

LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS

SIGLES	Signification
d	Pente de la droite
BQ	Perte de charge linéaire
AQ²	Perte de charge quadratique
OMS	Organisation Mondiale pour la Santé
pH	Potentiel Hydrogène
Q (m³.h⁻¹)	Débit
Q/s(m³.h⁻¹/m)	Débit spécifique
s/Q (m/ (m³.h⁻¹))	Rabattement spécifique
s (m)	Rabattement
S	Coefficient d'emmagasinement
T (m² .s⁻¹)	Transmissivité

RESUME

Ce présent travail a pour but de déterminer les débits d'exploitation maximum des anciens forages afin de les équiper de manière optimum si les débits sont corrects et aussi de déterminer la qualité chimique des eaux souterraines.

L'interprétation des données des pompages d'essai par la méthode classique de Jacob et par la méthode d'essai normalisé mise en œuvre par le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques de Ouagadougou (C.I.E.H., 1988), a permis de déterminer les débits d'exploitation maximum des forages. Les valeurs des débits d'exploitation maximum obtenues sont comprises entre 1 et 80 m³.h⁻¹ pour la méthode classique de Jacob et 0,7 et 12 m³.h⁻¹ pour la méthode d'essai normalisé du C.I.E.H. Ainsi, les forages d'Agoynit, d'AJAR Soninké (F2), de Diowol et de Toufoundé Civé ont été équipés par de pompes électriques. En effet, dans le cas d'une étude de simulation du débit d'exploitation maximum, la méthode dite « d'essai normalisé » serait la mieux indiquée. En effet, dans cette méthode la durée de la simulation est fixée et connue par rapport à la méthode classique où la simulation se fait en tenant compte du débit de pompage et du rabattement.

La physico-chimie de la nappe a montré que les eaux sont faiblement à moyennement minéralisées avec les valeurs de conductivités électriques inférieures à 1500 μS.cm⁻¹. Ces eaux se répartissent en familles des eaux : les eaux chloruro-sulfatées calciques et magnésiennes et les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes. La représentation des résultats d'analyses chimiques sur les diagrammes de Schoeller-Berkaroff et le calcul des indices de saturation par le programme Wateq, montrent des eaux agressives et entartantes.

Les eaux souterraines sont dans l'ensemble de qualité acceptable avec des concentrations en éléments majeurs inférieures aux concentrations maximales admissibles fixées pour l'eau de boisson par l'OMS. L'étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation en utilisant la méthode de Rive SIDE de l'USSR, basée sur la salinité de l'eau représentée par la conductivité électrique et sur le degré d'alcalinité du sol exprimé par le sodium absorption ratio (SAR.), montre que les eaux souterraines dans la zone du Gorgol - Guidimakha, présentent une aptitude permanente entre les qualités bonne (classe C1-S1) et bonne à moyenne (classes C2-S1 et C3-S1) et peuvent être utilisées pour l'irrigation des sols.

Mots clés : Hydrogéologie, hydrochimie, Forage, essai normalisé, pompages, débit d'exploitation maximum.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE : PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE DU GORGOL - GUIDIMAKHA.....	2
1. MILIEU PHYSIQUE.....	2
1.1 Description géographique	2
1.2. Climatologie.....	2
1.3. Géomorphologie et hydrographie	9
2. CADRE GEOLOGIQUE	11
2.1. Aperçu géologique de la Mauritanie.....	11
2.2. Géologie de la zone d'étude.....	14
2.3. Tectonique du secteur d'étude	19
3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE GENERALE.....	19
4. CONCLUSION.....	20
DEUXIEME PARTIE : CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES ET HYDROCHIMIQUES DES AQUIFERES EXPLOITES DANS LA ZONE DU GORGOL – GUIDIMAKHA.....	23
1. Hydrogéologie de la zone d'étude	23
1.1. Aquifères dits continus ou généralisés.....	23
1.2. Aquifères discontinus.....	28
2. ESSAIS DE POMPAGE.....	30
2.1. Reconstitution des formations géologiques traversées par les forages	30
2.2. Essais de débit par paliers simples	33
2.3. Essais de nappe	46
3. HYDROCHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES	50
3.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux.....	50
3.2. Etude de l'agressivité des eaux souterraines.....	53
3.3. Qualité des eaux souterraines.....	59
4. CONCLUSION.....	62
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	66

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La République Islamique de Mauritanie est un pays sub-saharien d'Afrique de l'Ouest qui connaît actuellement des bouleversements socio-économiques importantes liés à la sédentarisation, à l'accroissement des populations des grandes villes, ce qui induit une forte demande en eau potable. Le climat désertique contraignant et aux longues périodes de sécheresse des années 1970, accentue les tensions sur cette ressource. Ceci d'autant plus que le réseau hydrographique de la Mauritanie n'est que temporaire et quasi - inexistant sur la majeure partie du territoire. Par ailleurs les aquifères rechargés durant les phases humides du Quaternaire et très peu réalimentés depuis, sont exploités pour l'approvisionnement en eau potable des villes et villages mauritaniens.

Pour satisfaire aux besoins en eau sans cesse croissants des populations, il est nécessaire de réaliser des forages et des puits villageois supplémentaires, dans un contexte hydrogéologique, souvent défavorable impliquant la mise en œuvre d'une étude complète de la zone d'implantation de l'ouvrage hydraulique.

Dans les années 1990 un ancien projet d'alimentation en eau potable des centres semi - urbains des wilayas du Gorgol et de Guidimakha, avait réalisé des forages équipés de pompe à motricité humaine. Ces forages feront l'objet, dans le cadre de la présente étude, de pompages par paliers et de longue durée pour déterminer ceux de ces ouvrages qui pourront être équipés de pompes électriques et de systèmes d'alimentation en eau potable avec des réseaux de distribution par bornes fontaines.

Les objectifs spécifiques de cette étude consistent alors à déterminer les débits d'exploitation maximum des anciens forages afin de les équiper de manière optimum si les débits sont corrects et aussi de déterminer la qualité chimique des eaux souterraines.

Le présent mémoire comporte deux parties :

- la première est consacrée à la présentation générale de la zone du Gorgol - Guidimakha, nous décrivons tour à tour la situation géographique, hydroclimatique et hydrographique et la géologie en s'appuyant sur les études antérieures menées dans la partie sud de la Mauritanie.

- la deuxième, donne les résultats de l'étude hydrogéologique, présente avec dans un premier temps, une revue des techniques utilisées (les pompages d'essai et ensuite les analyses chimiques au laboratoire). Pour chacune de ces techniques, les résultats sont présentés et discutés.

Au terme de cette étude, les conclusions sur le contexte hydrogéologique de la zone d'étude hydrogéologique de la zone d'étude seront tirées et les perspectives d'extension de ces travaux présentées.

Première partie :

**PRESENTATION GENERALE DE LA
ZONE DU GORGOL - GUIDIMAKHA**

Première partie : PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE DU GORGOL - GUIDIMAKHA

1. MILIEU PHYSIQUE

1.1. Description géographique

La zone d'étude comprend les wilayas administratives du Gorgol et de Guidimakha. Elle est limitée au nord et nord-ouest par la wilaya du Brakna, au nord et nord-est par la wilaya d'Assaba et au sud et sud-ouest par le fleuve Sénégal qu'est la limite naturelle entre la République Islamique de la Mauritanie et la République du Sénégal (Fig. 1).

Le Gorgol et le Guidimakha, sont situés dans la partie la plus méridionale et la plus arrosée du pays. Par exemple Sélibaby, capitale régionale du Guidimakha, recevait avant la période de sécheresse plus de 600 mm de pluies annuelles. Ces conditions favorables à la culture pluviale ont permis un peuplement très ancien en gros villages d'agriculteurs essentiellement Soninké et les trente dernières années ont connu également, du fait de la sécheresse, la fixation progressive de populations Peuls et Maures naguère nomades.

Même si la période actuelle de sécheresse a quelque peu perturbé ces données, provoquant un certain flux de population chassée du nord, le peuplement reste caractérisé par une forte sédentarisation.

1.2. Climatologie

1.2.1. Mécanismes généraux du climat

En Mauritanie le climat chaud et sec, est saharien au nord et sahélien au sud. La zone sahélienne à laquelle appartient notre zone d'étude, s'étend d'ouest en est sur une bande de 200 km de large couvrant la partie sud du pays. La zone saharienne reçoit actuellement en moyenne annuelle entre 30 et 100 mm de pluies et la zone sahélienne entre 100 et 400 mm (BURGEAP, 2006).

Ce sont les anticyclones des Açores, de Sainte Hélène et du Sahara et la ceinture des basses pressions équatoriales, qui contrôlent l'ensemble des mécanismes généraux du climat en Afrique de l'Ouest (*in* Dacosta, 1989).

L'anticyclone des Açores est situé dans l'Atlantique nord, la pression qui y varie de 1020 à 1025 Hpa, en fait un centre d'action permanente (*in* Dacosta, 1989).

L'anticyclone de Sainte Hélène est situé au sud, où la pression varie de 1018 à 1021 Hpa. Sa proximité de l'équateur et son parcours océanique en font également un centre d'action important.

L'anticyclone sud libyen, sa pression est variable et en été il est remplacé dans les basses couches par une dépression thermique qui constitue un centre d'appel du flux provenant de Sainte Hélène. En ces zones de hautes pressions se développe une ceinture de basse pression où convergent les masses d'air des différents anticyclones : c'est la zone intertropicale de convergence ou front intertropical (FIT) qui se déplace de part et d'autre de l'équateur.

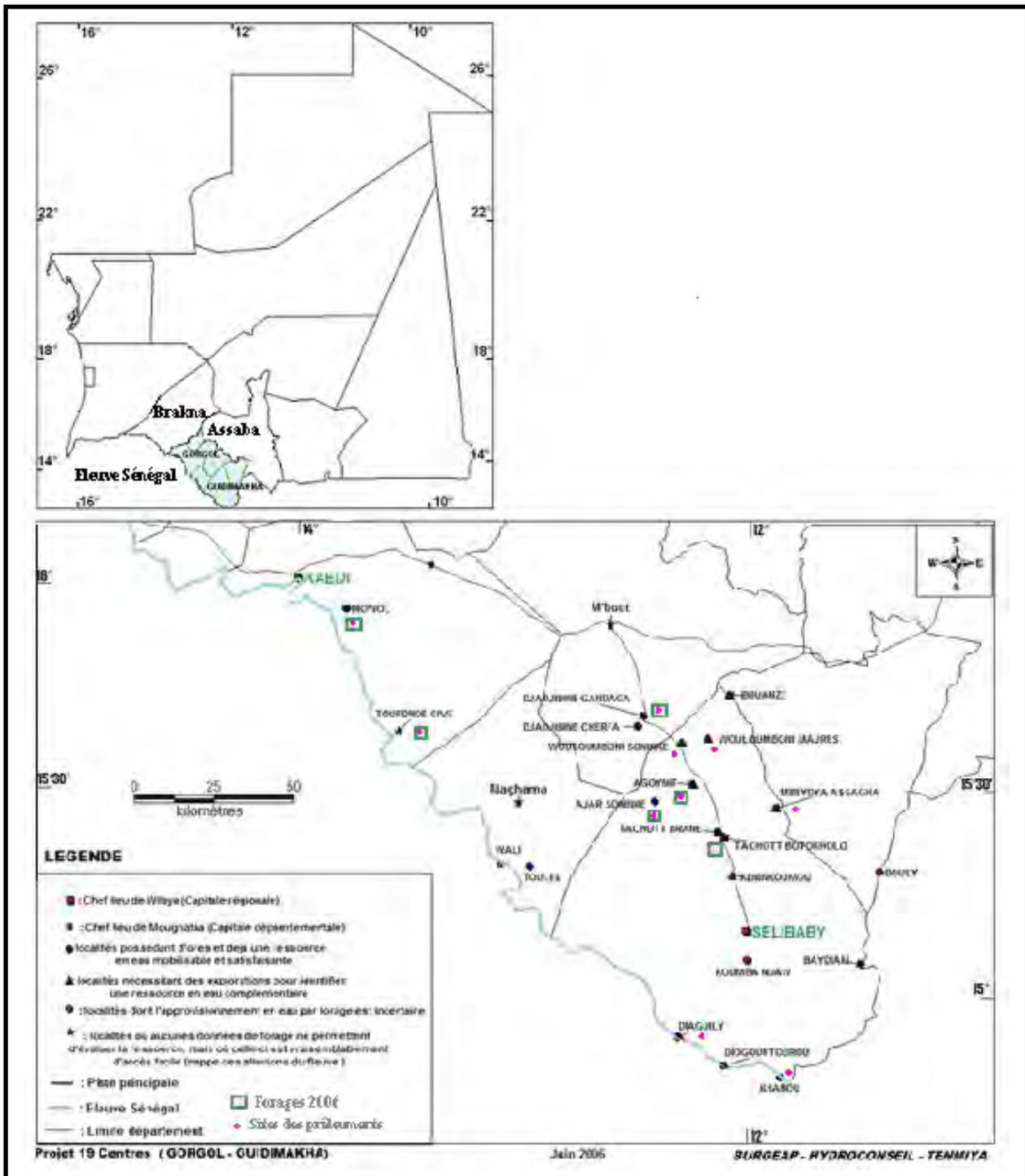


Figure 1: Localisation de la zone d'étude (BURGEAP- HYDROCONSEIL-TENMIYA, 2006)

1.2.2. Analyse des différents paramètres climatiques

Les paramètres climatiques seront analysés à partir des données relevées aux stations météorologiques de Kaédi et de Sélibaby par les services de la météorologie nationale auprès de l'ASECNA pour la période allant de 1983 à 2006.

1.2.2.1. Températures

Les Températures mensuelles mesurées au niveau des stations de Kaédi et de Sélibaby, augmentent de janvier à mars. Les températures les plus élevées sont enregistrées pendant les mois juin, juillet et août avec un maximum de 41°C au mois de juin pour la station de Kaédi et de 46°C à la station de Sélibaby au mois de juillet (Fig. 2). On note ensuite une légère diminution d'août à novembre.

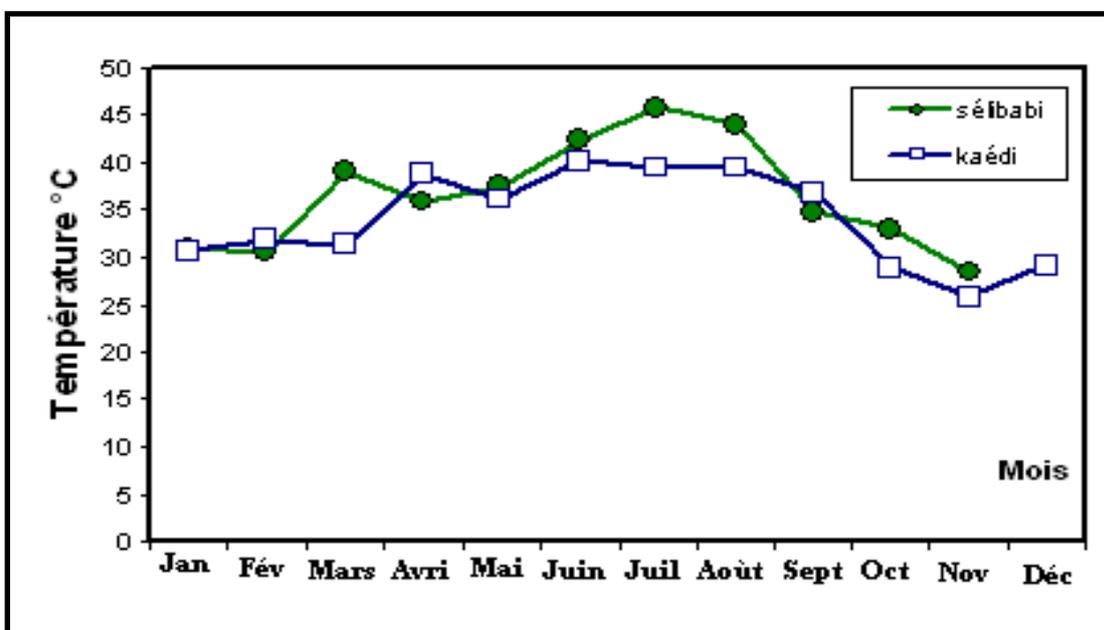


Figure 2 : Variations mensuelles de la température aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006)

1.2.2.2. Humidité relative

Ce paramètre climatique dépend de la température de l'air et de l'effet de continentalité de la station de mesure considérée. L'évolution annuelle de l'humidité relative à l'air est aussi tempérée par l'influence maritime (Gaye, 1990).

Elle est faible à très faible sauf dans les wilayas qui sont sous l'influence de l'océan. Cependant elle est plus significative en hivernage qu'en saison sèche et son maximum correspond généralement à celui de la pluie. L'évolution des valeurs mensuelles de l'humidité relative montre une courbe en cloche au niveau des deux stations de mesures (Fig. 3). On note une augmentation progressive de l'humidité relative de février à septembre. Entre septembre et novembre, la valeur

optimale est atteinte puis une baisse régulière est amorcée de novembre à décembre. Les valeurs les plus importantes de l'humidité relative sont notées entre août et septembre.

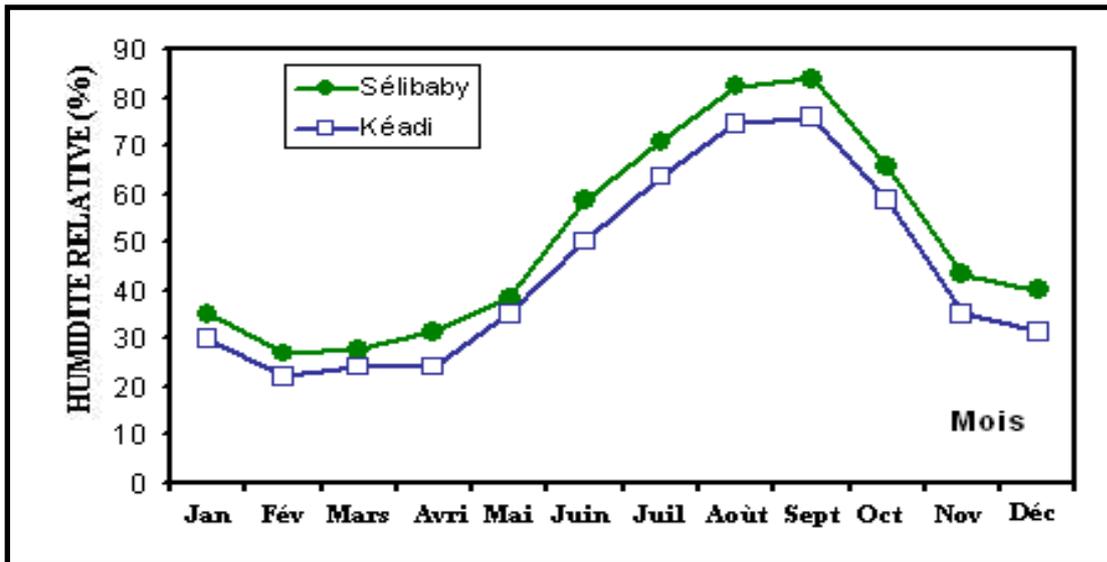


Figure 3 : Variation mensuelle de l'humidité relative aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006)

1.2.2.3 Evaporation

Les valeurs des moyennes mensuelles de l'évaporation aux stations de Kaédi et de Sélibaby sont reportées sur la figure (4). Au niveau de cette figure, les deux courbes présentent pratiquement la même allure. On note une augmentation de l'évaporation de janvier à mai suivie d'une baisse de mai à août. Dans l'ensemble, l'évaporation est plus importante à Kaédi qu'à Sélibaby.

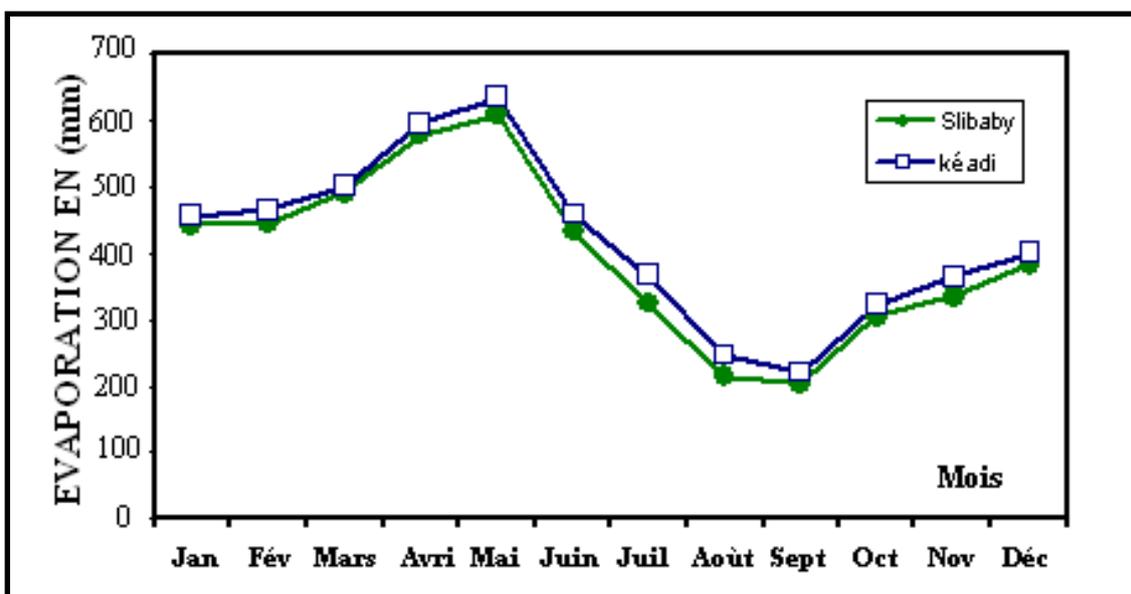


Figure 4 : Evolution des moyennes mensuelles de l'évaporation aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006)

1.2.2.4. Les vents

Pendant la saison sèche, les vents de dominance nord-est sont fréquents et favorisent l'ensablement. L'harmattan, localement dénommé Irifi, est un vent sec en provenance du Sahara, chaud le jour et froid la nuit. En bordure de l'océan, la brise marine exerce une influence adoucissante sur le climat. Durant la saison des pluies (de juillet à septembre), le pays est sous l'influence de la mousson, vent humide qui souffle du sud-ouest et de l'ouest.

L'analyse des données sur les vitesses de vents recueillies aux stations de Kaédi et de Sélibaby, montre que ce paramètre croît régulièrement entre les mois de novembre à mars, puis diminue au mois d'avril, s'ensuit une augmentation jusqu'au mois de juillet qui est immédiatement suivie d'une diminution jusqu'au mois de août (Fig. 5).

Pour les deux stations de mesures, les valeurs moyennes des vitesses de vents sont respectivement de $39,5 \text{ m.s}^{-1}$ à Kaédi et $32,5 \text{ m.s}^{-1}$ à Sélibaby.

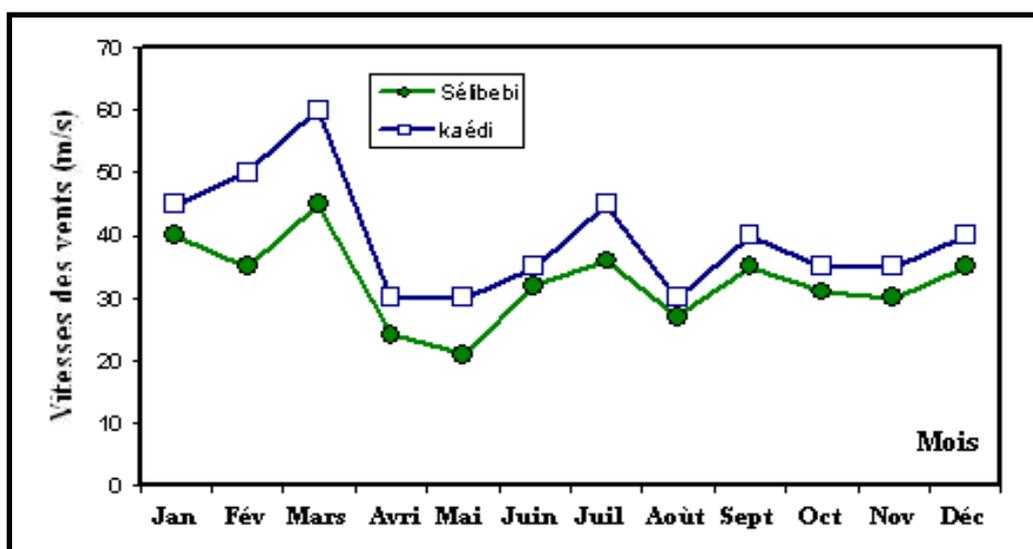


Figure 5 : Variation mensuelle des vitesses de vents aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006)

1.2.2.5. Pluviométrie

Une seule saison des pluies, l'hivernage, dure de juin à septembre dans le sud ; mais débute de plus en plus en retard vers le nord ou l'on observe également quelques pluies d'hiver (novembre - décembre). Le régime pluviométrique est unimodal à l'instar de toute la bande sahélienne (Fig. 6).

