,45	2,68	0,32	3,41	2	2,96	0,004
16	15°51'23"	16°34'1"	PK 10 DE ROSSO	K1	666	3,61	2,55	3,47	0,31	4,53	0,79	4,02	0,031
17	15°51'1"	16°34'23"		K2	1236	5,55	3,25	10,26	1,16	11,12	4,09	3,49	0,008
18	15°51'12"	16°34'2"		K3	886	3,78	2,51	5,4	0,67	6,81	2,69	1,81	0,009

Tableau 1b : Moyennes des résultats hydrochimiques des eaux souterraines entre Tiguent et Rosso de Novembre 2005 à Avril 2006 (les ions en méq.l⁻¹)

Données chimiques de 2006																	
Longitudes	Latitudes	Localités	Désignation	€	pH	T(C°)	C.E (µS.cm ¹)	M20 (mg.l ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻
16°03'58"	17°13'50"	TIGUENT	T1	4,2	6,37	29,4	1591	1207	4,85	3,9	7,98	0,3	13,2	0,32	3,01	0,022	0,38
16°2'55"	17°10'38"		T2	3,98	6,82	28,8	1536	1165	4,97	4,2	6,27	0,4	11,8	1,26	2,28	0,014	0,39
15°59'17,8"	17°11'10,8"		T3	4,05	7,17	28,3	1224	929	3,6	3	5,92	0,3	9,54	0,93	2,07	0,015	0,24
16°02'44"	17°11'42"		T4	4,11	7,03	29	615	512	1,74	1,6	3	0,2	4,38	0,67	1,03	0,007	0,14
16°3'38"	17°7'27"	HASY TURK	H1	3,89	7,35	27,7	3538	2683	17,2	9,9	12	0,5	35,2	1,53	2,25	0,04	0,31
16°3'32"	17°7'38"		H2	4,17	7,25	28,2	956	725,1	2,58	1,7	5,1	0,3	7,38	0,77	1,74	0,014	0,12
16°6'35"	16°51'1"	TIIGOMATINE	M1	3,85	6,81	28,7	905	687	2,21	2	7,8	0,2	7,11	0,54	1,68	0,012	0,16
16°2'28"	16°55'15"		M2	2,99	7,92	27,7	3168	2403	12,3	10	12	0,8	26,2	2,97	4,12	0,034	0,96
16°4'27"	16°53'57"		M3	3,17	7,76	29	1478	1122	4,95	3,5	7,5	0,7	9,11	2,64	3,51	0,012	0,69
16°3'46"	16°41'55"	TAWVIQ	V1	4,09	6,61	28,6	525	520	1,94	0,7	2,4	0,1	3,34	1,05	0,82	0,005	0,04
16°3'38"	16°42'16"		V2	4,22	7,67	28,6	550	512	2,01	1	2,6	0,2	3,72	1,53	0,63	0,005	0,03
16°1'42"	16°40'29"	LBEIRDI	B1	3,84	7,29	29,4	697	504	2,46	1,7	2,6	0,2	4,28	0,64	1,08	0,004	0,67
16°1'49"	16°40'17"		B2	4,33	7,44	28,1	874	664	3,19	1,8	3,7	0,2	5,25	1,23	1,49	0,006	0,53
15°56'42"	16°37'54"	TENWERAT	W1	4,3	7,96	29,2	729	522	2,92	2,4	2,7	0,3	3,44	1,28	2,98	0,005	0,3
15°54'10,08"	16°36'39"		W2	3,92	7,28	29	880	667	3,93	2,5	3,5	0,3	4,55	0,76	4,03	0,008	0,2
15°51'23"	16°34'1"	PK 10 DE ROSSO	K1	4,41	7,67	28,7	1767	1240	5,57	3,3	10	1,2	12,2	4,03	3,47	0,032	0,41
15°51'1"	16°34'23"		K2	4,43	7,58	29	1167	885	3,79	2,5	5,45	0,6	6,84	2,66	1,8	0,009	0,06
15°51'12"	16°34'2"		K3	4,17	7,04	27,9	1029	781	2,77	2,6	4,09	0,6	3,21	1,43	5,32	0,006	0,06
		Fleuve Sénégal	Rf		7,69	26,2	74	69	0,3	0,3	0,2	0,1	0,29	0,43	0,2	0	0
		Eau de mer					45125	38275	24	120	462	12	625	2,3	58	1,85	