On a pu constater au cours des dernières décennies une baisse importante de la pluviométrie moyenne annuelle traduite par une baisse des isohyètes. La période 1935 - 1969 montre une pluviométrie moyenne annuelle variant de 600 mm au sud à 50 mm au nord. Elle ne varie plus qu'entre 400 et 50 mm pendant la période 1970 - 2004. On note ainsi une diminution très sensible

des précipitations traduit par un glissement des isohyètes vers le sud, avec un raccourcissement de la saison des pluies et une augmentation du caractère erratique des épisodes pluvieux. La baisse serait ainsi de 33% à 50% (Fig. 7) (BURGEAP, 2006).

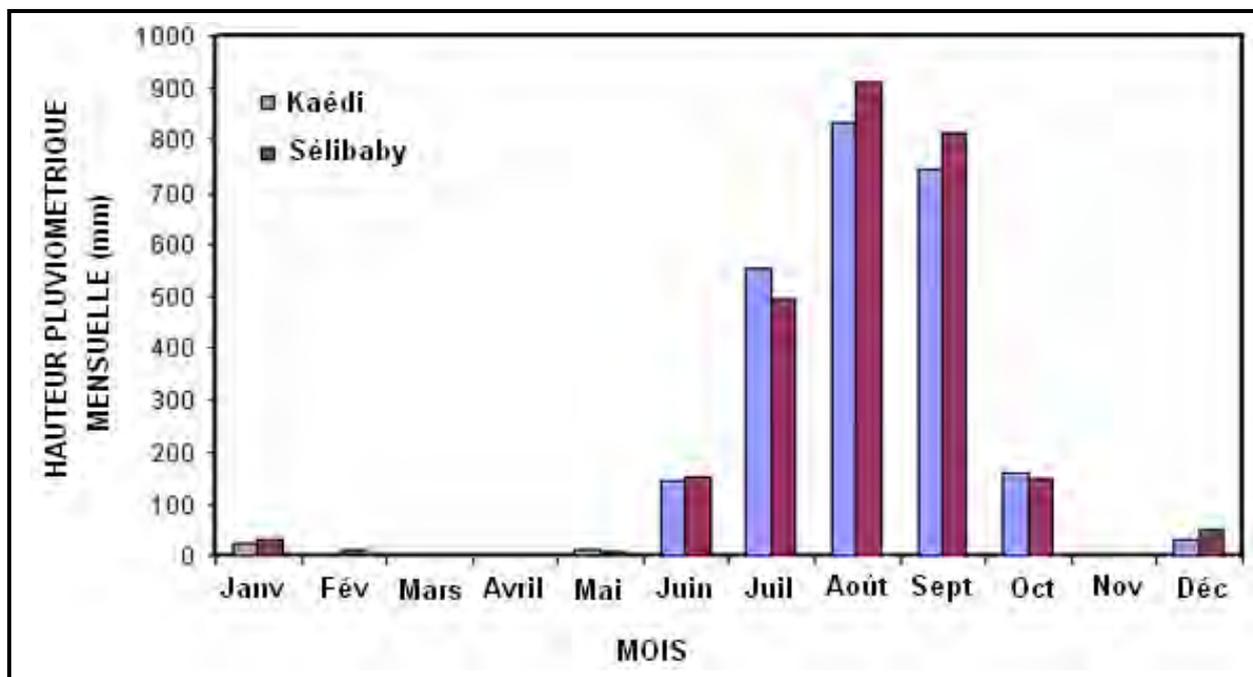


Figure 6 : Pluviométrie moyenne mensuelle aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006)

L'isohyète 400 mm constitue sensiblement la limite nord des cultures de mil en pleine terre pendant l'hivernage (« cultures dites pluviales »). Dans le domaine de l'alimentation des aquifères, on la considère généralement comme la limite en dessous de laquelle, l'évapotranspiration potentielle dépassant la pluie, la réalimentation des nappes par infiltration directe de la pluie utile ne serait plus possible. Cette isohyète 400 mm, passait autrefois au nord de M'bout : elle passe actuellement un peu au nord de Sélibaby, (soit une centaine de kilomètres plus au sud), où elle a remplacé l'ancienne isohyète 600 mm (BURGEAP, 2006).

L'évolution interannuelle de la pluviométrie enregistrée aux stations synoptiques de Kaédi et de Sélibaby de 1983 à 2006, montre une courbe en dents de scie (Fig. 8). Ceci montre l'irrégularité de ce paramètre en fonction du temps.

En plus de l'évolution interannuelle de la pluviométrie, nous avons également représenté pour les deux stations la moyenne mobile sur une période de cinq ans et la moyenne pluviométrique interannuelle. Les moyennes pluviométriques interannuelles à Kaédi et à Sélibaby ont des valeurs respectives de 250 mm et de 210 mm. Ce qui montre que cette moyenne est plus élevée à Kaédi.

Les précipitations de l'hivernage sont reprises par évaporation, évapotranspiration et par ruissellement. On considère généralement qu'aucune infiltration directe n'est possible si le seuil minimal de 400 mm de précipitation annuelle n'est pas atteint, ce qui est actuellement le cas dans la majeure partie du territoire (la recharge des nappes a lieu pour l'essentiel dans les oueds où se concentrent les écoulements).

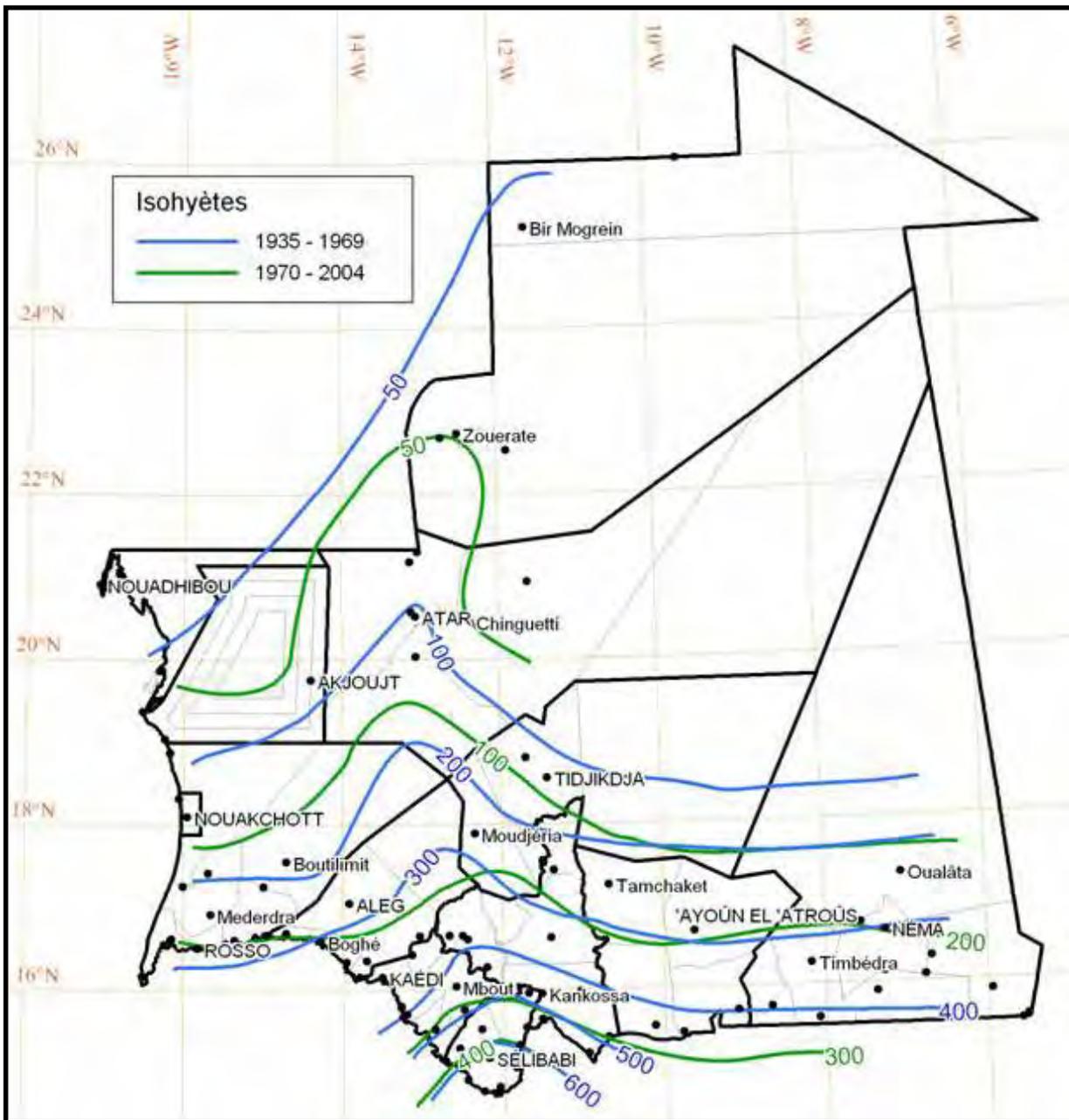


Figure 7 : Isohyètes pour les périodes 1935 - 1969 et 1970 - 2004 (BURGEAP, 2006)

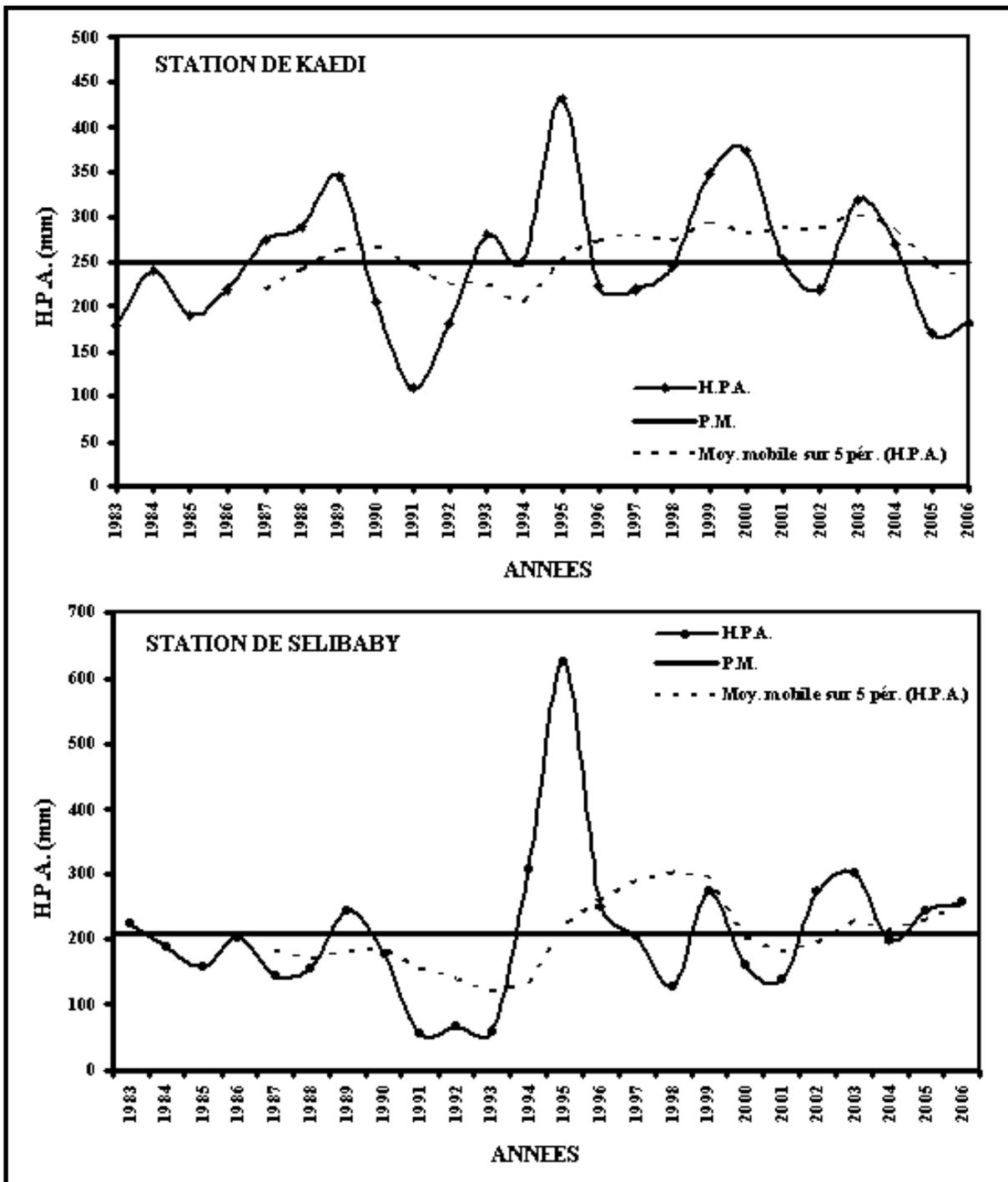


Figure 8 : Variations interannuelles des précipitations aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006)

1.3. Géomorphologie et Hydrographie

La zone d'étude constitue, au pied des falaises de l'Assaba, une pénélaine dont les principales lignes de relief sont constituées par des chaînons quartzitiques, de hauteur toujours inférieure à 100 m, façonnés par la tectonique selon un axe nord - sud (Fig. 9) (BRGM, 1987).

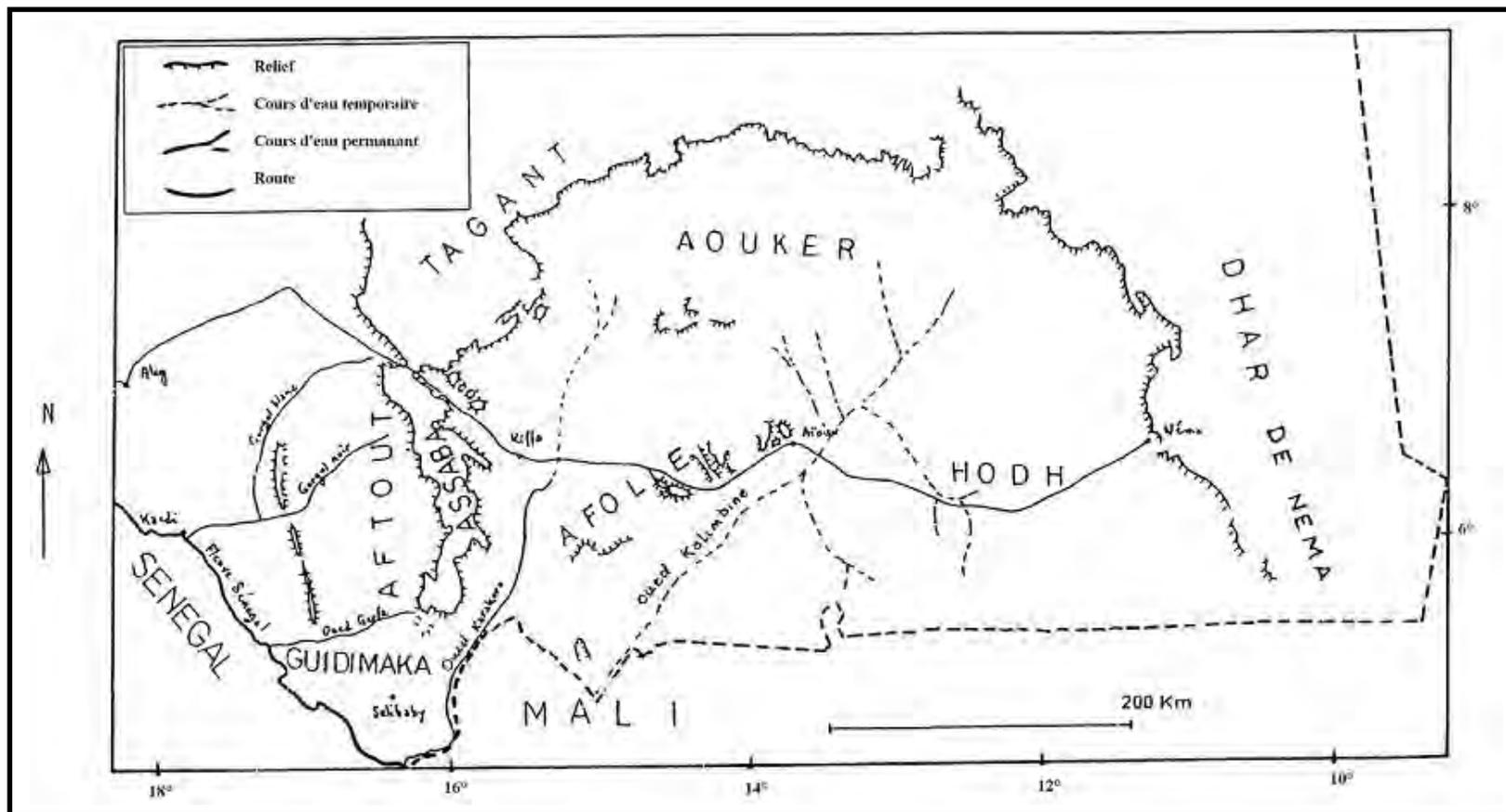


Figure 9 : Relief et hydrographie du sud - est Mauritanien (BRGM, 1987)

Entre le fleuve Sénégal et le 16^{ème} parallèle, les grandes étendues de regs caillouteux et de plaines sableuses ne sont interrompues que par des collines, où affleurent des quartzites et des "chicots" de roche volcano sédimentaires représentant des "buttes témoins" de grès (BRGM, 1987).

Le ruissellement est important avec un réseau hydrographique très marqué, les oueds creusant des sillons peuvent atteindre plusieurs mètres de profondeur. Le recouvrement altéré est mince sous les regs caillouteux.

Le chevelu des oueds est très marqué : il résulte d'un ruissellement assez fort, sur des collines de grès quartzites plus ou moins accentuées, puis des regs généralement argileux qui recouvrent les terrains anciens imperméables.

Les affleurements de la rive droite du Karakoro ont une longueur généralement faible, de moins de 20 km.

Des oueds moyens drainent le sud du Guidimakha : le plus long, l'oued Hamagué, qui passe à Sélibaby, à une soixantaine de kilomètres.

Deux grands oueds recueillent les eaux de ruissellement des 2/3 de la superficie du Guidimakha : ce sont l'oued Niordé au centre et l'oued Garfa au nord-ouest.

En raison de la faible pente du terrain et de leur bassin versant important, ces oueds restent en crue pratiquement pendant toute la durée de l'hivernage.

2. CADRE GEOLOGIQUE

2.1. Aperçu géologique de la Mauritanie

Les formations géologiques de la Mauritanie sont caractérisées par plusieurs ensembles lithostratigraphiques et structuraux qui composent l'Afrique de l'Ouest (Caruba et Dars, 1991 ; Carité, 1989 ; BRGM, 1975 et Ould Jiddou, 1994) (Fig. 10 et 11) :

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

- la chaîne hercynienne des Mauritanides, formée de matériel cristallin et métamorphique, est affectée par des mouvements tectoniques latéraux importants ;
- le bassin paléozoïque et secondaire de Taoudeni à l'est, dont la partie occidentale présente des formations inclinées vers l'est. Généralement les formations de ce bassin sont masquées par les recouvrements dunaires qui empêchent une meilleure connaissance de leurs compositions et leurs structures ;
- le bassin côtier secondaire et tertiaire sénégal-mauritanien orienté vers l'Atlantique s'épaissit vers l'ouest. On y distingue les formations du Maastrichtien (Secondaire) de l'Eocène et du Continental Terminal (Tertiaire) du Tafarien et du Nouakchottien (Quaternaire) ;

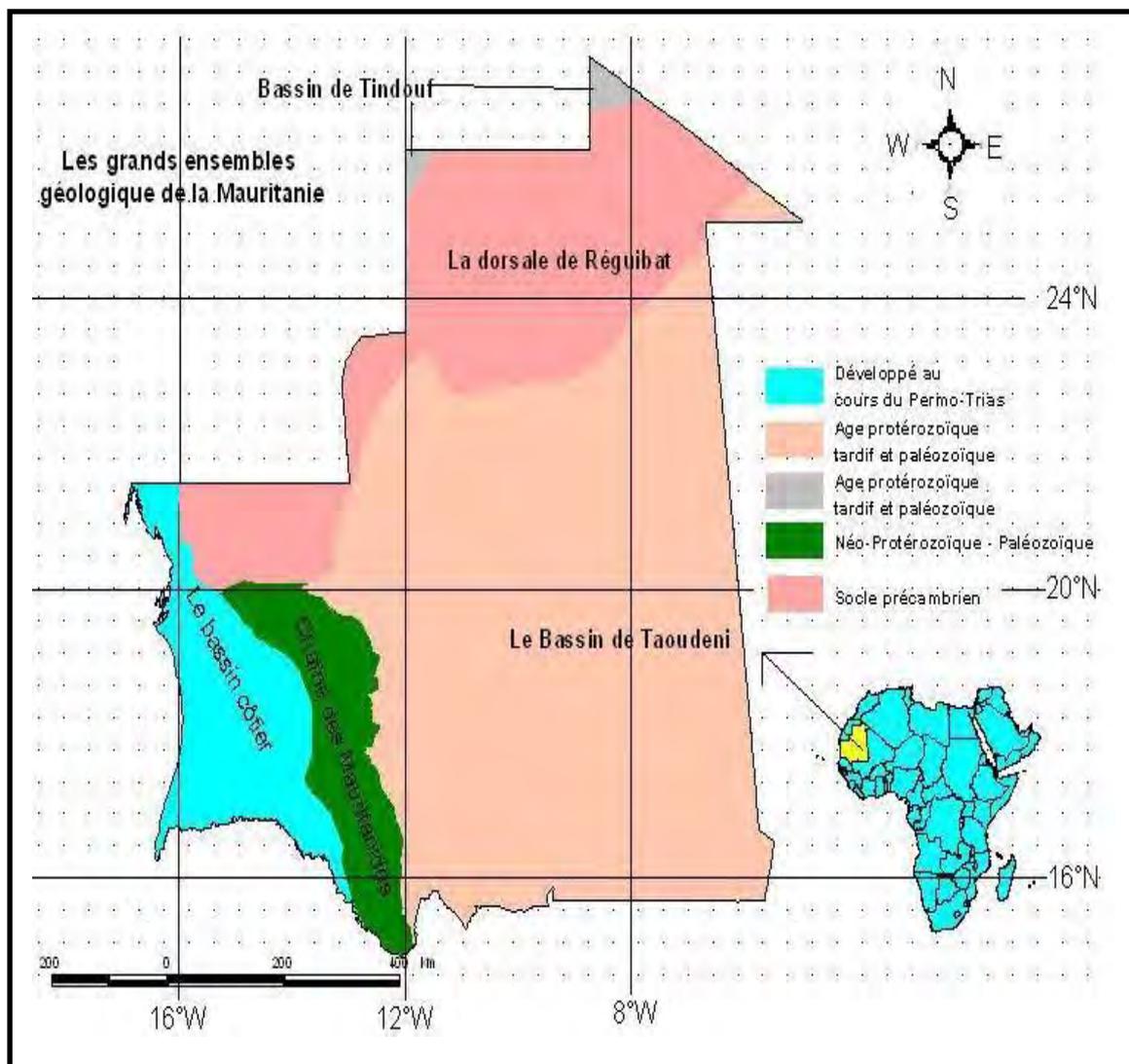


Figure 10: les grands ensembles géologiques de la Mauritanie (MMI, 2006)

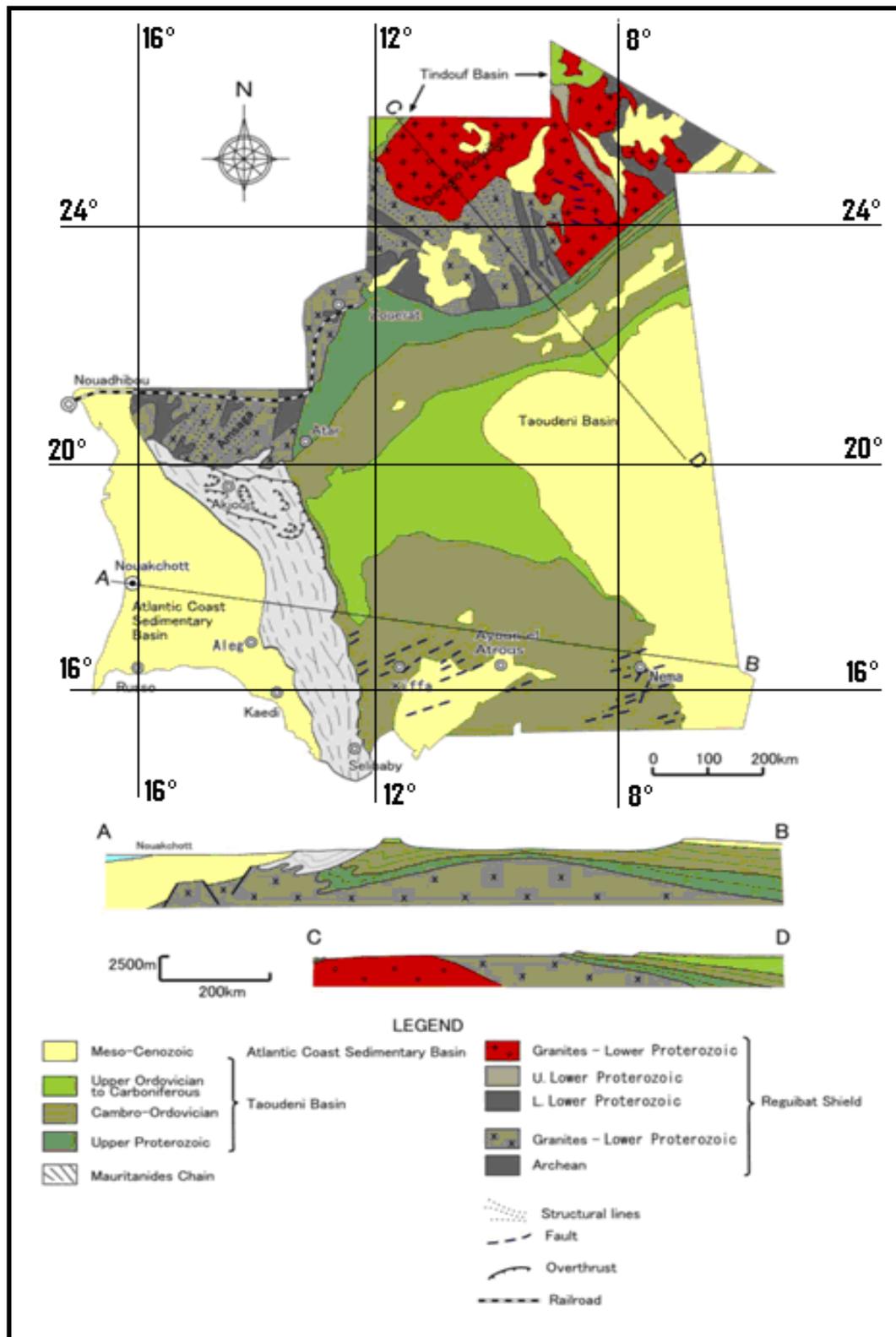


Figure 11: Carte géologique de la Mauritanie et coupes géologiques selon deux segments AB et CD indiqués sur la carte au-dessus (Carité, 1989)

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

2.2. Géologie de la zone d'étude

La géologie de la zone d'étude, composée du "socle" ancien est très complexe dans le détail : elle s'organise schématiquement en bandes parallèles de direction méridienne. Le contexte géologique des 19 centres semi urbains du Gorgol et de Guidimakha permet de les grouper en deux ensembles distincts : le bassin sédimentaire du sud ouest mauritanien et l'Arc des Mauritanides (Fig. 12).

2.2.1. Chaîne des Mauritanides

Les Mauritanides sont un ensemble constitué des unités structurales suivantes : l'autochtone, le Para-autochtone, la zone externe, la zone interne. Lithologiquement proches, elles diffèrent sensiblement par l'intensité et la nature de la déformation : du volcanisme, de la déformation, du métamorphisme. L'intensité de ces phénomènes croît d'est en ouest (Caruba et Dars, 1991).

Les unités structurales débutent par une mixte pouvant être associée à un volcanisme basique ou andésitique et/ou à des carbonates surmonté d'un terme flyshoïde vert (schistes, argilites, pelites) puis d'un terme détritique rouge (pelites et grès) et se terminent par un terme détritique blanc (grès et grès quartzites) (Caruba et Dars, 1991).

L'autochtone et le para-autochtone, non métamorphiques, débutent par la triade : (tillite-jaspe-pelite), souvent incomplète, avec fréquemment au sommet de la tillite des roches à faciès "cargneule" d'aspect dolomitique mais ne réagissant pas avec l'acide. Les jaspes et phtanites très fracturées n'ont pas été retrouvées partout. Les pelites gréseuses sont rouges et d'une épaisseur importante, surmontées par des grès (Caruba et Dars, 1991).

La zone externe, volcano-sédimentaire, peu métamorphisée, débute par une série verte, flyshoïde, épaisse, dans laquelle sont interstratifiés des basaltes et des brèches volcaniques très développées, puis se termine par des grès et pelites rouges surmonté de grès blancs quartzitiques (Caruba et Dars, 1991).

La zone interne, la plus étendue, est caractérisée par un métamorphisme plus intense et un important volcanisme alcalin. Elle chevauche à l'ouest les granites du Guidimakha, eux mêmes chevauchant, vers l'est, la zone externe. On reconnaît dans cette zone les termes

lithologiques des unités précédentes, leurs épaisseurs paraissant toutefois supérieures, du fait, de redoublements des séries, dus aux écaillages. Les micaschistes et quartzites y sont dominants (Caruba et Dars, 1991).

A l'ouest, la zone médiane, est une des zones structurales des chaînes Mauritanides au nord du fleuve Sénégal, est limitée par un dernier ensemble, constitué de granites calco-alcalins et de granodiorites, affleurant dans le Guidimakha et dans la région de Kelbé, et connus sous le nom de "granites du Guidimakha". Ces granitoïdes, qui ont d'abord été attribués au Birrimien, mais semblent en fait d'âge pana-africain, constituent l'unité C de Lécroché *et al.* (1989).

Au nord du 16^e parallèle, enfin, Dia (1984) et Lécroché (1980) ont mis en évidence une semelle, irrégulièrement développée, constituée de quartzites généralement étirés vers l'est, et interprétée comme une couverture déposée au Paléozoïque sur les vestiges de la première chaîne et entraînée, démembrée, sous les nappes.

2.2.2. Bassin sédimentaire du sud-ouest (côtier)

Le bassin sédimentaire côtier, qui s'étend sur toute la partie ouest de la Mauritanie, entre les Mauritanides et l'océan Atlantique, couvre une superficie de près de 100 000 km², soit 10% de la superficie du pays. Il correspond à un affaissement de la plate forme africaine à la faveur de mouvements tectoniques d'orientation nord sud, parallèles à la chaîne des Mauritanides. Le comblement sédimentaire du bassin, marin ou continental, transgressif sur le socle ancien, débute au Crétacé ou au Jurassique. Il s'épaissit d'est en ouest et le long de la côte, du sud au nord, avec l'existence d'un haut fond, dans le sud, au niveau du R'Kiz (BURGEAP, 2006).

La série sédimentaire débute par des sables fins et argileux à l'est et des grès à l'ouest de la dorsale du R'Kiz, qui reposent directement sur le socle et sont attribués au Maastrichtien. Elle se poursuit par les formations sableuses et calcaro - dolomitiques de L'Eocène, puis par celles sableuses et gréseuses du Continental Terminal, et se termine par des dépôts sableux et coquilliers, peu épais, du Quaternaire (BURGEAP, 2006).

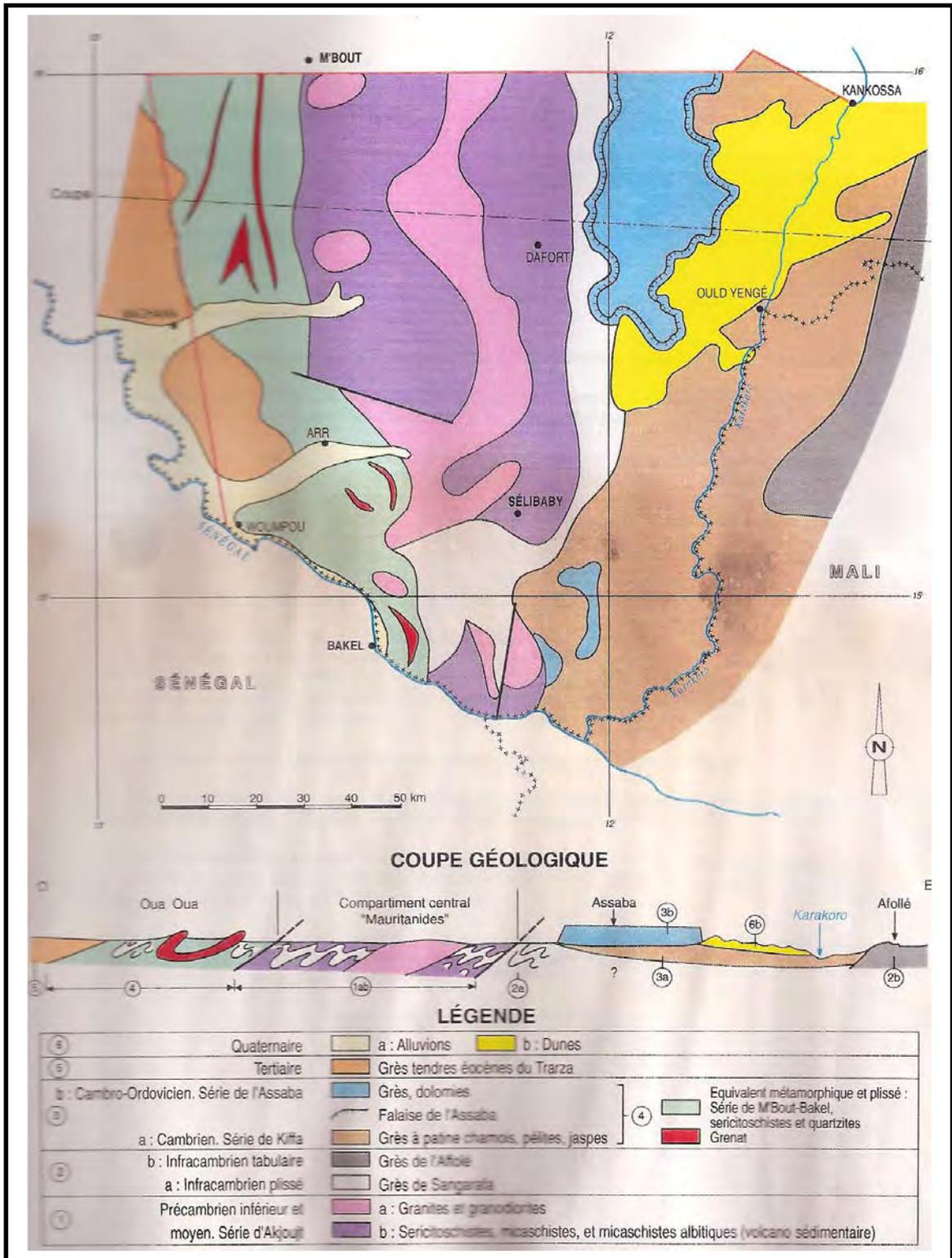


Figure 12 : Esquisse géologique de la zone du Gorgol - Guidimakha (BURGEAP, 1983)

2.2.2.1. Maastrichtien (Crétacé)

Le Maastrichtien (Sénonien supérieur) n'affleure pas, mais se trouve à faible profondeur et repose directement sur le socle. Il correspond à des dépôts transgressifs de la plate-forme continentale faiblement immergée, représentés par des sables, et plus rarement de grès tendres, quelques fois pyriteux, glauconieux ou micacés, de granulométrie fine à grossière, plus ou moins bien classés, parfois argileux, de couleur variée, claire souvent rosé. C'est seulement au sondage de Niabina, au nord de Kaédi, en bordure du bassin qu'on a trouvé un niveau de sables à graviers et galets. Ces niveaux renferment de rares couches lenticulaires pouvant dépasser 30 m, d'argiles généralement rouge lie de vin, souvent sableuse. Ces sables du Maastrichtien ont une épaisseur généralement comprise entre 100 et 200 m (Elouard, 1973).

2.2.2.2. Le Paléocène

Il présente le plus large éventail de faciès et, est constitué surtout de marnes et marno-calcaires, mais également de calcaires, d'argiles en général noires, feuilletées et fréquemment à la base de grès calcaires ou sables (Michel, 1956).

2.2.2.3. Eocène

Son épaisseur maximale est de 100 m environ dans la moyenne vallée, elle augmente vers le sud et dans le centre du bassin. On distingue les dépôts franchement marins des faciès de bordure du bassin dans la partie amont de la vallée. Les dépôts marins de faciès néritique de l'Eocène sont transgressifs sur ceux du Maastrichtien. Leur constitution lithologique est très variée, les argiles et marnes sont dans l'ensemble prédominants (Illy, 1973).

a)- Eocène inférieur (Yprésien)

Il est surtout calcaire et marneux, d'aspect souvent crayeux, avec des niveaux oolithiques, coquilliers et glauconieux. Les phénomènes de dolomitisation et de silicification y sont fréquents. Il est parfois phosphaté et sa puissance augmente d'Est en Ouest où elle dépasse 20 m avant de disparaître par érosion (Hubert, 1920).

b)- Eocène moyen (Lutétien)

Il montre une très grande variabilité de faciès. Les argiles et marnes, le plus souvent jaunâtres prédominent, localement les calcaires sont plus abondants. La limite supérieure avec le Continental Terminal sus-jacent se manifeste nettement en bordure du bassin par une

formation jaune, constituée de grès argileux fossilifères ou glauconieux, phosphatés à passées de cherts (Baud, 1936).

c)- Eocène supérieur

Il est formé principalement de sables ou grès tendres, parfois quartzitiques, de granulométrie variée, plus ou moins ferrugineux, à intercalation d'argiles souvent kaoliniques, rouge ou lie de vin. En se rapprochant de la bordure sédimentaire vers l'Est et le Nord du bassin où elles affleurent, les formations éocènes deviennent caractéristiques de dépôts détritiques côtiers, avec apports continentaux. Les niveaux de sables ou grès apparaissent, et les calcaires disparaissent. Les différents étages de l'Eocène ne peuvent plus être distingués comme ils sont azoïques. Plus loin de la limite du bassin, l'Eocène repose sur les sables du Maastrichtien et la limite entre ces deux formations n'est pas toujours nette (Chudeau, 1911).

2.2.2.4. Continental Terminal

Une exondation générale conduit à une érosion partielle du sommet de la série éocène avant que ne s'accumulent les dépôts du Continental Terminal, pendant les périodes oligocène et miocène et peut être pliocène. Ce sont des sables ou grès très tendres généralement argileux hétérométriques en majorité fins bariolés et des argiles kaoliniques souvent sableuses, bariolées, rouges, lie de vin, blanches. Le Continental Terminal contient des passés de gravillons ferrugineux, et se termine souvent par une cuirasse ferrugineuse compacte, de plus d'un mètre d'épaisseur renfermant de nombreux grains de quartz. Son épaisseur augmente d'Est en Ouest à peu près jusqu'au niveau de Boghé où elle atteint 34 m. Elle augmente également vers le Sud (Elouard, 1962).

2.2.2.5. Quaternaire

Un bas glacis de sables argileux renfermant de gravillons d'oxydes de fer datant du Quaternaire moyen, atteint plusieurs mètres en bordure de la vallée. En aval, c'est un glacis polygénique, couvert par une cuirasse ferrugineuse secondaire, à texture gravillonnaire, elle même masquée par des sables éoliens colluviaux. Au début du Quaternaire récent, une vaste zone de dunes rouges, maintenant fixées, datant de l'Ogolien s'étend au nord du fleuve, en aval de la ville de Kaédi (BURGEAP, 1983).

Principalement dans la partie amont du bassin, la plus arrosée, des "tiangols" creusés par les eaux de ruissellement ont été comblés par des dépôts alluviaux et colluviaux, constitués souvent par des sables à la base (Diagana, 1994).

2.3. Tectonique du secteur d'étude

Les études de terrain et photo-satellites et la photo-interprétation ont permis de préciser la structure d'ensemble du bassin sénégal-mauritanien. Elles montrent que le bassin est affecté par de nombreux accidents de directions différentes. Cependant dans l'ouest du bassin, les structures faillées sont sensiblement parallèles à la direction du rivage (Le Priol et Dieng, 1985).

Dans la zone d'étude, les failles et fractures s'alignent à peu près dans toutes les directions mais avec une dominance suivant deux directions : nord - sud et est - nord. Ces mouvements tectoniques se sont produits à diverses périodes avec rejeu des failles jusqu'à une période très récente. Le Guelb mauritanien s'est affaissé après l'Eocène, alors que la bordure du bassin a été légèrement relevée. C'est pourquoi près de celles-ci, les couches montrent un léger plongement de 2 à 3° vers le sud-ouest, et le Continental Terminal y a été érodé (Diagana, 1994).

3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIE GENERALE

Les provinces hydrogéologiques sont au nombre de sept en Mauritanie (Fig. 13). Il s'agit du bassin côtier ; des Mauritanides ; du sud-est Mauritanien ; du bassin secondaire de Taoudenni ; de l'Adrar ; du Tagant-Assaba ; et du Tiris Zemour. Selon le même auteur en Mauritanie on a deux types d'aquifères (BURGEAP, 2006 ; OULD JIDDOU, 1994) :

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

- les aquifères discontinus, se rencontrent dans les autres régions du pays. Ce sont des terrains de socle granitique ou métamorphique, des formations gréseuses, calcaires pélitiques essentiellement fracturées. Les débits obtenus sont généralement faibles.

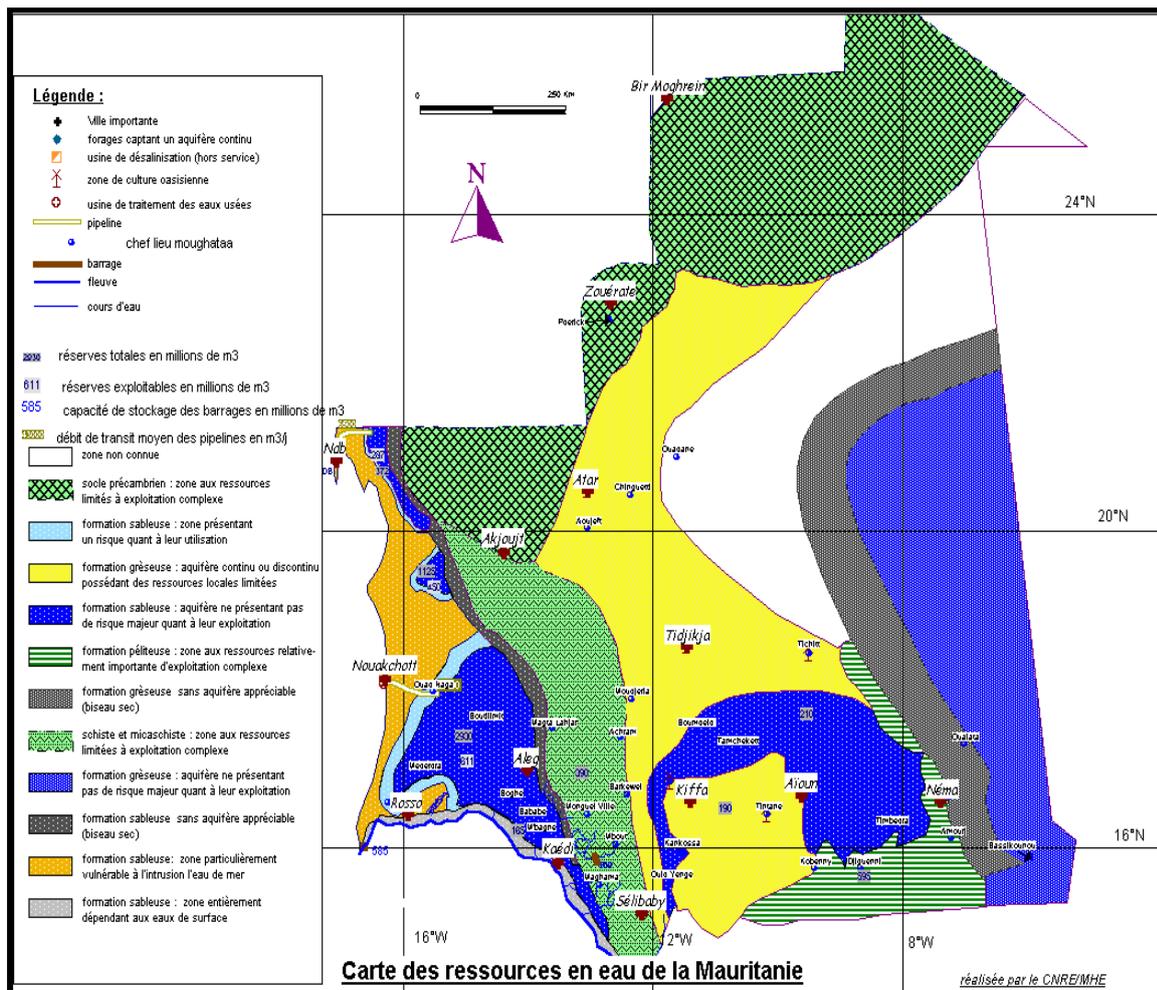


Figure 13: Carte des ressources en eau de la Mauritanie (CNRE / MHE, 2003)

4. CONCLUSION

La zone d'étude comprend les régions administratives du Gorgol et de Guidimakha. Elle est limitée au nord et au nord-est par la région d'Assaba et au sud et sud-ouest par le fleuve Sénégal qui est la limite naturelle entre la république Islamique de la Mauritanie et la république du Sénégal.

Dans l'ensemble le relief est plat et les conditions hydroclimatiques sont caractérisées par :

- une température qui varie dans le temps avec des saisons et dans l'espace avec la proximité de l'océan atlantique ;
- l'intensité des précipitations est faible et mal répartie au cours de l'année et d'une année à l'autre. L'évolution interannuelle de la pluviométrie montre une succession des périodes à pluviométrie déficitaire et des périodes à pluviométrie excédentaire. Les

précipitations représentent la fonction d'entrée des différents aquifères rencontrés dans la zone du Gorgol - Guidimakha ;

- le réseau hydrographique est très marqué ; les oueds creusent des sillons pouvant atteindre plusieurs mètres de profondeur et le recouvrement altéré est mince sous les rags cailloux. Les précipitations de l'hivernage sont reprise par évaporation, évapotranspiration et par ruissellement. On considère généralement qu'aucune infiltration directe n'est possible si le seuil minimal de 400 mm de précipitation annuelle n'est pas atteint.

La région se présente comme un vaste ensemble volcano-sédimentaire issu de la combinaison de phénomène de volcanisme, de tectonique et métamorphisme entrecoupés de phases de sédimentation. Si la structure géologique est complexe, on peut toutefois distinguer trois grands ensembles hydrogéologiques : les formations superficielles récentes constituées par les massifs dunaires et les alluvions du fleuve Sénégal et de ses affluents ; le socle des Mauritanides et les formations sédimentaires gréseuses. Ces ensembles hydrogéologiques renferment les quatre aquifères potentiels développés dans la deuxième partie de cette étude : les nappes des alluvions, la nappe de recouvrement sableux (formations dunaires), la nappe des formations gréseuses et les aquifères du socle.