Tableau 2a : Valeurs des indices de saturation des eaux souterraines (campagnes 1994)

Phase minérales (SEMEGA, 1994)											
Longitudes	Latitudes	Localités	Désignation	TDS (mg.l ¹)	Anhydrite	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gypse	Halite	Magnésite
16°03'58"	17°13'50"	TIGUENT	T1	1203	-1,685				-1,507	-5,785	
16°2'55"	17°10'38"		T2	1162	-1,869	-1,966	-1,825	-3,77	-1682	-5887	-2,03
15°59'17,8"	17°11'10,8"		T3	927	-0,91				-1,72	-6,088	
16°02'44"	17°11'42"		T4	438	-2,54				-2,352	-6,584	
16°3'38"	17°7'27"	HASSEY TURK	H1	2679	-1,529	-0,477	-0,336	-0,772	-1342	-5,19	-0,813
16°3'32"	17°7'38"		H2	725	-2,311				-2,123	-6,134	
16°6'35"	16°51'1"	TIGIOAMTINE	M1	686	-2,303				-2,115	-6,229	
16°2'28"	16°55'15"		M2	2399	-1,349	-0,331	-0,189	-0,291	-1,152	-5,312	-0,477
16°4'27"	16°53'57"		M3	1120	-1,694	-0,679	-0,538	-1,027	-1,506	-5,907	-0,866
16°3'46"	16°41'55"	TAWVIQ	V1	354		-1,403	-1,261			-6,87	
16°3'38"	16°42'16"		V2	393		-0,119	-0,977			-6,877	
16°1'42"	16°40'29"	LBEIRDI	B1	500	-2,254				-2,076	-6,764	
15°56'42"	16°37'54"	TENWERATT	W1	521	-2,011	-1,183	-1,042	-1,904	-1,834	-6,898	-1,24
15°54'10,08"	16°36'39"		W2	666	1,615				-1,427	-6,607	
15°51'23"	16°34'1"	PK 10 DE ROSSO	K1	1236	-1,65	-0,312	-0,17	-0,389	-1463	-5,677	-0,595
15°51'1"	16°34'23"		K2	886	-2,197	-0,74	-0,599	-1,203	-2,01	-6,21	-0,981
15°51'12"	16°34'2"		K3	780	1,684	-1,258	-1,116	-2,058	-1,496	-7,206	-1,318

Tableau 2b : Valeurs des indices de saturation des eaux souterraines (campagnes 2006)

Phases minérales 2006											
Longitudes	Latitudes	Localités	Désignation	TDS	Anhydrite	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gypse	Halite	Magnésite
16°03'58"	17°13'50"	TIGUENT	T1	1207	-1,688				-1,511	-5,752	
16°2'55"	17°10'38"		T2	1165	-1,869	-1,966	-1,1825	-3,478	-1,82	-5,887	-2,03
15°59'17,8"	17°11'10,8		T3	929	-1,966				-1,728	-6,039	
16°02'44"	17°11'42"		T4	440	-2,52				-2,342	-6,76	
16°3'38"	17°7'27"	HASSEY TUK	H1	2683	-1,538	-0,493	-0,35	-0,811	-1,1341	-5,175	-0,836
16°3'32"	17°7'38"		H2	725,1	-2,311				-2,123	-6,134	
16°6'35"	16°51'1"	TIGOMATINE	M1	687	-2,326				-2,138	-5,992	
16°2'28"	16°55'15"		M2	2403	-1,135	-0,333	-0,19	-0,294	-1,153	-5,295	-0,478
16°4'27"	16°53'57"		M3	1122	-0,1685	-0,665	-0,524	-0,991	-1,508	-5,909	-0,845
16°3'46"	16°41'55"	TAWVIQ	V1	354		-2,402	-2,26			-6,87	
16°3'38"	16°42'16"		V2	394		-1,119	-0,977			-6,877	
16°1'42"	16°40'29"	LBEIRDI	B1	499	-2,254				-2,076	-6,764	
16°1'49"	16°40'17"		B2	664	-2,144	-1,012	-0,87	-2,049	-1,956	-0,65	-1,555
15°56'42"	16°37'54"	TENWERATT	W1	522	-2,011	-1,183	-1,042	-1,904	-1,834	-6,898	-1,24
15°54'10,08"	16°36'39"		W2	667	-1,606				-1,428	-6,09	
15°51'23"	16°34'1"	PK 10 DE ROSSO	K1	1240	-1,654	-0,314	-0,173	-0,393	-1,466	-5,64	-0,597
15°51'1"	16°34'23"		K2	885	-2,189	-0,726	-0,585	-1,166	-2,011	-6,213	-0,959
15°51'12"	16°34'2"		K3	781	-1,712	-1,282	-1,139	-2,114	-1,514	-6,607	-1,349