Deuxième partie :

**CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES ET
HYDROCHIMIQUES DES AQUIFERES EXPLOITES DANS LA ZONE
DU GORGOL - GUIDIMAKHA**

Deuxième partie : CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES ET HYDROCHIMIQUES DES AQUIFERES EXPLOITES DANS LA ZONE DU GORGOL – GUIDIMAKHA

1. HYDROGEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE

Dans la zone d'étude, la structure géologique permet de distinguer deux types d'aquifères : les aquifères dits continus du bassin sédimentaire côtier et les aquifères discontinus du socle (Fig. 14). La contrainte des facteurs climatiques (vent et températures élevées) contribue à une alimentation extrêmement limitée des aquifères. L'essentiel des eaux souterraines en Mauritanie sont des eaux dites « fossiles », qui se sont infiltrées durant les phases humides du Quaternaire récent (Inchirien, et surtout Tchadien et Nouakchottien) (Carité, 1991).

1.1. Les aquifères dits continus ou généralisés

La région se présente comme un vaste ensemble volcano-sédimentaire issu de la combinaison de phénomènes de volcanisme, de tectonique et de métamorphisme entrecoupés de phases de sédimentation. Si la structure géologique est complexe, on peut toutefois distinguer trois grands ensembles hydrogéologiques : les formations superficielles récentes constituées par les massifs dunaires et alluvions du fleuve Sénégal et de ses affluents, le socle des Mauritanides et les formations sédimentaires gréseuses. Ces ensembles hydrogéologiques renferment quatre aquifères potentiels produisant des débits plus importants et des eaux de bonne qualité (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

1.1.1. Les nappes alluviales

Les nappes alluviales, localisées à proximité du fleuve ou des oueds et marigots, exploitent les ressources superficielles (BURGEAP, 2006 ; Hydro conseil et Coopération française, 2005).

Les alluvions, dont l'épaisseur est en moyenne de 15 m sur les bordures et de 35 m dans la vallée, sont de nature argileuse à sablo - argileuse au sommet, sablo - argileuse à sableuse à la base. Elles constituent un réservoir aquifère important et étendu qui repose, de l'est vers l'ouest, sur le socle cristallin, les formations de l'Eocène et par endroits sur le Maastrichtien, puis sur celles du Continental Terminal.

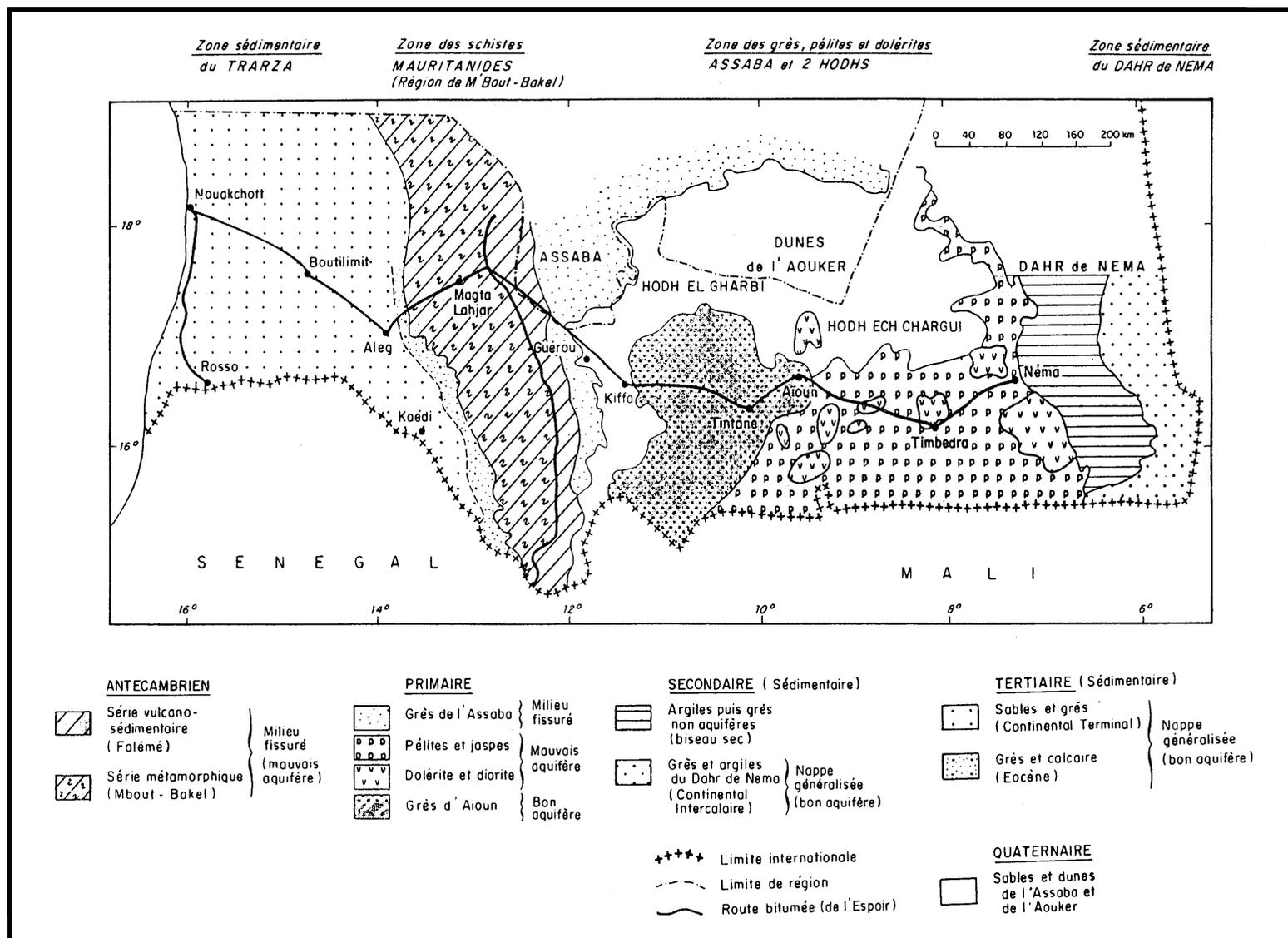


Figure 14 : Carte géologique et hydrogéologique du sud mauritanien (BRGM, 1987)

Ces formations peuvent être très perméables, avec (perméabilité de l'ordre de $1.10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$). Dans la partie aval du cours d'eau les caractéristiques hydrodynamiques des alluvions sont médiocres (BURGEAP, 2006). Dans le Guidimakha les alluvions sont très sableuses dans le cours supérieur des oueds issus des massifs granitiques ou gréseux. Par contre dans les cours inférieurs à faible pente, notamment ceux des grands oueds (Niorde, Garfa) les alluvions, très argileuses, sont pratiquement stériles. La nappe des alluvions est alternativement alimentée et drainée par le fleuve, selon son niveau, le fleuve alimentant la nappe alluviale en hautes eaux. La réalimentation pourrait être restreinte à une zone d'une dizaine de kilomètres de large au delà de laquelle l'influence du fleuve ne se ferait plus sentir. Elle semble décroître de l'amont vers l'aval. En étiage le niveau du fleuve est généralement inférieur à celui de la nappe des alluvions en basses eaux : la nappe est alors drainée par le fleuve, et il arrive que localement elle soit « perchée » par rapport à lui (BURGEAP, 2006).

En raison du colmatage du lit du cours d'eau et de la nature plutôt argileuse des alluvions, la réalimentation de la nappe alluviale paraît donc surtout due pour une large part à l'infiltration sur de vastes surfaces inondées lors des crues, plutôt qu'à la propagation, à partir du fleuve, d'une onde de crue dans l'aquifère (BURGEAP, 2006).

Ce type d'aquifère, exploité le plus souvent par des ouvrages traditionnels (puisards et puits traditionnels), revêt une importance capitale pour l'alimentation en eau de la population du Guidimakha. Son épaisseur est très faible : de quelques décimètre à quelques mètres selon les lieux. L'approfondissement progressif des ouvrages suit l'avancement de la saison sèche. Faute de soulèvement, la profondeur est limitée dans ces zones, d'où les faibles débits observés ($0,1$ à $1 \text{ m}^3.\text{jour}^{-1}$). De plus, les niveaux d'eau subissent une baisse saisonnière plus ou moins importante selon l'exploitation de la nappe. La quasi-totalité des ouvrages tarit au cours de la saison sèche. Les nappes alluviales peuvent également être exploitées par des puits modernes. Lorsque ces derniers captent toute l'épaisseur des alluvions, ils donnent des débits appréciables (de 1 à $5 \text{ m}^3.\text{jour}^{-1}$) (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

La qualité de l'eau de la nappe est douce excepté dans la partie aval du cours où elle devient salée en raison de la remontée de la mer dans le fleuve. Ce front salé pouvait autrefois atteindre en étiage Podor à 400 km à l'intérieur des terres en amont de l'embouchure. Ce phénomène n'existe plus depuis la construction du barrage anti sel de Diama, qui maintient désormais le niveau du fleuve entre les cotes $+1,5$ et $+1,75 \text{ NGM}$ au lieu de la cote -1 NGM auparavant. Avec la mise en service de ce barrage on a observé en 1987, dans la partie avale,

une remontée du niveau de la nappe. Des remontées du niveau de la nappe sont également observées lors des lâchers à partir du barrage de Manantali (BURGEAP, 2006).

1.1.2. La nappe de recouvrement sableux (ou des formations dunaires)

La nappe de recouvrement sableux exploite les eaux emmagasinées dans les sables situés en bordure de la chaîne de l'Assaba. Son alimentation s'effectue à partir de l'infiltration des eaux de pluies. Elle présente des débits importants ainsi que d'excellentes caractéristiques chimiques dans les zones où l'épaisseur des sables est importante (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

Les sables dunaires se caractérisent par leur forte perméabilité : l'eau s'y infiltre facilement. L'épaisseur de ces couches géologiques peut atteindre une vingtaine de mètres (EL Aweinal). Le potentiel de la nappe contenue dans ces sables varie en fonction de leur épaisseur et de la pluviosité de l'hivernage précédent. Elle est exploitée par des puits traditionnels ainsi que par quelques puits modernes qui peuvent capter toute l'épaisseur de la couche sableuse. Les puits traditionnels ont une profondeur variant de 5 à 30 m, et présentent de faibles débits : de 1 à 8 m³ h⁻¹ suivant l'épaisseur de la nappe (le puits pastoral de EL Aweinatt fournit un débit supérieur à 10 m³ h⁻¹ à une profondeur de 30 m) (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

La piézométrie approximative de la nappe des sables de l'Aouker a été difficilement tracée à partir des relevés des puits effectués par Barreto en 1961, avec les cotes de référence des niveaux. Dans cette zone accessible qu'à chameau, les cotes de la nappe sont calculées en priorité à partir des cotes du sol et des courbes de niveau indiquées sur les cartes topographiques au 1/200 000 et à partir des altitudes barométriques du sol indiquées par Barreto (BURGEAP, 2006).

Dans sa partie occidentale la nappe présente un axe de drainage marqué entre les cotes 180 et 120 NGM, au niveau de la vallée du Taskass, qui correspond à une gouttière tectonique entre Assaba et R'Kiz. De part et d'autre de cet axe la nappe s'écoule vers l'est depuis la falaise du Tagant et vers le sud et le sud-ouest depuis Timoujaj (BURGEAP, 2006).

Dans sa partie centrale il semble que la nappe présente un dôme piézométrique à la cote 180 NGM : s'il était confirmé, ce dôme serait la preuve manifeste de l'alimentation « directe » des nappes de dunes dans des secteurs arrosés annuellement entre 100 et 200 mm de pluie seulement (BURGEAP, 2006).

Dans la partie orientale la piézométrie de la nappe est moins précise en raison du nombre réduit de points d'eau sauf dans le secteur de Outfen. Au sud-ouest elle semble se raccorder à la nappe des pélites du Hodh aux environs de la cote 160 NGM dans la région de Moulguen, Mahbou, Bou Tezar. La perméabilité des sables de l'Aouker, dépourvus d'argile, paraît être bonne et elle pourrait être de l'ordre de 10^{-4} m.s^{-1} (BURGEAP, 2006).

L'eau de la nappe des sables de l'Aouker du Hodh est peu minéralisée, excepté sur quelques rares puits, à l'ouest : Hassi N'Barek (RS 5,5 g.l⁻¹), Reddane (RS 3,5 g.l⁻¹), à l'est : Arengues Gebilé (RS 2 à 4 g.l⁻¹) (BURGEAP, 2006).

1.1.3. La nappe des formations gréseuses

La nappe des formations gréseuses occupe la partie orientale du Guidimakha. Elle capte les eaux souterraines emmagasinées dans les formations gréseuses situées dans les zones de forte fracturation ou de porosité importante. Cette nappe offre des débits moyens et son exploitation nécessite souvent des études géophysiques préalables (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

Les formations gréseuses qu'elles soient compactes ou détritiques, constituent souvent un ensemble imperméable. Toutefois, l'existence d'un réseau de fissures et de failles très régulier leur confère une <<perméabilité de fracture>>. Ces formations jouent aussi un rôle de drain qui alimente la nappe des massifs dunaires (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

Les débits obtenus par les forages sont faibles (de 0,5 à 5 m³ h⁻¹). Un débit d'exploitation supérieur ou égale à 5 m³ h⁻¹ ne peut être obtenu que sur une fracture majeure. Les niveaux statiques varient dans une large mesure (de 4 à 25 m). Ils atteignent exceptionnellement 30 m. Lorsqu'ils sont réalisés au niveau d'un réseau de fissures ou d'un point d'alimentation, les puits captant la nappe peuvent fournir des débits appréciables (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

Dans toute la partie orientale de la Wilaya, qui correspond à la série de Kiffa, le taux d'échec des forages est élevé (63%). Cela s'explique par le fait que cette formation est constituée de roches (pélites, grès) imperméable et que les failles y sont peu nombreuses. En revanche, la série gréseuse de Sélibaby, qui est fortement plissée et métamorphisée, présente un taux d'échec moins élevé (37%). Cette série représente une bande peu épaisse passant à l'est des communes de Bouaze et Dafart et se prolongeant jusqu'à Khabour et Gouraye (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

Généralement les eaux de la nappe sont bicarbonatées et chargées en sels minéraux, avec une conductivité moyenne de $960 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Toutefois, cette minéralisation varie très largement, il existe des eaux très faiblement minéralisées (dont la conductivité électrique est inférieure à $300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) et des eaux très fortement chargées (ayant une conductivité électrique supérieure à $1500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). L'ensemble des ouvrages des communes de El Aweinatt, Lahraj et Soufi fournit des eaux peu salées. A Sélibaby et Tektaké, seuls trois ouvrages sur les 45 recensés ont une eau salée. En revanche, pour les autres communes, sur 177 ouvrages, 35 (soit 20%) ont une eau fortement salée (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

1.2. Les aquifères discontinus

La nappe du socle occupe l'espace central du Guidimakha. L'eau se situe essentiellement dans la fracture. Seule les ouvrages réalisés dans des zones de forte fracturation, dans lesquelles l'épaisseur de l'altération est importante, sont productifs. Contrairement au cas des aquifères sédimentaires, le choix de l'emplacement des ouvrages est soumis dans les zones de socles à des critères purement locaux. Il doit être fondé sur le repérage des fractures à partir d'une photographie aérienne, précisée le cas échéant par prospection électrique locale (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

Le potentiel hydraulique de ces aquifères dit discontinu, est fonction de l'intensité et de la taille des fractures ainsi que de leur réalimentation. Cette dernière dépend de l'épaisseur de la couche d'altération qui par sa forte capacité d'absorption, assure l'alimentation des fractures de la roche mère sous-jacente. Cependant dans la région du Guidimakha, la couche d'altération est peu épaisse (6,4 m en moyenne) et généralement sèche, ce qui explique le taux élevé des forages négatifs (51 %). Seuls les aquifères fournissant un débit instantané de l'ordre du $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ sont exploités par des forages. Cependant, ils peuvent aussi être exploités par des puits, lorsque ces derniers sont implantés sur des fractures ou mieux à l'intersection des fractures, captant ainsi la zone altérée et assurant des débits constants et élevés pouvant excéder les $10 \text{m}^3\cdot\text{jour}^{-1}$ (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

D'une manière générale, les aquifères du socle possèdent des eaux très chargées et donc salées. Leur conductivité moyenne s'établit à près de $1350 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, avec des pics pouvant dépasser $3000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Dans les communes de Ajar et Wampou, il n'existe que quatre ouvrages ayant une eau salée alors que, dans les communes de Arr, Bouanz, Darfort, Hassi

Cheggar et Woulouboni, environ 30 % des ouvrages (44) sont dans ce cas (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

Si les ressources des alluvions et des massifs dunaires sont plus facilement accessibles et jouent un rôle capital dans l'alimentation des aquifères discontinus, elles n'en demeurent pas moins très limitées, si bien que les ouvrages qui exploitent ces nappes présentent des débits faibles (de l'ordre de $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). L'essentiel des ressources en eau exploité dans le Guidimakha provient des aquifères discontinus du socle et des formations gréseuses. Ces dernières sont constituées de roches imperméables et peu fracturées alors que les formations valcano-sédimentaires du socle sont fortement fracturées mais présentent une faible épaisseur d'altération (Hydro conseil et Coopération française, 2005).

De nombreux forages ont été réalisés dans cette zone dans le cadre de plusieurs programmes d'hydraulique villageoise et pastorale. Plus de 760 forages sont recensés dans la base SIPPE dans les wilayas de cette zone des Mauritanides (Assaba, Gorgol, Brakna et Guidimakha) malheureusement, la coupe géologique n'est pas connue, pour près de la moitié des forages (BURGEAP, 2006).

Pour ceux dont la coupe est connue, le réservoir aquifère est constitué de schistes, de micaschistes et de quartzites et de granites. Ces formations ne se révèlent aquifères que si elles sont fissurées, les roches saines étant imperméables. L'implantation des points d'eau se fait évidemment sur linéaments détectés sur photographies aériennes, avec une prospection géophysique indispensable lorsque l'on recherche des débits importants (BURGEAP, 2006).

Les taux de succès des forages sur la base de la nature des aquifères sont les suivants : 34% dans les schistes, les micaschistes et les quartzites, il est plus élevé et est égal à 62%, dans les granites du Guidimakha (BURGEAP, 2006).

La profondeur moyenne des forages positifs est de 54 m dans les schistes, micaschistes et quartzites et de 63 m dans les granites du Guidimakha (BURGEAP, 2006).

Le débit instantané moyen (respectivement $2,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) est pratiquement identique dans les schistes, micaschistes et quartzites, et dans les granites. Le débit instantané maximum est égal à $8,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Il s'agit de forages d'hydraulique villageoise et pastorale pour lesquels le débit recherché doit permettre l'installation d'une pompe manuelle. Une autre analyse, à partir de l'implantation des forages sur la carte géologique au 1/500 000 donne les pourcentages de succès suivants (BURGEAP, 2006) :

43% pour les groupes à dominante schistes et micaschistes (El Ghabra, El Mseigguem, El Fadra, El Harach, Gadel et Gueneiba) et schistes rencontrés dans le cortège du Guidimakha : (nombre de forages 555 dont presque la moitié sans indication géologique).

56% pour le groupe de Djonaba avec pélites, schistes, micaschistes, tillite et grès : (nombre de forages 152 dont plus du tiers sans données géologiques),

52% pour le cortège du Guidimakha et groupe de Djonaba avec granites et granodiorites : (nombre de forages 56, dont plus de la moitié sans indication géologique).

L'eau de la nappe est généralement douce avec une salinité inférieure à 1 g.l^{-1} , excepté dans le Brakna où quelques forages ont rencontré de l'eau saumâtre et salée avec des résidus secs de 3 à 8 g.l^{-1} (BURGEAP, 2006).

2. ESSAIS DE POMPAGE

2.1. Reconstitution des formations géologiques traversées par les forages

Les caractéristiques des forages testés au cours de la campagne des essais de pompage sont données par les figures (15 et 16).

Le forage d'Agoynit est situé sur la bordure d'un oued qui se déverse dans l'oued Garfa. Les formations géologiques en présence sont constituées par des gabbros, tonalites et granodiorites de l'arc de la chaîne des Mauritanides.

Le forage de Tachott est situé sur la bordure d'une branche de l'oued Niorda. Les formations géologiques en présence sont constituées par des gabbros, tonalites et granodiorites de l'Arc des Mauritanides.

Le forage d'AJAR Soninkés est situé sur le bord d'un oued qui se déverse dans l'important oued Garfa. Les formations géologiques en présence sont constituées par des schistes et phyllithes élitiques de l'arc de la chaîne des Mauritanides.

Le forage de Diowol est situé sur la bordure du fleuve Sénégal. Les formations géologiques en présence sont constituées par des alluvions du fleuve qui reposent sur les grès de l'Eocène du bassin sédimentaire du sud-ouest mauritanien.

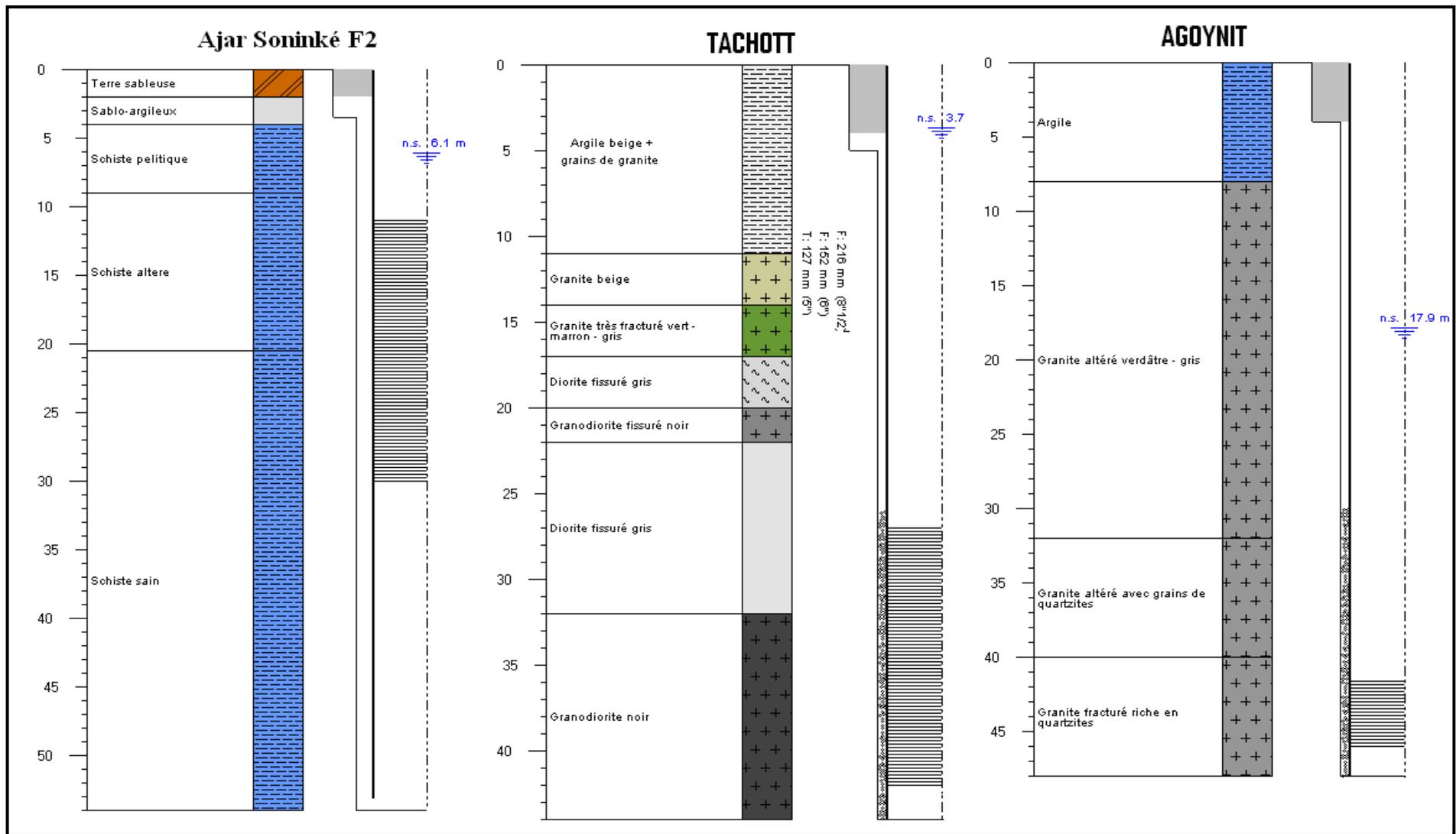


Figure 15 : Coupes lithologiques des forages d'Ajar Soninké F2, de Tachott et d'Agoynit

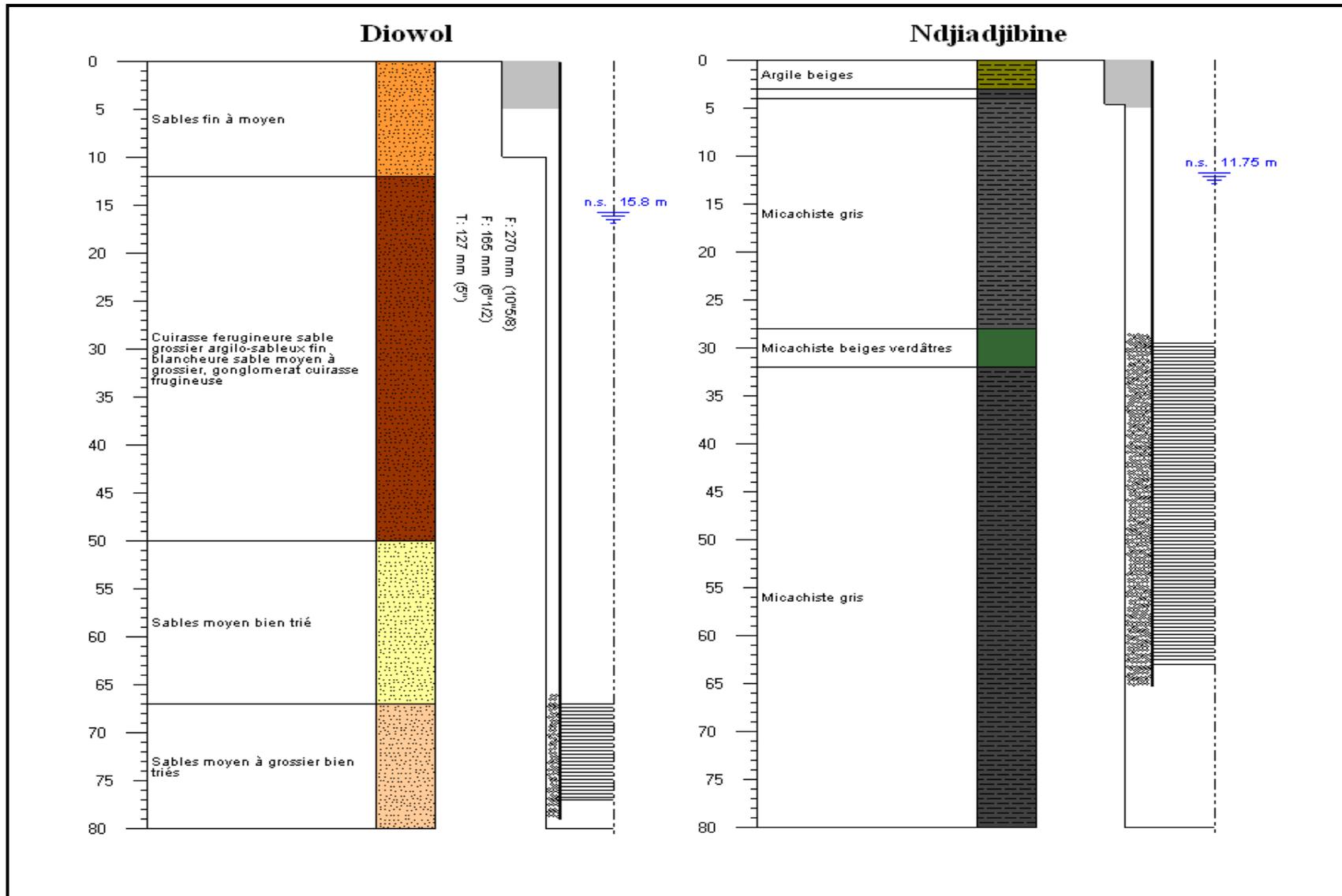


Figure 16 : Coupes lithologiques des forages de Diowol et de Ndjiadjibine

Le forage de Ndjiadjibine Gandéga est situé sur la bordure de l'important oued du même nom. Les formations géologiques en présence sont constituées par des schistes et phyllites pélitiques localement chloriteux (avec quartzites). Ces formations appartiennent à l'Arc des Mauritanides.

Le forage de Toufoundé Civé est situé sur la bordure du fleuve Sénégal. Les formations géologiques en présence sont constituées par des alluvions du fleuve qui repose sur les grès de l'Eocène du Bassin sédimentaire du Sud-ouest mauritanien.

2.2. Essais de débit par paliers simples

2.2.1. Par la méthode classique de Jacob

2.2.1.1. Courbe caractéristique [$s = f(Q)$]

Elle correspond à la construction d'une courbe rabattement / débit d'après la relation [$s = f(Q)$]. Cette courbe constitue un support indispensable pour détecter les améliorations ou les détériorations suite à l'exploitation de l'ouvrage dans le futur. Elle permet également de déterminer le débit optimum, fonction du rabattement maximal admissible qui est limité par le dénoyage du puits ou de la tête de crépine (Lauga, 1990).

Le débit critique représente la valeur au-delà de laquelle il apparaît des pertes de charges dans le sondage. Il correspond au point où la courbe caractéristique quitte l'allure linéaire pour prendre une forme parabolique. Il est noté Q_c et s'exprime en $m^3 \cdot h^{-1}$ (Castany, 1982).

C'est ainsi que dans la pratique, le débit de pompage doit être inférieur au débit critique. Parce qu'au-delà du débit critique apparaît un écoulement turbulent qui augmente les pertes de charges dans l'ouvrage. Cette augmentation peut provoquer une diminution du rendement de l'ouvrage et l'entraînement des particules fines du terrain, souvent à l'origine du colmatage de la partie captante et ensablement du forage (Castany, 1982).

Pour notre étude, ce débit critique n'est pas souvent atteint à cause des faibles débits exhaurés lors des réceptions provisoires (Figure 17). Les valeurs des rabattements calculées avec l'expression de Jacob sont proches de celles mesurées, donc l'expérience est bien faite et on peut calculer les pertes de charges linéaires et quadratiques (Tableau 1).

Tableau 1 : Essais de puits par paliers de débits de courtes durées dans les forages

Ouvrages	Q	s _{mes}	BQ	S = BQ + AQ ²	s/Q	Q/s
Agoynit	0,94	1,93	3,3	3,57	2,053	0,49
	1,03	2,32	3,62	3,93	2,252	0,44
	2,29	6,32	8,06	9,63	2,76	0,36
	3,43	11	12	15,6	3,207	0,31
Ajar Soninké (F1)	0,96	4,01	3,17	5,03	4,177	0,24
	0,97	4,09	3,211	5,1113	4,216	0,24
	1,71	9,63	5,561	11,262	5,632	0,18
	2,38	16,96	7,878	19,3192	7,126	0,14
Ajar Soninké (F2)	5,79	0,25	6,879	7,61	0,043	23,2
	5,8	0,3	7,346	8,18	0,052	19,3
	10,4	2,23	9,693	11,519	0,214	4,66
	18,9	5,11	16,2	20,3	0,27	3,7
Tachott	0,75	5,08	7,35	8,75	6,773	0,15
	0,76	5,43	7,44	8,89	7,145	0,14
	1,29	10,66	12,64	16,83	8,264	0,12
	1,87	17,91	18,32	26,64	9,578	0,1
Diowol	5,79	0,38	0,926	0,926	0,066	15,2
	5,8	0,38	0,928	0,928	0,066	15,3
	10,4	0,63	1,66	1,66	0,061	16,5
	18,9	1,13	3,024	3,024	0,06	16,7
Toufoundé Civé	4,16	0,22	0,208	0,208	0,053	18,9
	4,17	0,22	0,209	0,2085	0,053	19
	9,11	0,49	0,456	0,4555	0,054	18,6
	17,6	0,95	0,88	0,88	0,054	18,5
Ndjiadjibine	1,18	3,52	0,4	0,454	2,983	0,34
	1,26	3,83	0,41	0,475	3,04	0,33
	1,71	5,93	1,67	2,601	3,468	0,29
	2,78	10,74	3,147	6,403	3,863	0,26

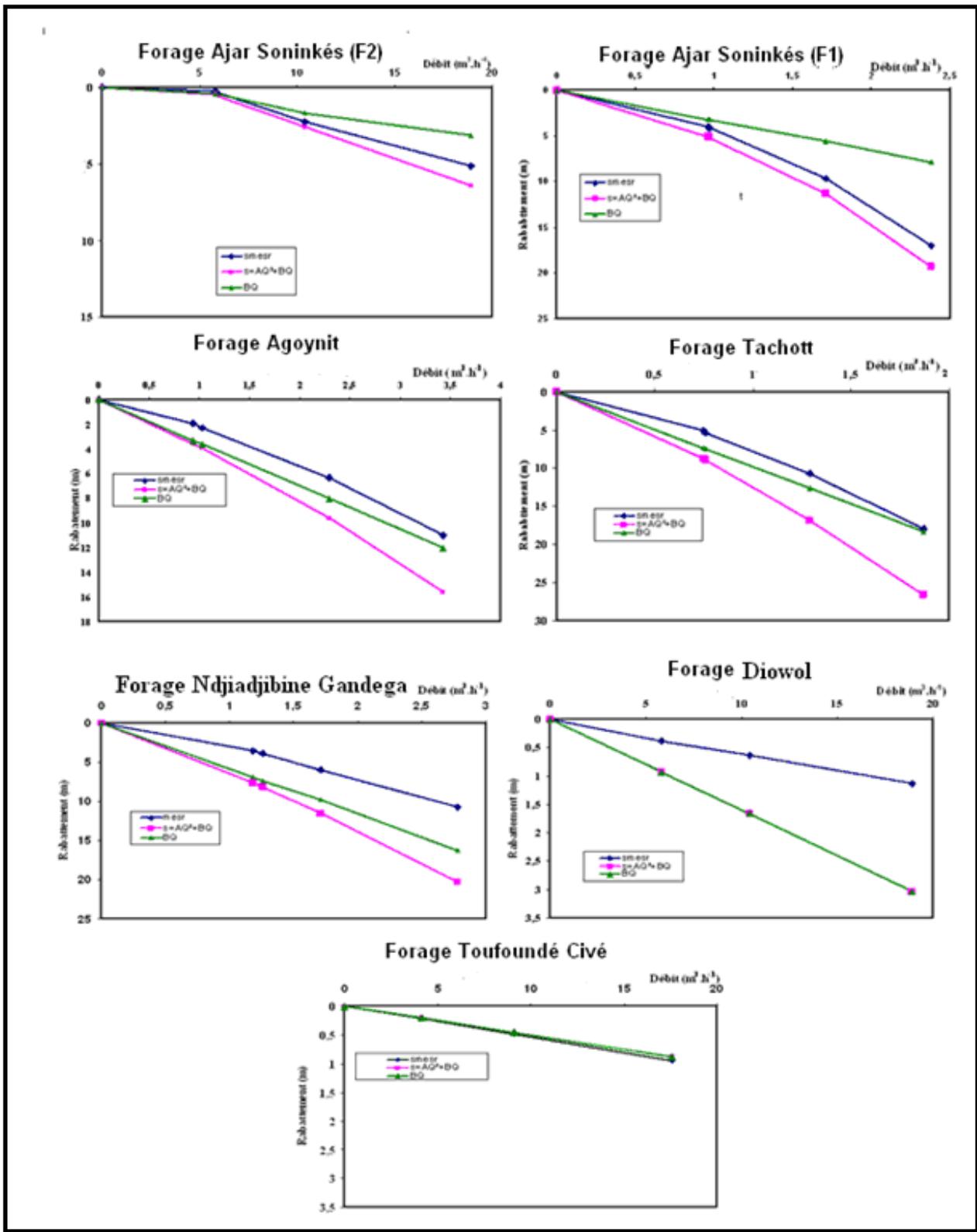


Figure 17: Courbes caractéristiques des forages (rabattement en fonction du débit : $[s = f(Q)]$)

2.2.1.2. Evaluation des pertes de charges par la méthode de Jacob [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 d'exploitation maximum d'un ouvrage hydraulique (puits villageois, forage et piézomètre) et le calcul des caractéristiques de l'ouvrage, passent obligatoirement par la détermination 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 de l'ouvrage hydraulique.

Dans l'ouvrage hydraulique, le rabattement mesuré à l'instant t est la somme de deux composantes exprimées en mètres de hauteur d'eau. Ces deux composantes sont :

- les pertes de charges linéaires (BQ) provoquées par l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits;
- les pertes de charges quadratiques (CQ²), non linéaires, provoquées par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, crépine et tubage.

Ainsi, le rabattement total à l'instant t est donné par l'expression de Jacob (1946) ci-dessous :

$$s \text{ (m)} = BQ + CQ^2$$

B : coefficient de perte de charge linéaire ;

C : coefficient de perte de charge quadratique ;

Q : débit de pompage en m³.h⁻¹.

A partir de cette expression, on peut exprimer le rabattement spécifique (s/Q) :

$$s/Q = B + CQ$$

Cette expression peut se mettre sous la forme d'une équation de droite de type $y = ax + b$.

a et b correspondent respectivement à la pente de la droite et à l'ordonnée à l'origine. Pour $x = 0 \Rightarrow y = b$. Par identification, $Q = x$ et $s/Q = y$.

Les constantes B et C sont déterminées directement sur la courbe $s/Q = f(Q)$, établie sur papier millimétré.

Le coefficient B est donné par l'intersection de la droite avec l'axe $[s/Q]$ et le coefficient A représente la pente de la droite. Ainsi, les courbes $s/Q = f(Q)$ des forages donnent des droites qui ne passent pas par l'origine (Fig. 18 à 21). Ceci traduit un régime turbulent et laminaire. Donc les pertes de charges ne sont pas nulles.

Le calcul des pertes de charge, montre que l'essentiel du rabattement observé au niveau des forages est dû aux pertes de charges linéaires (BQ). Les pertes de charge quadratiques (AQ^2) interviennent pour 7 à 23% (Agoynit), pour 12 à 51% (Ajar Soninké (F2)), pour 16 à 31% (Tachott), 11 à 25% (Ndjiadjibine) et nulle (0%) aux forages Diowol et Toufoundé Civé (localités de la région du Gorgol), du rabattement total observé.

Ces résultats expliquent respectivement la présence de la pente observée sur la courbe caractéristique de Ajar Soninké et l'absence de cette pente sur celle de Toufoundé Civé. Dans les forages, les pertes de charges linéaires croissent en fonction du débit de pompage (Tableau 2).

Tableau 2 : Récapitulation des essais par palier des forages

Ouvrages	Q(m ³ .h ⁻¹)	B	A	BQ	s _{scal} (m)	BQ/s(%)	AQ ² /s	AQ ² /BQ(%)
Agoynit	0,94	3,52	0,30	3,3	3,57	93	7	8
	1,03			3,62	3,93	92	8,00	9
	2,29			8,06	9,63	84	16,00	20
	3,43			12	15,6	77	23,00	29
Ajar Soninké (F1)	0,96	3,31	2,02	3,17	5,03	63	37,00	59
	0,97			3,2107	5,1113	63	37,00	59
	1,71			5,5608	11,262	49	51,00	103
	2,38			7,8778	19,3192	41	59,00	145
Ajar soninké (F2)	1,03	0,39	0,05	6,879	7,61	88	12,00	14
	1,07			7,3458	8,18	88	12,00	14
	4,30			9,693	11,519	64	36,00	55
	8,07			16,2	20,3	49	51,00	103
Tachott	0,75	9,80	2,50	7,35	8,75	84	16,00	19
	0,76			7,44	8,89	84	16,00	19
	1,29			12,64	16,83	75	25,00	33
	1,87			18,32	26,64	69	31,00	45
Diowol	5,79	0,16	0,00	0,926	0,926	100	0,00	0
	5,8			0,928	0,928	100	0,00	0
	10,09			1,66	1,66	97	0,00	0
	18,9			3,024	3,024	100	0,00	0
Toufoundé Civé	4,16	0,05	0,00	0,208	0,208	100	0,00	0
	4,17			0,2085	0,2085	100	0,00	0
	9,11			0,4555	0,4555	100	0,00	0
	17,6			0,88	0,88	100	0,00	0
Ndjiadjibine	1,18	5,83	0,53	0,4	0,454	90	10,00	11
	1,26			0,41	0,475	90	10,00	11
	1,71			1,67	2,601	87	13,00	16
	2,78			3,1473	6,403	80	20,00	25

2.2.1.3. Débit d'exploitation maximum des ouvrages

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). Or, pour être dans des conditions économiques données, le débit d'exploitation maximum et le rabattement correspondant doivent être inférieurs au débit critique.

Compte tenu du fait que le débit critique n'ait pas été atteint sur l'ensemble des forages textés, le débit d'exploitation maximum de ces forages doit être supérieur au débit de pompage du dernier essai par palier.

Les courbes caractéristiques obtenues montrent que le débit critique n'a pas été atteint aux forages d'Ajar Soninké (F2), Toufoundé Civé et Diowol. Les débits maximums d'exploitation seraient donc supérieurs au débit de pompage des derniers essais par palier soit $8,07 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à Ajar Soninké (F2), $18,90 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à Diowol et $17,60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à Toufoundé Civé.

Toutefois pour être dans des conditions économiques données, la perte de charge quadratique (CQ^2) ne doit pas être élevée par rapport à la perte de charge linéaire (BQ) (Castany, 1982). En général, on prend (CQ^2) de sorte qu'elle représente 25 % de (BQ).

Il reviendrait donc à évaluer d'une part, le pourcentage des deux types de pertes de charge par rapport aux pertes de charges totales et d'autre part, les pertes de charges quadratiques par rapport aux pertes de 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 $3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ à Agoynit. Cependant, le fait que le rabattement du forage d'Agoynit soit élevé (13,26 m), il serait judicieux d'estimer le débit d'exploitation maximum à $2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pour un rabattement 8,24 m.

Au forage Ajar Soninké (F2), le résultat obtenu ($2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) est contradictoire à l'hypothèse selon laquelle le débit maximum d'exploitation serait supérieur au débit du dernier essai par palier. En effet, ce manque d'homogénéité des résultats aurait pour origine les causes évoquées ci-dessus. Ces perturbations liées à l'expérimentation s'observent également sur la courbe [$s/Q = f(Q)$] par une dispersion des points qui rend aléatoire la détermination des valeurs de B et de C. Toute fois, nous retiendrons que le débit maximum d'exploitation à Ajar Soninké serait supérieur à $8,07 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Tableau 2).

Aux forages Diowol et Toufoundé Civé, l'essai étant bien réalisé on peut proposer après extrapolation raisonnable un débit de 60 et 80 m³.h⁻¹ pour un rabattement de 9,6 et 4 m (Tableau 3).

Tableau 3 : Récapitulation des essais de puits pour les différents forages

Ouvrages	Q(m ³ .h ⁻¹)	B	A	s _{cl} (m)	BQ/s(%)	AQ ² /BQ(%)
Agoynit	3,00	3,52	0,30	13,26	80,00	26,00
Ajar soninké (F1)	-	-	-	-	-	-
Ajar Soninké (F2)	2,00	0,39	0,05	0,98	80,00	26,00
Tachott	1,00	9,80	2,50	12,00	80,00	26,00
Diowol	60,00	0,16	0,00	9,60	100,00	0,00
Toufoundé Civé	80,00	0,05	0,00	4,00	100,00	0,00
Ndjiadjibine	2,78	5,83	0,53	20,00	80,00	25,00

2.2.2. Par la méthode d'essai normalisé

2.2.2.1. Courbe caractéristique [s = f(Q)]

Au cours de cette mission seuls les forages dont le débit obtenu est jugé supérieur à 2 m³.h⁻¹ avec des rabattements acceptables et présentant une eau de bonne qualité (conductivité électrique est inférieure à 1500 µS.cm⁻¹ conformément aux normes de l'OMS), ont fait l'objet de pompage par paliers enchaînés. Chaque ouvrage a fait l'objet d'un pompage par paliers de 3 paliers enchaînés de débit Q1, Q2 et Q3 de durée 2h, 1 h et 1 h suivi de l'observation de la remontée pendant 1 h (Fiche A, annexes 1). Ces pompages d'essai ont été effectués sur sept (07) forages dans la zone du Gorgol - Guidimakha en vue d'évaluer, pour chacun d'eux, ses possibilités d'exploitation (Fig. 18 à 21).