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A mon père et ma mère

A tous mes frères et sœurs

A toute ma grande famille

A tous mes amis d'ici et d'ailleurs

A l'amitié entre les peuples mauritaniens et sénégalais

A tous ceux qui souffrent de l'injustice de leurs semblables

A la Mauritanie, mon pays natal et au Sénégal, mon pays d'accueil.

AVANT-PROPOS

Avant de présenter les résultats de ce travail, je voudrais adresser mes vifs et sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribuées de près ou de loin à sa réalisation.

- **Monsieur Cheikh Bécaye GAYE**, Professeur titulaire au département de Géologie de l'UCAD, que je ne connais pas très bien. Vous avez accepté de présider ce jury et de juger ce travail avec rigueur. Je vous témoigne ici, mon respect et ma reconnaissance pour votre contribution à la valorisation de ce travail. Que vous trouvez ici l'expression de mes sincères remerciements.

- **Monsieur Abdoulaye FAYE**, Maître de Conférence et Responsable du D.E.A de Géologie Appliquée au département de Géologie de l'UCAD. Votre disponibilité permanente, vos conseils sans faille et votre rigueur scientifique ont été d'un grand apport durant toutes les étapes de la réalisation de ce travail. Hier, ce sont vos excellentes qualités pédagogiques que je louais, aujourd'hui c'est votre attachement à notre cause. Vous avez fait de nous de véritables chercheurs avant l'heure. Ainsi nous vous devons une grande reconnaissance, beaucoup de remerciements tout en vous rassurant à rester fidèle à cet esprit de rigueur.

- **Monsieur, Serigne FAYE** Maître de Conférence au département de Géologie de l'UCAD, mérite également mes sincères remerciements, Votre présence comme examinateur dans ce jury me reconforte. Encore une fois, que vous trouvez ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

- **Monsieur, Moustapha DIENE**, Maître Assistant au département de Géologie de l'UCAD, Votre présence dans le jury et surtout d'avoir accepté de juger ce travail est un privilège pour moi. Trouver ici l'expression de mes sincères remerciements.

Mes remerciements vont aussi :

- à **Monsieur Bakari Mouhamed SEMEGA**, Maître de Conférences et Responsable de la filière M.G.E au département de Géologie de la F.S.T de Nouakchott.

- au Docteur **Olivier Florent ESSOULI**, pour sa disponibilité, ses suggestions et critiques et surtout ses conseils ont été un grand atout pour la réalisation de ce travail. Il m'a beaucoup aidé pour la réalisation de ce document. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude ;

- à tous mes camarades de promotion en l'occurrence Yves, Léopold, Bacar et Sidi qui ont été en parfaite harmonie avec moi. Aujourd'hui, je profite de cette occasion pour leur renouveler mes vifs remerciements et ma profonde gratitude. De plus, je les exhorte à rester fidèle à cet esprit.