2.2.2.2. Détermination des débits d'exploitation des ouvrages

A partir des coefficients **A** et **B** calculés ci-dessus, l'équation de la droite caractéristique [s/Q = f(Q)] à 8 mois est : s/Q = AQ + B, qui s'écrit aussi : s = AQ²+BQ. Cette équation du second degré en **Q** a pour solution réelle :

$$Q = ((\sqrt{B^2 + 4.A.s}) - B)/2.A$$

Si l'on se fixe un rabattement maximum (s_{Max}) (Fiche B, partie 5), le débit maximum Q_{Max} autorisé pour ne pas rabattre au dessous de NDMAX s'écrit alors :

$$Q_{Max} = ((\sqrt{B^2 + 4.A.s_{Max}}) - B)/2.A$$

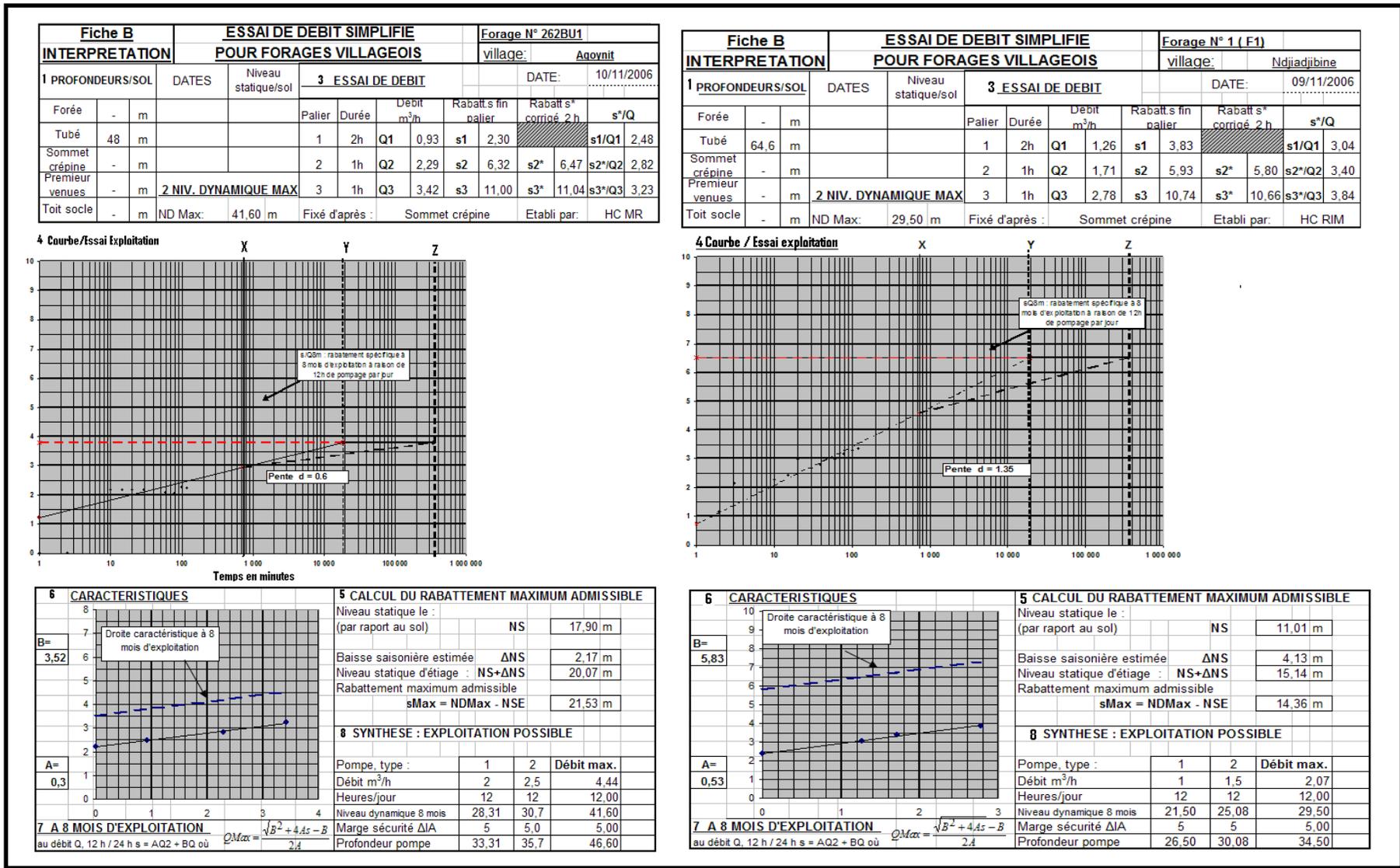
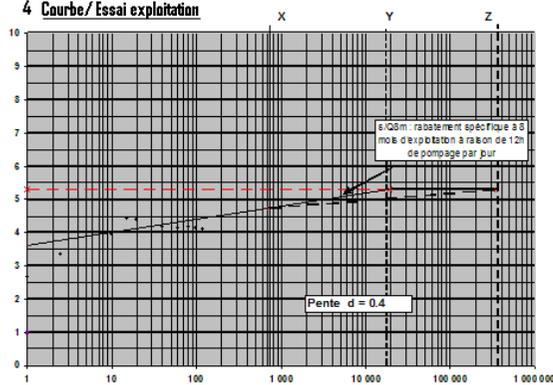


Figure 18 : Courbes caractéristiques des forages Agoymit et Ndjadjibine à 8 mois d'exploitation

Fiche B		ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE						Forage N° 264BU1	
INTERPRETATION		POUR FORAGES VILLAGEOIS						village: Ajar Soninkés	
1 PROFONDEURS/SOL		DATES		Niveau statique/sol		3 ESSAI DE DEBIT			
								DATE: 21/11/2006	
Forée	- m			Palier	Durée	Debit m³/h	Rabatt s fin palier	Rabatt s* corrigé 2 h	s*/Q
Tubé	35,7 m			1	2h	Q1 0,99	s1 4,09	s1/Q1	4,15
Sommet crépine	- m			2	1h	Q2 1,71	s2 9,63	s2*/Q2	5,62
Premier venues	- m	2 NIV. DYNAMIQUE MAX		3	1h	Q3 2,39	s3 16,69	s3*/Q3	6,97
Toit socle	- m	ND Max:	30,00 m	Fixé d'après :		Sommet crepine		Etabli par: HC RIM	

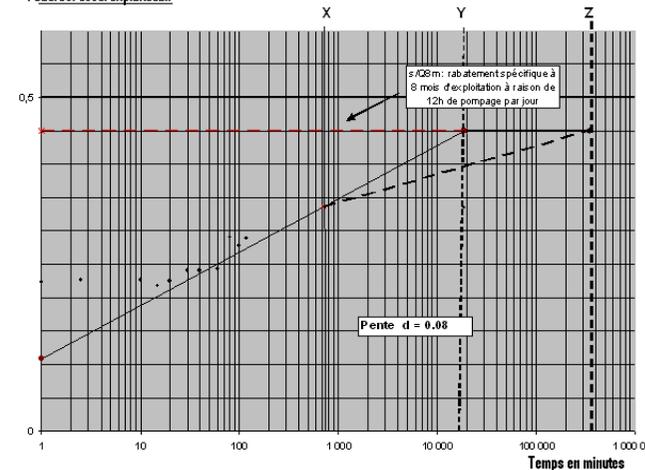
4 Courbe/ Essai exploitation



6 CARACTERISTIQUES		5 CALCUL DU RABATTEMENT MAXIMUM ADMISSIBLE	
Droite caractéristique à 8 mois d'exploitation		Niveau statique le : (par rapport au sol) NS 4,59 m	
B= 3,31		Baisse saisonnière estimée ΔNS 6,35 m	
		Niveau statique d'étiage : NS+ΔNS 10,94 m	
		Rabattement maximum admissible sMax = NDMax - NSE 19,06 m	
8 SYNTHÈSE : EXPLOITATION POSSIBLE		8 SYNTHÈSE : EXPLOITATION POSSIBLE	
A= 2,02		Pompe_type :	1 2 Débit max.
		Débit m³/h	1,5 2 2,36
		Heures/jour	12 12 12,00
		Niveau dynamique 8 mois	20,44 25,62 30,00
		Marge sécurité ΔIA	5 5 5,00
7 A 8 MOIS D'EXPLOITATION		7 A 8 MOIS D'EXPLOITATION	
au débit Q, 12 h / 24 h s = AQ2 + BQ où $Q_{Max} = \frac{\sqrt{B^2 + 4As} - B}{2A}$		Profondeur pompe	
		25,44	30,62 35,00

Fiche B		ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE						Forage N° 1J2071	
INTERPRETATION		POUR FORAGES VILLAGEOIS						village: Ajar Soninkés	
1 PROFONDEURS/SOL		DATES		Niveau statique/sol		3 ESSAI DE DEBIT			
								DATE: 19/11/2006	
Forée	- m			Palier	Durée	Debit m³/h	Rabatt s fin palier	Rabatt s* corrigé 2 h	s*/Q
Tubé	53,1 m			1	2h	Q1 1,07	s1 0,30	s1/Q1	0,28
Sommet crépine	- m			2	1h	Q2 4,3	s2 2,23	s2*/Q2	0,53
Premier venues	- m	2 NIV. DYNAMIQUE MAX		3	1h	Q3 8,07	s3 5,11	s3*/Q3	0,64
Toit socle	- m	ND Max:	13,00 m	Fixé d'après :		Sommet crépine		Etabli par: HC RIM	

4 Courbe/ Essai exploitation



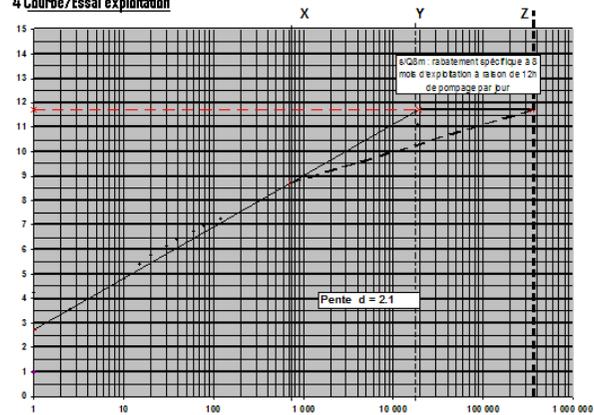
6 CARACTERISTIQUES		5 CALCUL DU RABATTEMENT MAXIMUM ADMISSIBLE	
Droite caractéristique à 8 mois d'exploitation		Niveau statique le : (par rapport au sol) NS 5,06 m	
B= 0,39		Baisse saisonnière estimée ΔNS 6,71 m	
		Niveau statique d'étiage : NS+ΔNS 11,77 m	
		Rabattement maximum admissible sMax = NDMax - NSE 1,23 m	
8 SYNTHÈSE : EXPLOITATION POSSIBLE		8 SYNTHÈSE : EXPLOITATION POSSIBLE	
A= 0,05		Pompe_type :	1 2 Débit max.
		Débit m³/h	1,5 2 2,38
		Heures/jour	12 12 12,00
		Niveau dynamique 8 mois	12,48 12,77 13,00
		Marge sécurité ΔIA	5 5 5,00
7 A 8 MOIS D'EXPLOITATION		7 A 8 MOIS D'EXPLOITATION	
au débit Q, 12 h / 24 h s = AQ2 + BQ où $Q_{Max} = \frac{\sqrt{B^2 + 4As} - B}{2A}$		Profondeur pompe	
		17,48	17,77 18,00

Figure 19 : Courbes caractéristiques des forages Ajar Soninké (F1) et (F2) à 8 mois d'exploitation

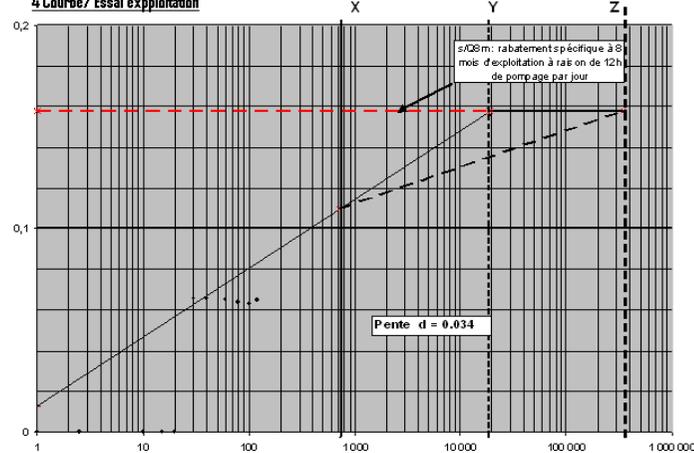
Fiche B		ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE				Forage N° F-2 SE-15B	
INTERPRETATION		POUR FORAGES VILLAGEOIS				village:	Tachott
1 PROFONDEURS/SOL		DATES		Niveau statique/sol		3 ESSAI DE DEBIT	
						DATE: 14/11/2006	
Forée	- m			Palier	Durée	Debit m ³ /h	Rabatt.s fin palier
Tubé	43,7 m			1	2h	Q1 0,76	s1 5,43
Sommet crépine	- m			2	1h	Q2 1,29	s2 10,66
Premieur venues	- m	2 NIV. DYNAMIQUE MAX		3	1h	Q3 1,82	s3 17,91
Toit socle	- m	ND Max: 27,00 m		Fixé d'après :		Sommet crépine	
						Etabli par: HC RIM	

Fiche B		ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE				Forage N° 1 (F1)	
INTERPRETATION		POUR FORAGES VILLAGEOIS				village:	DIOWOL
1 PROFONDEURS/SOL		DATES		Niveau statique/sol		3 ESSAI DE DEBIT	
						DATE: 28/11/2006	
Forée	80 m			Palier	Durée	Debit m ³ /h	Rabatt.s fin palier
Tubé	79 m			1	2h	Q1 5,8	s1 0,37
Sommet crépine	- m			2	1h	Q2 10,4	s2 0,63
Premieur venues	- m	2 NIV. DYNAMIQUE MAX		3	1h	Q3 18,9	s3 1,13
Toit socle	- m	ND Max: 30,00 m		Fixé d'après :		Sommet crépine	
						Etabli par: HC MR	

4 Courbe/Essai exploitation



4 Courbe/ Essai exploitation



6 CARACTERISTIQUES		5 CALCUL DU RABATTEMENT MAXIMUM ADMISSIBLE	
B=	9,80	Niveau statique le : (par raport au sol)	NS 3,70 m
A=	2,5	Baisse saisonière estimée	ΔNS 7,32 m
Droite caractéristique à 8 mois d'exploitation		Niveau statique d'étiage : NS+ΔNS	11,02 m
		Rabattement maximum admissible	sMax = NDMax - NSE 15,98 m
8 SYNTHESE : EXPLOITATION POSSIBLE			
		Pompe, type :	1 2 Débit max.
		Débit m ³ /h	0,7 1 1,24
		Heures/jour	12 12 12,00
		Niveau dynamique 8 mois	19,10 23,31 27,00
		Marge sécurité ΔIA	5 5 5,00
		Profondeur pompe	24,10 28,31 32,00

6 CARACTERISTIQUES		5 CALCUL DU RABATTEMENT MAXIMUM ADMISSIBLE	
B=	0,16	Niveau statique le : (par raport au sol)	NS 15,96 m
A=	0,000	Baisse saisonière estimée	ΔNS 2,52 m
Droite caractéristique à 8 mois d'exploitation		Niveau statique d'étiage : NS+ΔNS	18,48 m
		Rabattement maximum admissible	sMax = NDMax - NSE 11,52 m
8 SYNTHESE : EXPLOITATION POSSIBLE			
		Pompe, type :	1 2 Débit max.
		Débit m ³ /h	12 15 80,44
		Heures/jour	12 12 12,00
		Niveau dynamique 8 mois	20,36 20,82 30,00
		Marge sécurité ΔIA	5 5 5,00
		Profondeur pompe	25,36 25,82 35,00

Figure 20 : Courbes caractéristiques des forages Tachott et Diowol à 8 mois d'exploitation

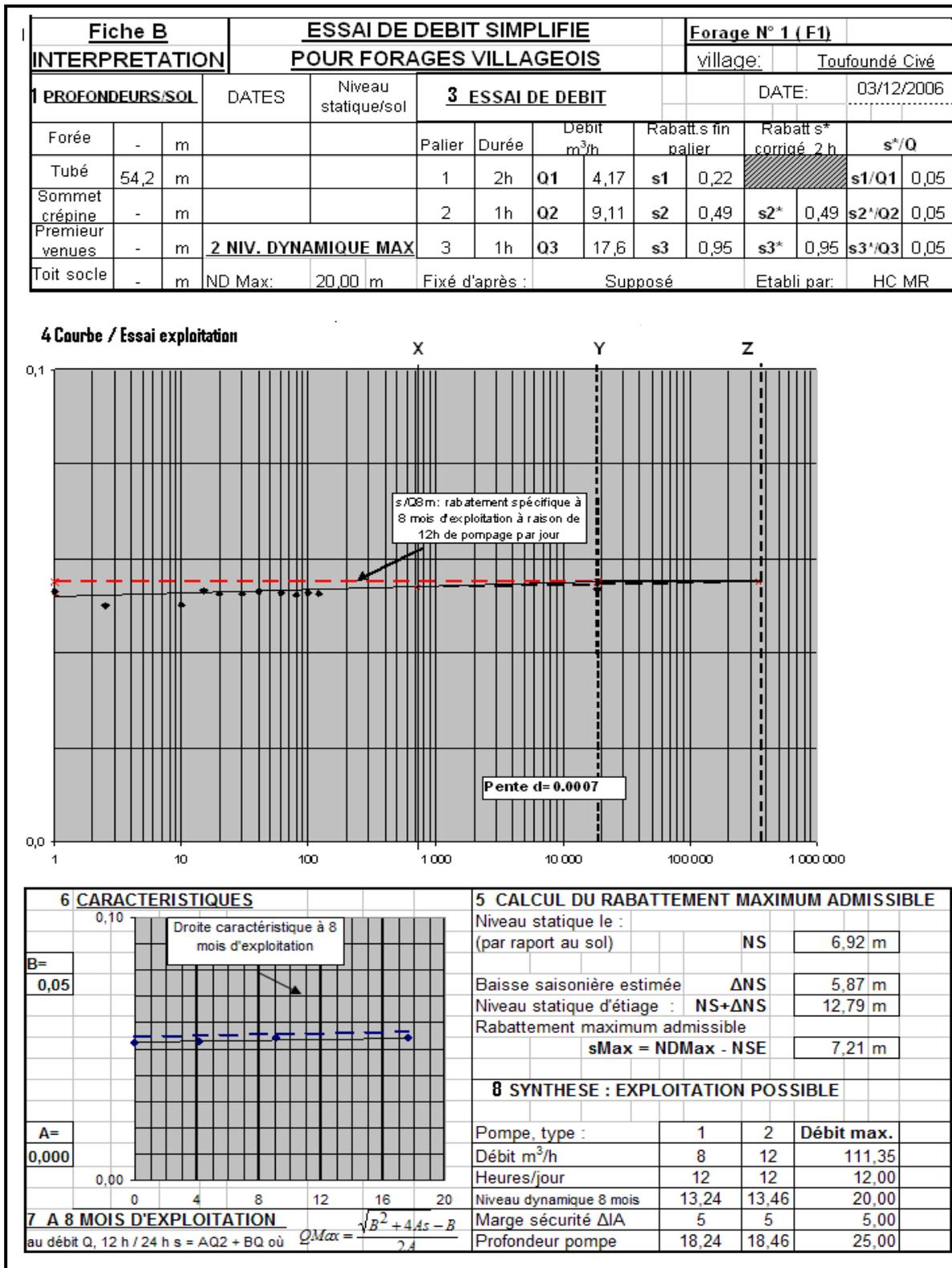


Figure 21 : Courbe caractéristique du forage de Toufoundé Civé à 8 mois d'exploitation

Les résultats des pompages par paliers sont reportés sur la fiche A en annexes. Pour ce qui est des forages testés, le débit d'exploitation est très variable d'un centre à l'autre suivant le contexte géologique et hydrogéologique (Tableau 4).

Tableau 4 : Résultats du développement des forages

Localités	A	B	Q_{\max} $m^3.h^{-1}$	S_{\max} (m)	Q_{\exp} $m^3.h^{-1}$	$S_{\text{correspond}}$ (m)	Profondeur d'installation des crépines
Agoynit	0,05	0,39	4,4	21,53	2	8,24	33
Ajar Soninké (F1)	2,02	3,31	2,4	19,06	1,5	9,5	29,5
Ajar Soninké (F2)	2,4	0,39	2,4	1,23	2	1	24
Diowol	0,00	0,16	80	11,52	12	1,88	26
Ndjajidbine	0,53	5,83	2,1	14,36	1	6,36	28,80
Tachott	2,5	9,8	1,2	15,98	0,7	8,08	
Toufoundé Civé	0,00	0,05	111	7,21	12	0,67	20

Au cours de cette campagne de pompages d'essai, les forages de Tachott, d'Ajar Soninké (F1) et de Ndjiadjibine sont négatifs et en effet, vu les rabattements élevés correspondant respectivement 15,98, 19,06 et 14,36 m, ces forages ne peuvent être exploités par un système motorisé.

Pour les forages d'Agoynit et d'Ajar Soninké (F2), on préconise d'exploiter ces forages au maximum 8 heures par jour à cause des rabattements qui ne sont pas élevés.

Par contre, les forages à grand débit, comme Diowol et Toufoundé Civé, les débits d'exploitation préconisés sont de $12 m^3.h^{-1}$ pour des rabattements de 1,88 et 0,67 à cause de la présence des arrivées de sables très fins lors des pompages qui ne se sont pas arrêtées tout au long de ces essais. Ce débit couvre largement les besoins des villages à court et moyen terme.

Les résultats obtenus par les deux méthodes (la méthode classique et la méthode d'essai normalisé) aboutissent aux mêmes conclusions bien que les valeurs des débits et rabattements obtenues sont différentes. Mais dans le cas d'une étude de simulation du débit d'exploitation maximum, la méthode dite « d'essai normalisé » serait la mieux indiquée. En effet, dans cette méthode la durée de la simulation est fixée et connue par rapport à la méthode classique où la simulation se fait en tenant compte du débit de pompage et du rabattement.

2.3. Essais de longue durée à débit constant

Les forages qui ont eu des débits d'exploitation supérieurs à $2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ont fait l'objet d'un essai de longue durée pendant 24 heures ou « essai de nappe » suivi de la remontée pendant 6 heures. Les résultats ont été interprétés par la méthode semi logarithmique de Jacob (Tableau 5).

Ainsi, à l'aide du résultat de pompage longue durée à débit constant et suivi de la remontée, nous avons pu déterminer les transmissivités des forages pompés au cours de la descente et à la remontée par la méthode de Jacob. Dans la mesure où nous ne disposons pas de piézomètres, il n'a pas été possible de calculer les coefficients d'emmagasinement (Fig. 22 à 24).

Tableau 5 : valeurs de transmissivité obtenues avec la méthode semi-logarithmique

Localités	$Q_{\text{long durée}}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	S correspond final (m)	s_r	T_{descente}	$T_{\text{remontée}}$	T_{retenue}
Agoynit	2,76	8,62	0,24	6×10^{-4}	7×10^{-4}	7×10^{-4}
Ajar Soninké(F1)	2,05	12,92	0	1×10^{-3}	5×10^{-4}	5×10^{-4}
Ajar Soninké F2	6,03	4,62	0,30	$3,6 \times 10^{-4}$	3×10^{-4}	3×10^{-4}
Diowol	18,87	1,13	0,03	$2,4 \times 10^{-2}$	$4,3 \times 10^{-2}$	3×10^{-2}
Ndjiadjibine	2,41	11,78	1,28	$5,5 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	5×10^{-5}
Toufoundé Civé	18	0,95	0,03	$2,3 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-2}$	2×10^{-2}

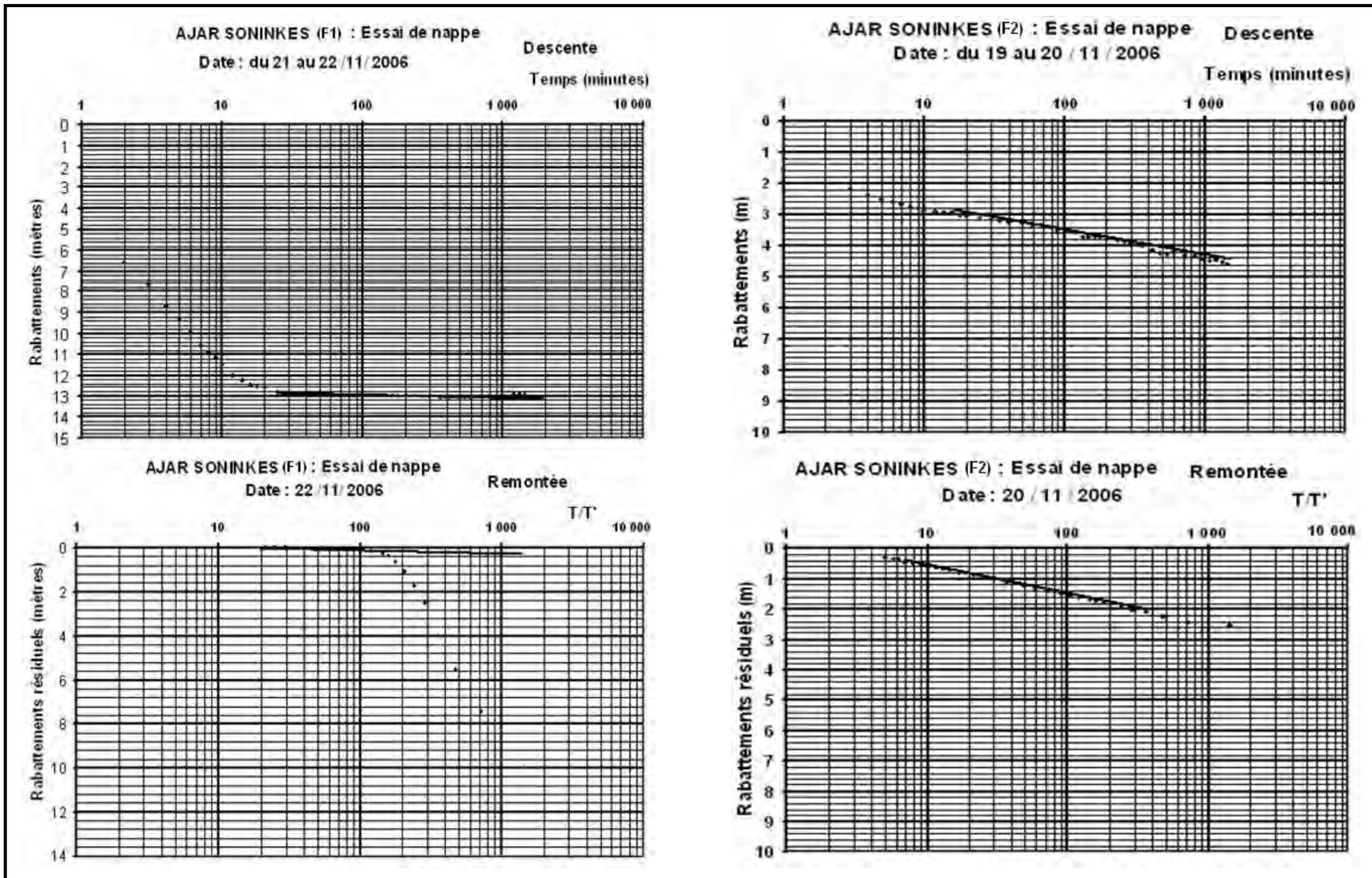


Figure 22 : Détermination de la transmissivité par la méthode semi-logarithmique de Jacob

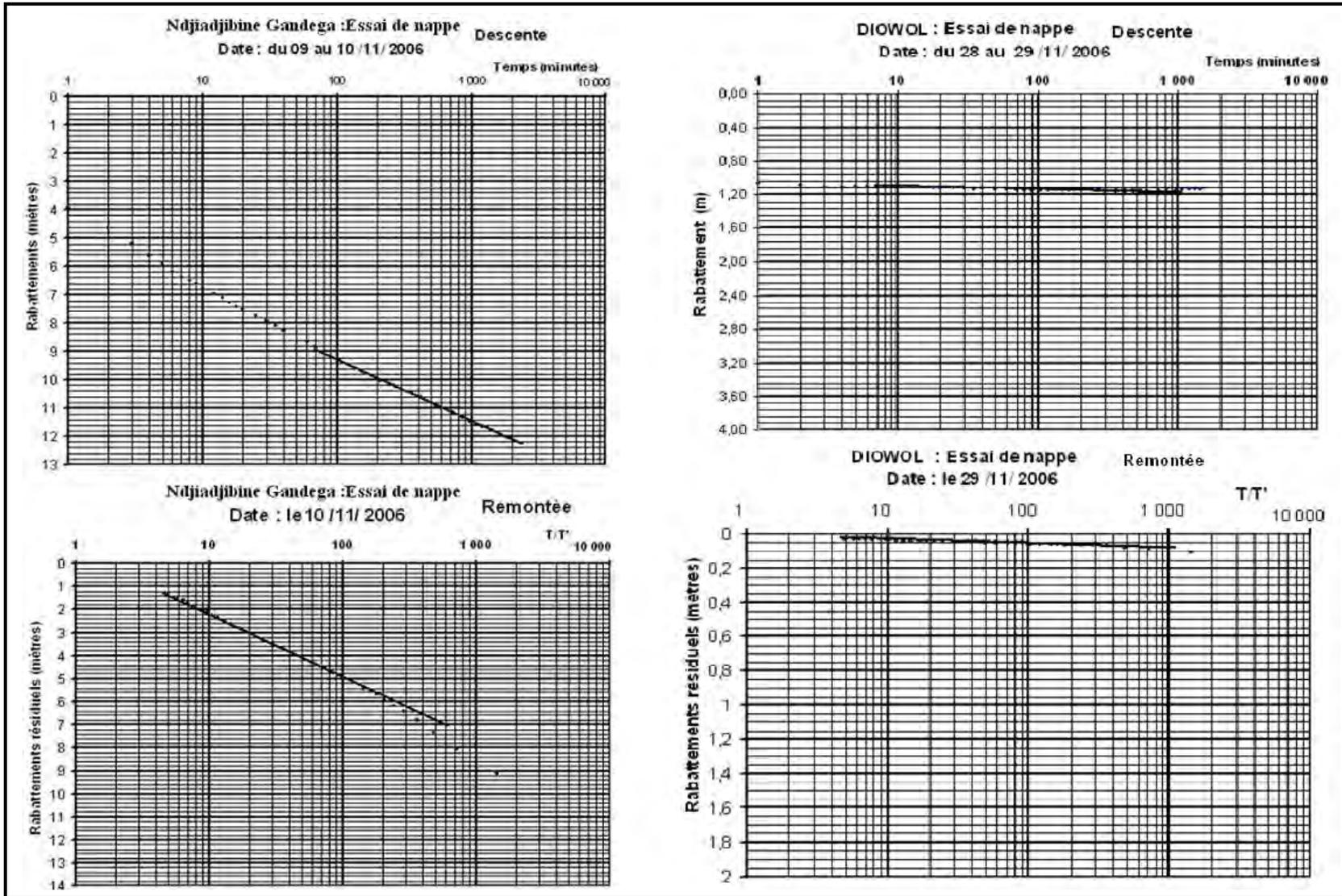


Figure 23 : Détermination de la transmissivité par la méthode semi-logarithmique de Jacob

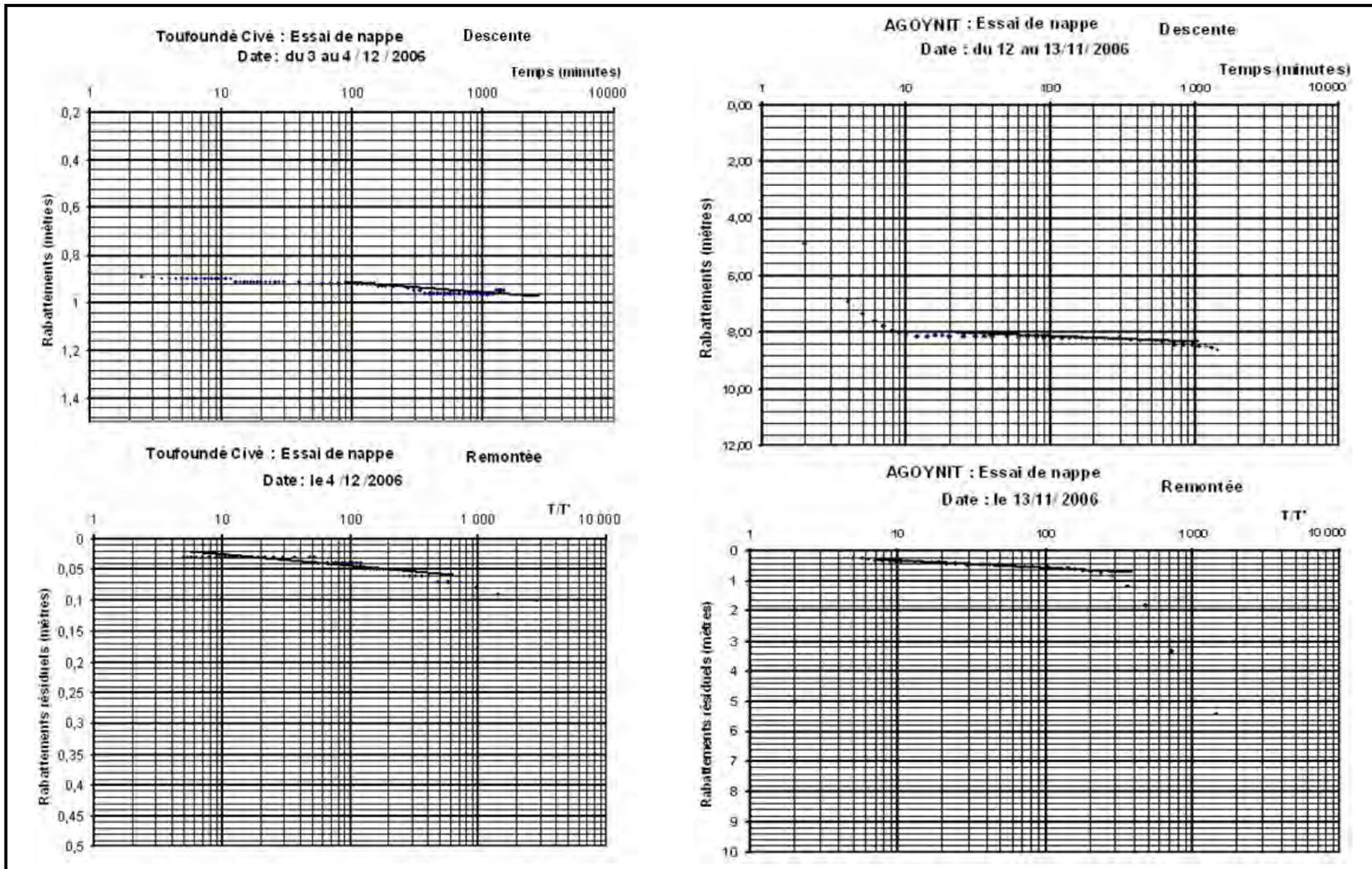


Figure 24 : Détermination de la transmissivité par la méthode semi-logarithmique de Jacob

3. HYDROCHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES

Pendant la campagne des essais de pompage, des échantillons d'eau ont été prélevés dans les différents forages à l'aide d'un tuyau de refoulement muni d'une vanne réglant le débit et d'un tube de Pitot à son extrémité pour des fins d'analyses chimiques au laboratoire d'analyses physico-chimiques des eaux de l'Institut National de Recherches en Santé Publique (I.N.R.S.P.) de Nouakchott en Mauritanie.

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 de l'I.N.R.S.P., 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-} 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 en 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 déterminées avec une précision comprise entre 2 et 4 %. Les mesures colorimétriques et néphélométrique sont effectuées sur un spectrophotomètre Spectronic 20 D Milton Roy Compagny qui présente une erreur de mesure de l'ordre 2% ;

3.1. Caractéristiques physico-chimiques 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 physico-chimiques, sont consignés en annexes (voir annexe 2).

3.1.1. Conductivité électrique et minéralisation totale

La minéralisation totale d'une eau peut être évaluée par sa conductivité électrique (CE en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) ou par le taux de solides dissous (TDS en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Ces deux paramètres dépendent de la quantité d'ions contenus dans cette eau. Les valeurs de conductivités électriques mesurées en 2006, varient de $70 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Toufoundé Civé) à $1156 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Ajar Soninké F2). Les eaux souterraines dans la zone d'étude sont donc faiblement à moyennement minéralisées.

En fonction des valeurs du TDS, on peut distinguer : les eaux douces ($\text{TDS} < 1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) ; les eaux saumâtres ($1000 < \text{TDS} < 10\ 000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) ; les eaux salines ($10\ 000 < \text{TDS} < 100\ 000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) et les saumures ($\text{TDS} > 100\ 000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) (Banton et *al.*, 1995).

Les valeurs de la minéralisation des eaux souterraines dans la zone de Gorgol - Guidimakha sont dans l'ordre de $66,34$ à $876,88 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Tableau 6) ; ces eaux sont donc dans l'ensemble douces ($\text{TDS} < 1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

3.1.2. Les températures

Pour l'année 2006, les valeurs de la température des eaux varient de $21,10^\circ\text{C}$ (Ajar Soninké F2) à $27,40^\circ\text{C}$ (Ajar Soninké F1 et Diaguili) et de $32,50^\circ\text{C}$ (Ajar Soninké F1, Agoynit, Woulbouni Maur, Diowol et Toufoundé Civé) à $34,50^\circ\text{C}$ (Mbedy Asagha) pour les mesures de l'année 2001. Ces valeurs sont proches de celles des températures moyennes de l'air ambiant.

3.1.3. Le pH

Toutes les mesures de ce paramètre de la campagne de 2006 sont comprise entre $6,68$ (Toufoundé Civé) et $8,29$ (Woulbouni Soninké F2) et celles de 2001 entre $6,22$ (Mbedy Asagha) et $7,37$ (Ndjiadjibine). Ces valeurs de pH, indiquent que les eaux sont neutres à légèrement basiques et que l'alcalinité des eaux, est contrôlée essentiellement par les ions bicarbonates (HCO_3^-).

3.1.4. Typologie des eaux

Pour faire ressortir les faciès chimiques des eaux souterraines dans la région de Gorgol - Guidimakha, les données des analyses chimiques de la campagne de l'année 2006, ont été reportées dans le diagramme triangulaire de Piper (Fig. 25). Globalement deux familles chimiques sont représentées dans les eaux souterraines des forages échantillonnés dans la zone du Gorgol - Guidimakha : les eaux chloruro-sulfatées calciques et magnésiennes et les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes.

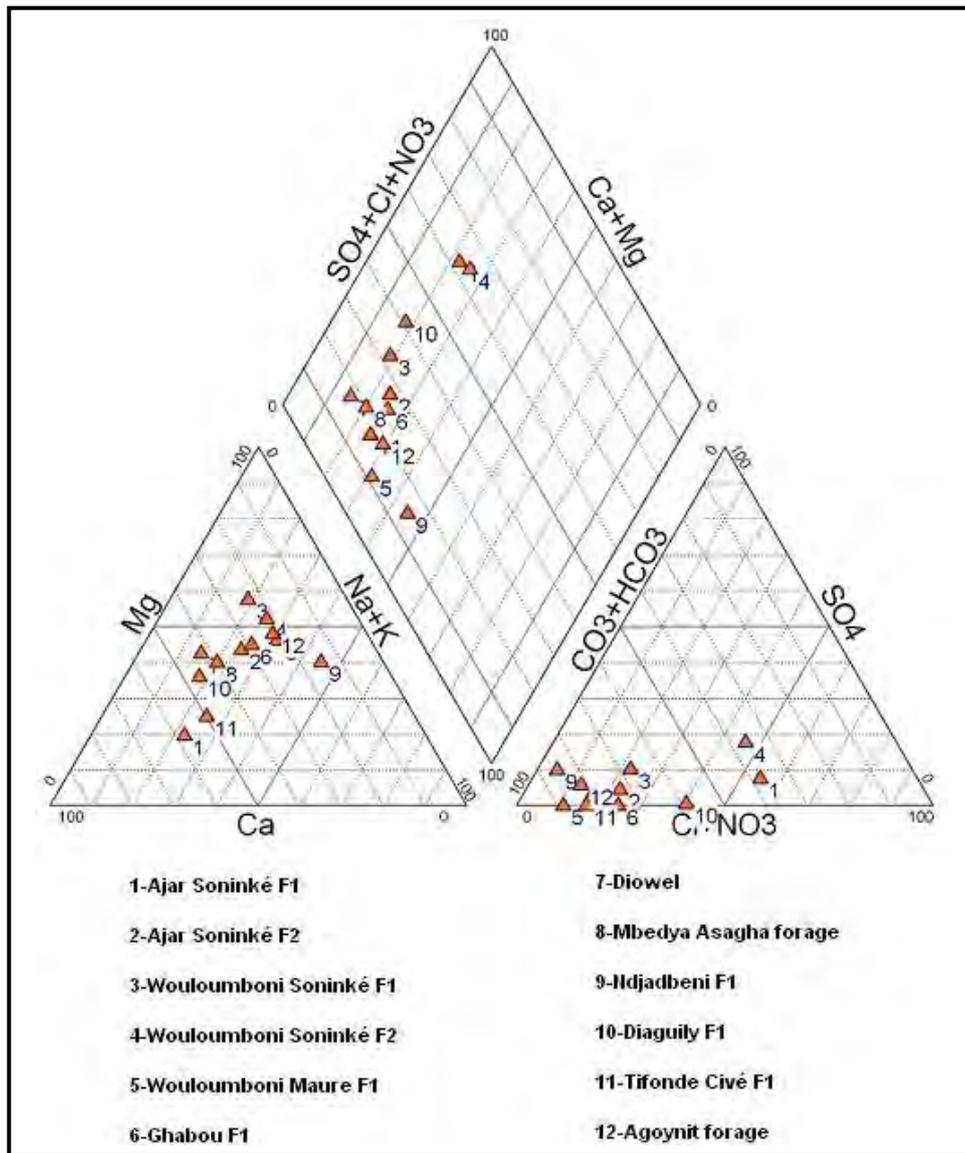


Figure 25 : Diagramme de Piper pour les eaux souterraines dans la zone du Gorgol - Guidimakha (campagne 2006)

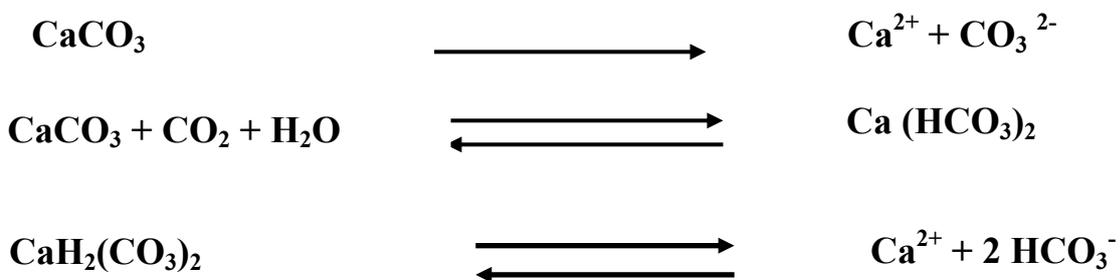
- Les eaux chloruro-sulfatés calciques et magnésiennes se répartissent en deux faciès : un faciès chloruré calcique (Forage d'AJAR Soninké F1) et un faciès chloruro-sulfaté magnésien (Forage de Wouloumboni Soninké F2).

- Les eaux bicarbonatés calciques et magnésiennes s'individualisent en faciès bicarbonaté calcique et magnésien (forages AJAR Soninké F2, Agoynit Forage, Toufoundé Civé, Diaguily, Ndjiadjibine, Mbedya Asagha, Diowol, Ghabou, Wouloumboni Maur, Wouloumboni Sn F1). Ce faciès est le plus représentatif des points d'eau échantillonnés et trouverait son origine par la dissolution des minéraux carbonatés présents dans la matrice de l'aquifère (Aragonite, calcite, dolomite et magnésite) qui entraînent la solubilisation des ions Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^- .

3.2. Etude de l'agressivité des eaux souterraines

3.2.1. Equilibre calco - carbonique

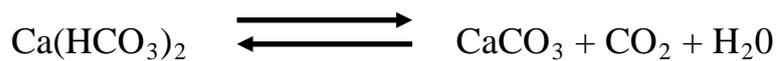
Les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines jouent un rôle important dans le choix du matériel d'équipement des forages. C'est ainsi que la mesure de certains paramètres tels que le pH d'équilibre, le CO_2 libre, peut nous aider à choisir le matériel adéquat pour l'équipement des ouvrages de captage. Le principal paramètre est le carbonate de calcium (CaCO_3) dont l'équilibre dans l'eau est soumis à des interactions avec le dioxyde de carbone (CO_2) suivant les réactions ci-dessous (Tardat-Henry, 1984) :



D'après les réactions ci-dessus, les bicarbonates et les carbonates ne peuvent exister en solution qu'en présence d'une certaine quantité de gaz carbonique libre, suffisante pour maintenir cet équilibre : c'est le gaz carbonique équilibrant. Si le CO_2 libre est supérieur au CO_2 équilibrant, l'eau est agressive et peut attaquer les conduites. Si le CO_2 est partiellement éliminé (variation de la température, de la pression, dégazage) la concentration en CO_2 peut devenir inférieure à celle du CO_2 équilibrant : l'équilibre est alors rompu, le bicarbonate se décompose en donnant du carbonate et si la concentration en celui-ci atteint la valeur du produit de solubilité, il va précipiter : l'eau est incrustante ou entartante.

3.2.2. Détermination du pH d'équilibre ou pH de saturation des eaux

Le pH d'équilibre d'une solution est le pH que la solution devrait avoir à l'équilibre avec la même composition chimique. Une eau en équilibre sur le plan calco-carbonique est une eau exactement saturée en CaCO_3 ; au contact de CaCO_3 , cette eau n'aura donc pas tendance à en dissoudre qu'elle n'a en déposer. Elle contient la quantité de CO_2 nécessaire et juste suffisante pour maintenir en solution le Ca^{2+} qu'elle contient sous forme de bicarbonate, ce que l'on exprime en général par l'équilibre (Bontoux, 1983 *in* Sy Tapsoba, 1990).



Expression qui résume sous forme simplifiée les équations fondamentales du système.

Le pH d'équilibre est obtenu par la formule simplifiée de Bakalowicz (1980) (*in* Sy Tapsoba, 1991) :

$$\text{pH}_{\text{éq}} = \text{pK}_2 - \text{pK}_{\text{Ca}} - \text{Log} [\text{HCO}_3^-] - [\text{Ca}^{2+}]$$

La différence ΔpH (pH mesuré - pH_{éq}) permet d'apprécier l'implication de la qualité chimique de l'eau dans la destruction prématurée des crépines et des pompes.

Si $\Delta\text{pH} < 0$, l'eau est acide ; le fer est attaqué et solubilisé par ionisation : il y a consommation d'ions H^+ et le pH augmente ; une crépine en fer dans une eau agressive risque donc d'être corrodée et ne sera plus en mesure de retenir les grains de sables.

Si $\Delta\text{pH} > 0$, il y a précipitation des carbonates qui vont colmater la crépine : l'eau est calcifiante ou incrustante.

On peut également déterminer graphiquement le pH d'équilibre et le CO_2 libre en reportant les résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Schoeller et Berkloff (Fig. 26 et 27).

Le pH d'équilibre est l'intersection entre la droite joignant les deux points représentant la concentration en Ca et en carbonates et bicarbonates (Tableau 6).