- tous les enseignants du département de Géologie ainsi que le personnel administratif et technique, je vous remercie infiniment.

Enfin à tous ceux dont j'ai oublié de citer leurs noms et qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments distingués.

RESUME

Le secteur de Tiguent - Rosso, est situé à l'extrême sud-ouest de la région de Trarza, entre les latitudes 16°30' et 17°30' Nord et les longitudes 15° et 16° Ouest. Il présente un régime climatique soumis aux influences à la fois sahélienne et saharienne, est caractérisé par une longue saison sèche et une courte saison humide.

La présente étude se veut une contribution à la connaissance des caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques de l'aquifère du Continental Terminal (CT) dans le sud - ouest du Trarza. Elle se propose de déterminer les effets, les causes et l'origine de la salinité.

Sur le plan hydrogéologique, l'analyse des échantillons des cuttings a permis de reconstituer la nature des terrains traversés pendant la foration et de localiser les différents aquifères et de faire le choix du niveau à capter. Les transmissivités calculées par la méthode de Jacob, entrent dans la gamme d'une nappe captive.

La caractérisation des paramètres physico-chimiques a montré que les eaux sont moyennement à fortement minéralisées avec des conductivités électriques qui varient de 525 à 3538 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et des valeurs de pH qui sont neutres à légèrement basiques. Les valeurs de températures des eaux sont proches de celles de la température atmosphérique ambiante.

Le report des points d'eau dans les diagrammes de Chadha (1999) et binaires de dilution de l'eau de mer a permis d'une part de faire ressortir les différents faciès chimiques : chloruré calcique et magnésien et chloruré sodique et potassiques et d'autre par les différents processus contrôlant la minéralisation des eaux dans le sud - ouest du Trarza : les phénomènes de dissolution des minéraux carbonatés et évaporitiques, de mélange des eaux ou des processus d'échange de base entre l'eau et l'aquifère et les phénomènes d'intrusion saline et de lessivage des embruns ou des aérosols marins au cours de l'infiltration des eaux de pluie.

Mots clés : Trarza, aquifère du Continental Terminal, forage, hydrogéologie, hydrochimie, faciès chimique.

Tableau 3c : Résultats des meures de terrain des essais de nappe sur les différents forages (Remontée)

Heure	t(minutes)	t'(minutes)	t/t'	Rabatement résiduel (s_r en m)		
				Lbeirdi	Baraina	Bombry
8 h 30 mn	1200	0		1,97	3,39	7,62
	1201	1	1201	0,57	1,38	4,47
	1202	2	601	0,26	0,96	2,5
	1203	3	401	0,25	0,86	2,03
	1204	4	301	0,24	0,75	1,61
	1205	5	241	0,22	0,58	1,2
	1206	6	201	0,21	0,43	1,05
	1207	7	172 ,42	0,19	0,32	0,9
	1208	8	151	0,18	0,28	0,7
	1209	9	134 ,33	0,17	0,24	0,67
	1210	10	121	0,17	0,2	0,6
	1212	12	101	0,14	0,01	0,4
	1214	14	86,71	0,14	0,02	0,35
	1216	16	76	0,12	0,02	0,3
	1218	18	67,66	0,11	0,02	0,26
	1220	20	61	0,11	0,03	0,22
	1225	25	49	0,1	0,03	0,2
9h 00 mn	1230	30	41	0,09	0,03	0,16
	1235	35	35,28	0,07	0,03	0,09
	1240	40	31	0,06	0,03	0,07
	1250	50	25	0,06	0,04	0,05
9 h 30 mn	1300	60	21,66	0,05	0,04	0,04
10h 00mn	1330	90	14,77	0,05	0,04	0,02
10 h30mn	1360	120	11,33	0,05	0,04	0,01
11h 00mn	1390	150	9,26	0,05	0,05	0,01
11h30mn	1420	180	7,88	0,04	0,05	0,01
12h 30mn	1480	240	6,16	0,04	0,05	0
13 h30mn	1540	300	5,13	0,04	0,05	0
14h30	1600	360	4,44	0,04	0,05	0