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE DE SCHOELLER

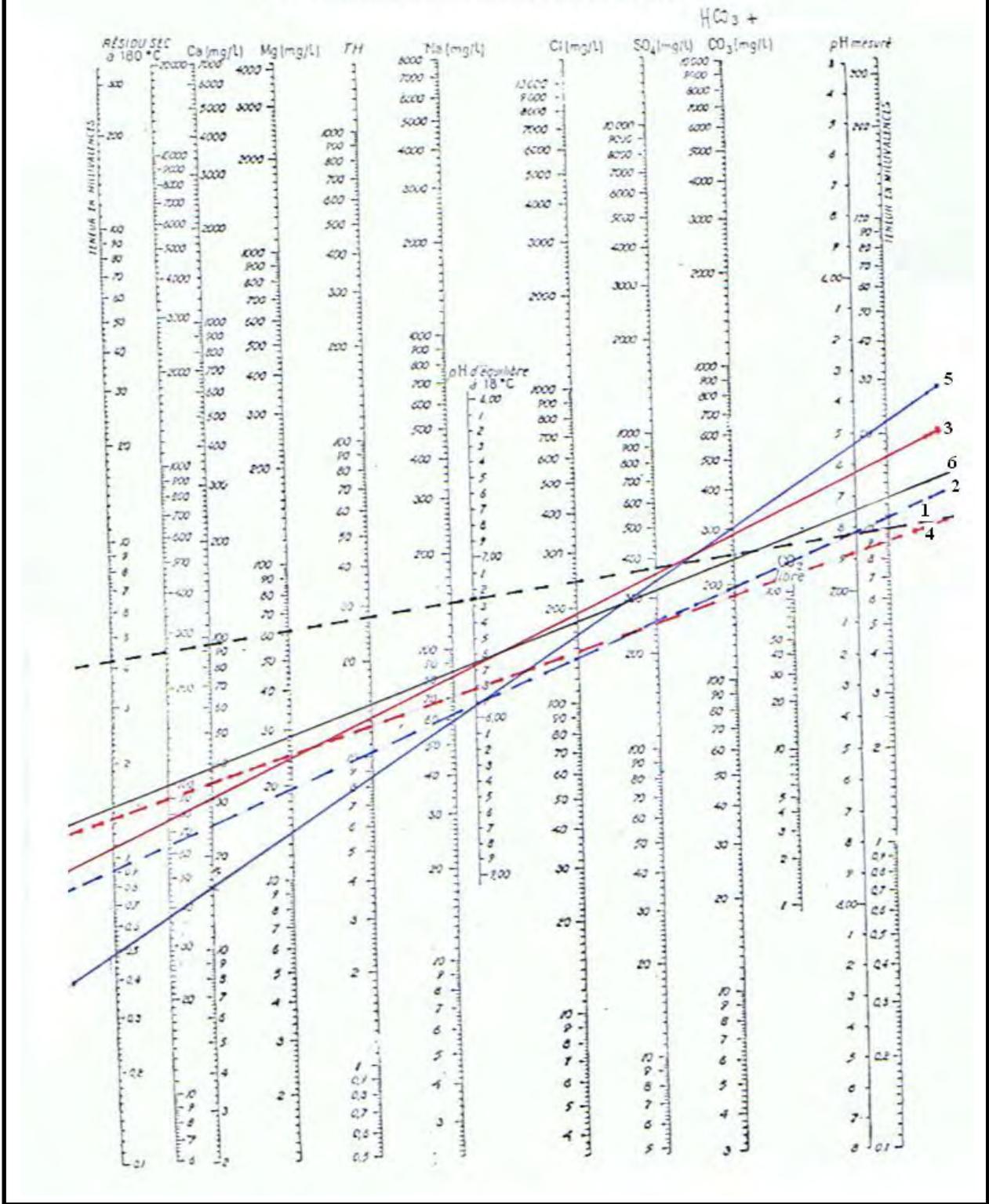


Figure 26 : Détermination des pH d'équilibre des eaux souterraines dans la zone du Gorgol-Guidimakha (Données 2006)

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE DE SCHOELLER

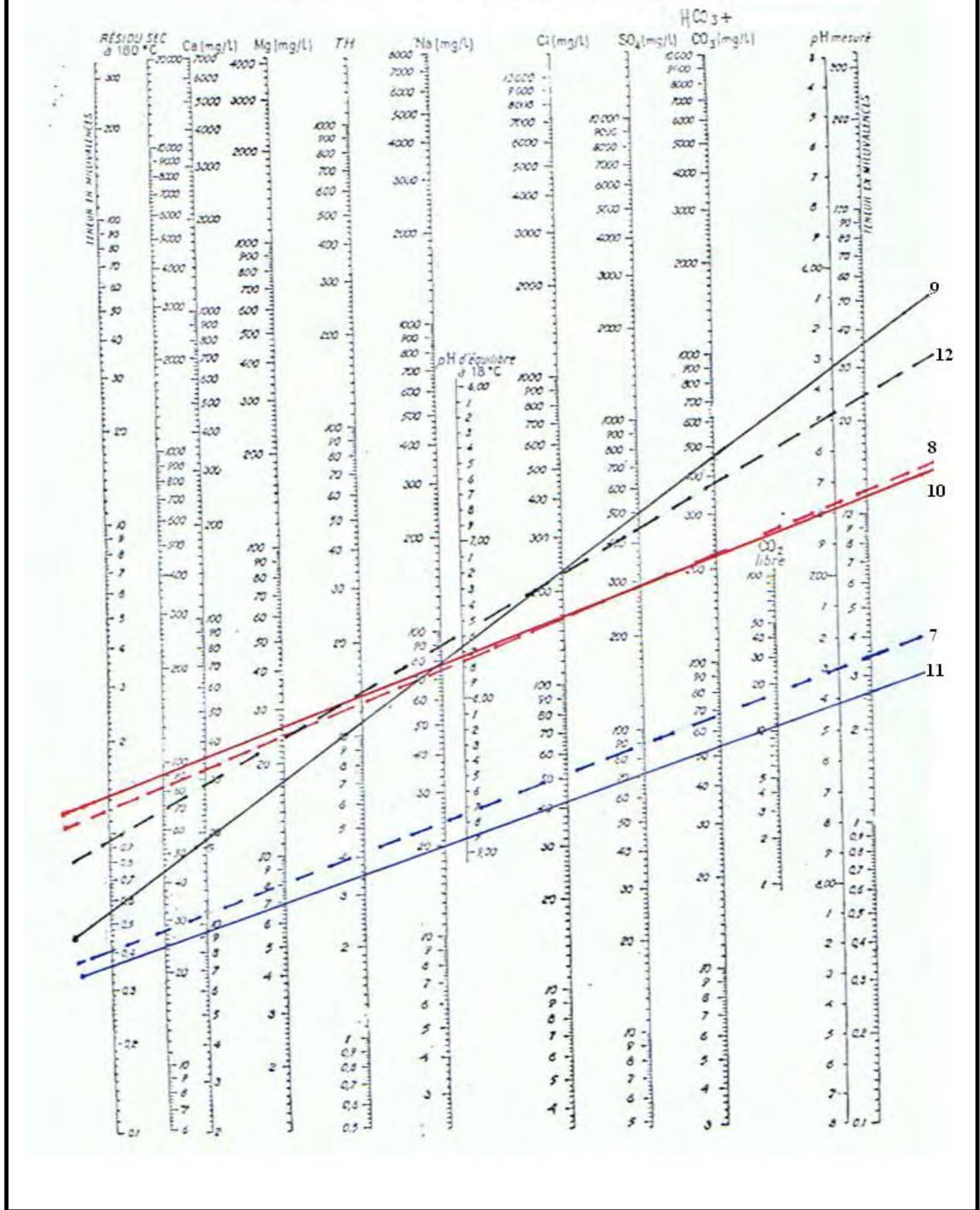


Figure 27 : Détermination des pH d'équilibre des eaux souterraines dans la zone du Gorgol-Guidimakha (Données 2006)

Tableau 6 : Valeurs des paramètres physiques et des indices de saturation des eaux souterraines dans la zone du Gorgol - Guidimakha

N°	Echantillons	C.E. ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	TDS (mg.l^{-1})	pH mesurés	pH d'équilibre	ΔpH	Aragonite	Calcite	Dolomite	Magnésite
1	Ajar Soninké F1	1156	876,88	7,37	7,8	-0,43	-0,389	-0,242	-1,003	-1,12
2	Ajar Soninké F2	375	268,47	7,23	7,9	-0,67	-0,942	-0,799	-1,442	-1,018
3	Wouloumboni Soninké F1	600	429,55	7,81	7,68	0,13	-0,872	-0,729	-0,824	-0,47
4	Wouloumboni Soninké F2	886	672,07	8,29	7,25	1,04	-0,54	0,089	0,941	0,478
5	Wouloumboni Maur	456	326,46	7,52	7,9	-0,38	-	-	-	-8,95
6	Ghabou	672	481,10	7,07	7,66	-0,59	-0,858	-0,716	-0,974	-0,633
7	Diowol	98	92,87	6,93	8,75	-1,82	-	-	-	-
8	Mbedya Asagha	388	277,78	7,43	7,76	-0,33	-	-	-	-
9	Ndjiadjibine	736	526,92	7,63	7,68	-0,05	-	-	-	-0,404
10	Diaguily	315	242,42	7,27	7,74	-0,47	-0,942	-0,787	-1,442	-1,018
11	Toufoundé Civé	70	66,34	6,86	8,9	-2,04	-	-	-	-
12	Agoynit	627	448,88	7,42	7,68	-0,26	-0,708	-0,566	-0,496	-1,018

La majorité des points d'eau échantillonnés dans la zone du Gorgol - Guidimakha, ont des pH d'équilibre supérieurs aux pH mesurés ($\Delta\text{pH} < 0$). Ces eaux sont donc agressives et peuvent attaquer les équipements métalliques des forages. C'est pourquoi les aciers inox ont été choisis pour équiper les nouveaux forages.

Les eaux des forages de Wouloumboni Soninké F1 et F2 qui ont des pH d'équilibre inférieurs aux pH mesurés ($\Delta\text{pH} > 0$) sont dites calcifiantes ou incrustantes. Ces eaux peuvent entraîner des phénomènes de précipitation des carbonates qui peuvent colmater les crépines des ouvrages de captage.

3.2.3. Calcul des indices de saturation des phases minérales

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

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

PAI : Produit d'activité ionique des ions concernés,

K_s : Constante d'équilibre.

Quand $\text{IS} = 0$, 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 (aragonite, calcite, dolomite et magnésite) présentes dans les matrices des aquifères captés par les forages de la zone du Gorgol - Guidimakha, ont été calculés à partir du programme Wateq (Tableau 6) (Truesdel et Jones, 1974 ; Plummer et *al.*, 1976). Ils 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.

Les résultats des calculs d'indices de saturation (IS) des eaux souterraines vis-à-vis de certains minéraux carbonatés sont reportés sur le tableau 6. Ces résultats montrent que les eaux de l'ensemble des forages échantillonnés dans la zone du Gorgol - Guidimakha, ont des indices de saturation négatifs et sont sous-saturées vis-à-vis de l'aragonite, de la calcite, de la dolomite et de la magnésite. Ainsi, il peut y avoir des réactions de dissolution des minéraux carbonatés (calcite, aragonite et dolomite), dans ce cas l'eau est dite agressive. Seul l'eau du forage situé dans la localité

de Wouloumboni Soninké F2 a des indices de saturation positifs et est donc saturée vis-à-vis de la calcite, de la dolomite et de la magnésite.

3.3. Qualité des eaux souterraines

3.3.1. Potabilité des eaux souterraines

Pour l'étude de la qualité des eaux des nappes de la zone d'étude, nous nous limiterons à l'étude comparative de certains éléments chimiques aux normes de qualités requises pour une eau de boisson 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) des nappes de la zone d'étude sont représentées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Normes de potabilité de l'O.M.S. (1993) et paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans la zone du Gorgol - Guidimakha

Paramètres et substances chimiques	Concentrations maximales admissibles (O.M.S.)	Teneurs chimiques dans les eaux souterraines (Données 2006)	
		Minimum	Maximum
T (°C)	25	27,10	27,50
pH	9,60	06,86	08,29
CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	2000	70,00	1156,00
Cl (mg.l^{-1})	200	06,00	122,00
SO ₄ ²⁻ (mg.l^{-1})	250	00,00	71,61
NO ₃ ⁻ (mg.l^{-1})	50	00,00	198,50
Na ⁺ (mg.l^{-1})	100	04,00	65,00
K ⁺ (mg.l^{-1})	12	01,00	02,00
Mg ²⁺ (mg.l^{-1})	50	02,92	50,54
Ca ²⁺ (mg.l^{-1})	100	09,62	94,58

Ces résultats montrent que les eaux dans la zone d'étude, sont de qualité acceptable pour l'ensemble des éléments majeurs. Concernant les nitrates, ils sont présents dans la plupart des points d'eau analysés, 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 aux forages hydrauliques d'Ajar Soninké (F2) et de Diaguily situés dans la région de Guidimakha, où les concentrations en nitrates sont respectivement de

198,52 et 136,54 mg.l⁻¹. En effet, la présence de nitrates à des 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 de l'estomac (El Tayeb El Saddig, 1982). Les nitrates peuvent aussi provoquer l'hypertension et sont les précurseurs de nitrosamines cancérigènes (Castany, 1982).

3.3.2. Aptitude à l'irrigation des eaux souterraines

La présence dans le sol de fortes teneurs en sel a le même effet que la sécheresse, en réduisant la quantité d'eau assimilable par les racines des plantes. Cet effet résulte de la différence des concentrations de sel entre les végétaux et le sol (le gradient osmotique créé entre le sol et la plante empêche l'absorption de l'eau par les racines et, s'il est suffisamment élevé, provoque le dessèchement de la plante). Selon le degré de salinité, cet effet réduit la capacité de croissance des cultures et diminue les rendements annuels.

Ils sont en général utilisés pour l'agriculture (maraîchage). La méthode utilisée pour tester l'irrigabilité des eaux de la nappe du Continental terminal, est celle de Rive SIDE (*in* Bahir et al., 2003) qui est basée sur la salinité de l'eau représentée par la conductivité électrique et sur le degré d'alcalinité du sol exprimé par le S.A.R. (Taux d'absorption du sodium).

Selon cette classification, on peut distinguer plusieurs cas, selon les valeurs de la conductivité et le S.A.R. (Tableaux 8 et 9).

- Classement suivant la conductivité électrique (C.E.) des eaux :

- C.E. < 250 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: eau à faible risque de salinisation (classe C1) ;
- 250 < C.E. < 750 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: eau à risque moyen de salinisation (classe C2) ;
- 750 < C.E. < 2250 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: eau à risque élevé de salinisation (classe C3) ;
- 2250 < C.E. < 5000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: eau à risque très élevé de salinisation (classe C4) ;
- C.E. > 5000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$: eau déconseillée pour l'irrigation (classe C5).

- Classement suivant le taux d'absorption du sodium (S.A.R.) des eaux.

Le taux d'absorption du sodium (S.A.R.) d'une eau exprime le rapport entre la concentration du sodium et celle des alcalino-terreux (calcium et magnésium) :

$$\text{S.A.R.} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{0,5 * ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])}}$$

Le pouvoir qu'à une eau de fixer du sodium sur le complexe absorbant (C.A.) est une fonction croissante du S.A.R. Lorsque la valeur du S.A.R. est supérieure à 10, le taux de fixation du sodium sur le complexe absorbant est élevé. Il y'a dispersion des argiles, le sol devient compact, imperméable à l'eau et à l'air (*in* Thiandoum, 1994).

- S.A.R. < 10 : eau à faible risque d'alcalinisation du sol (classe S1) ;
- 10 < S.A.R. < 18 : eau à moyen risque d'alcalinisation du sol (classe S2) ;
- 18 < S.A.R. < 26 : eau à risqué élevé d'alcalinisation du sol (classe S3) ;
- S.A.R. > 26 : eau à risque très élevé d'alcalinisation du sol (classe S4).

Pour l'interprétation de l'aptitude à l'irrigation des eaux souterraines dans la zone du Gorgol - Guidimakha, les points d'eau se répartissent entre les classes C1-S1, C2-S1 et C3-S1.

Tableau 8 : Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité électrique et de S.A.R.

Ouvrages	Conductivité électrique ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Degré d'absorption du sodium (S.A.R.)	Classes d'aptitude à l'irrigation de l'USSLS
Ajar Soninké (F1)	1156	1,00	C3-S1
Ajar Soninké (F2)	375	0,75	C2-S1
Wouloumboni Soninké (F1)	600	0,72	C2-S1
Wouloumboni Soninké (F2)	886	1,18	C3-S1
Wouloumboni Maur	456	0,98	C2-S1
Ghabou	672	1,03	C2-S1
Diowel	98	0,23	C1-S1
Mbedya Asagha	388	0,64	C2-S1
Ndjiadjibine	736	2,12	C2-S1
Diaguily F1	315	0,52	C2-S1
Toufoundé Civé	70	0,36	C1-S1
Agoynit	627	1,22	C2-S1

Tableau 9 : Interprétation des classes correspondantes aux couples risques salins / risques alcalins des eaux souterraines dans la zone de Gorgol - Guidimakha

Qualité	Classes d'aptitude à l'irrigation	Observations
Excellente	C ₁ -S ₁	A utiliser pour l'irrigation de toutes les plantes et tout type de sols.
Bonne	C ₁ -S ₂ C ₂ -S ₁	A utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers).
Moyenne à bonne	C ₂ -S ₂ C ₁ -S ₃ C ₃ -S ₁	A utiliser avec précaution. Nécessité de drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.
Moyenne à médiocre	C ₁ -S ₄ C ₂ -S ₃ C ₃ -S ₂ C ₄ -S ₁	Exclure les plantes sensibles et les sols lourds. Utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et/ou apport de gypse.
Médiocre	C ₂ -S ₄ C ₄ -S ₂ C ₃ -S ₃	A n'utiliser, avec beaucoup de précautions, que dans des sols légers et bien drainés et pour des plantes résistantes. Risques élevés. Lessivage et apports de gypse indispensables.
Mauvaise	C ₃ -S ₄ C ₄ -S ₃	A n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles.
Très mauvaise	C ₄ -S ₄ C ₅ -S ₄	Eau déconseillée pour l'irrigation.

Pour les classes C1-S1 et C2-S1, les eaux sont de qualité excellente à bonne et convenable à l'irrigation de toutes cultures sur tout type de sol et, présentent un risque faible d'alcalinisation et/ou de salinisation. Ces eaux sont prélevées dans les ouvrages localisés dans le secteur ouest de la zone d'étude.

Pour la classe C3-S1, l'eau est convenable à l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés, ce pendant l'évolution de la salinité doit être contrôlée. Et pour les classes C4-S1, les eaux ne conviennent généralement pas à l'irrigation de cultures, toutefois elles peuvent être utilisées pour les plantes tolérant bien des sels sur des sols très perméables.

3. CONCLUSION

La présente étude qui concerne les Wilayas du Gorgol et du Guidimakha situées au sud de la République Islamique de la Mauritanie, se veut une contribution à la connaissance des caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques des eaux souterraines des différents aquifères exploités.

L'étude du cadre hydrogéologique a montré que l'hydrogéologie de la zone du Gorgol-Guidimakha est très complexe. Cependant, on peut distinguer deux types d'aquifères : les aquifères continus ou généralisés des formations sédimentaires (les nappes des alluvions, la nappe de recouvrement sableux (formations dunaires), la nappe des formations gréseuses) et les aquifères discontinus du socle.

L'interprétation des données des pompages d'essai par la méthode classique de Jacob et par la méthode d'essai normalisé mise en œuvre par le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques de Ouagadougou (C.I.E.H., 1988), a permis de déterminer les débits d'exploitation maximum des forages. Ces débits sont compris entre 1 et 80 m³.h⁻¹ pour la méthode classique de Jacob et 0,7 et 12 m³.h⁻¹ pour la méthode d'essai normalisé. Ainsi, les forages d'Agoynit, d'AJar Soninké (F2), de Diowol et de Toufoundé Civé ont été équipés par de pompes électriques.

En effet, les résultats obtenus par les deux méthodes (la méthode classique et la méthode d'essai normalisé) aboutissent aux mêmes conclusions bien que les valeurs des débits d'exploitation maximum obtenues sont différentes dans les deux cas. Mais dans le cas d'une étude de simulation du débit d'exploitation maximum, la méthode dite « d'essai normalisé » serait la mieux indiquée. En effet, dans cette méthode la durée de la simulation est fixée et connue par rapport à la méthode classique où la simulation se fait en tenant compte du débit de pompage et du rabattement.

La physico-chimie de la nappe a montré que les eaux sont faiblement à moyennement minéralisées avec les valeurs de conductivités électriques inférieures à 1500 µS.cm⁻¹. Ces eaux se répartissent en familles des eaux : les eaux chloruro-sulfatées calciques et magnésiennes et les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes. La représentation des résultats d'analyses chimiques sur les diagrammes de Schoeller-Berkaroff et le calcul des indices de saturation par le programme Wateq, montrent des eaux agressives et des eaux entartantes.

Les eaux souterraines sont dans l'ensemble de qualité acceptable avec des concentrations en éléments majeurs inférieures aux concentrations maximales admissibles fixées pour l'eau de boisson par l'OMS. L'étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation en utilisant la méthode de Rive SIDE de l'USSR, basée sur la salinité de l'eau représentée par la conductivité électrique et sur le degré d'alcalinité du sol exprimé par le sodium absorption ratio (SAR.), montre que les eaux souterraines dans la zone du Gorgol - Guidimakha, présentent une aptitude permanente entre les qualités bonne (classe C1-S1) et bonne à moyenne (classes C2-S1 et C3-S1). Les eaux souterraines dans la zone du Gorgol- Guidimakha traduisent plus un risque de salinisation qu'un risque d'alcalinisation car les classes des conductivités électriques sont supérieures à la classe des SAR.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La zone d'étude comprend les wilayas administratives du Gorgol et de Guidimakha. Elle est limitée au nord et nord-ouest par la wilaya du Brakna, au nord et nord-est par la wilaya d'Assaba et au sud et sud-ouest par le fleuve Sénégal qu'est la limite naturelle entre la République Islamique de la Mauritanie et la République du Sénégal. Cette étude a pour but de déterminer les débits d'exploitation maximum des anciens forages afin de les équiper de manière optimum si les débits sont corrects et aussi de déterminer la qualité chimique des eaux souterraines.

Le relief de la zone étudiée est relativement plat et les conditions hydroclimatiques sont caractérisées par une température qui varie dans le temps avec des saisons et dans l'espace avec la proximité de l'océan atlantique. L'intensité des précipitations est faible et mal répartie au cours de l'année et d'une année à l'autre. L'évolution interannuelle de la pluviométrie montre une succession des périodes à pluviométrie déficitaire et des périodes à pluviométrie excédentaire. Les précipitations de l'hivernage sont reprise par évaporation, évapotranspiration et par ruissellement. On considère généralement qu'aucune infiltration directe n'est possible si le seuil minimal de 400 mm de précipitation annuelle n'est pas atteint. Le réseau hydrographique est très marqué par les oueds qui creusent des sillons pouvant atteindre plusieurs mètres de profondeur.

L'étude du cadre hydrogéologique a montré que l'hydrogéologie de la zone du Gorgol-Guidimakha est très complexe. Cependant, on peut distinguer deux types d'aquifères : les aquifères continus ou généralisés des formations sédimentaires (les nappes des alluvions, la nappe de recouvrement sableux (formations dunaires), la nappe des formations gréseuses) et les aquifères discontinus du socle.

L'interprétation des données des pompages d'essai par la méthode classique de Jacob et par la méthode d'essai normalisé mise en œuvre par le Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques de Ouagadougou (C.I.E.H., 1988), a permis de déterminer les débits d'exploitation maximum des forages. Ces débits sont compris entre 1 et 80 m³.h⁻¹ pour la méthode classique de Jacob et 0,7 et 12 m³.h⁻¹ pour la méthode d'essai normalisé. En effet, les résultats obtenus par les deux méthodes (la méthode classique et la méthode d'essai normalisé) aboutissent aux mêmes conclusions bien que les valeurs des débits d'exploitation maximum obtenues sont différentes dans les deux cas. Mais dans le cas d'une étude de simulation du débit d'exploitation maximum, la méthode dite « d'essai normalisé » serait la mieux indiquée. En effet, dans cette méthode la durée de la simulation est fixée et connue par rapport à la méthode classique où la simulation se fait en tenant compte du débit de pompage et du rabattement.

La physico-chimie de la nappe a montré que les eaux sont faiblement à moyennement minéralisées avec les valeurs de conductivités électriques inférieures à 1500 µS.cm⁻¹. Ces eaux se

répartissent en familles des eaux : les eaux chloruro-sulfatées calciques et magnésiennes et les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes. La représentation des résultats d'analyses chimiques sur les diagrammes de Schoeller-Berkaroff et le calcul des indices de saturation par le programme Wateq, montrent des eaux agressives et des eaux entartantes.

Les eaux souterraines sont dans l'ensemble de qualité acceptable avec des concentrations en éléments majeurs inférieures aux concentrations maximales admissibles fixées pour l'eau de boisson par l'OMS. L'étude de l'aptitude des eaux à l'irrigation en utilisant la méthode de Rive SIDE de l'USSL, basée sur la salinité de l'eau représentée par la conductivité électrique et sur le degré d'alcalinité du sol exprimé par le sodium absorption ratio (SAR.), montre que les eaux souterraines dans la zone du Gorgol - Guidimakha, présentent une aptitude permanente entre les qualités bonne (classe C1-S1) et bonne à moyenne (classes C2-S1 et C3-S1). Les eaux souterraines dans la zone du Gorgol- Guidimakha traduisent plus un risque de salinisation qu'un risque d'alcalinisation car les classes des conductivités électriques sont supérieures à la classe des SAR.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BAHIR M; MENNANI M ; DASILVA M. O; BLAVOUX B. (2003)- Impact de la sécheresse sur la ressource en eau en zone semi-aride : cas de l'aquifère barrémien aptien de la zone côtière d'Essaouira (Maroc). *Publication Institut de Géologie Minérale d'Espagne (IGME)*, 84-7840-470-8, Madrid, Espagne, pp. 785 – 796.

BANTON O. ; BANGOY L. M. ; CHEVALIER S. ; HOUENOU P. ; LAFRANCE P. ; RIVARD C. (1997)- Hydrogéologie : Multiscience environnementale des eaux souterraines. Presses de l'université du Québec/AUPELF, 460 p.

BAUD L. (1936)- Rapport sur le gisement de phosphates de la région de Kaédi. *Archive service de Mines* Dakar, 47 p.

BRGM (1975)- Notice explicative de la carte géologique de la Mauritanie au 1/1 000 000^e. Direction de Mines. Géologie. République Islamique Mauritanie. *Edition BRGM*, 254 p.

BRGM (1987)- Programme CEAO 1 d'hydraulique villageoise et pastorale dans huit régions du Sud-est de la Mauritanie *Rapport De Synthèse Direction de l'Hydraulique et de l'Assainissement*, 42 p.

BURGEAP (1983)- Etude hydrogéologique du bassin sud-ouest Mauritanien. *Rapport final* 231 p ; 52 fig. ; 22 tableaux.

BURGEAP (2006)- Notice de la carte hydrogéologique préliminaire de la Mauritanie au 1 /500 000^e, 86 p.

CARITE D. (1989)- Géologie en Mauritanie. *Edition EDISUD*, Paris, 284 p.

CARUBA R. et DARS R. (1991)- Géologie de la Mauritanie, Centre Régionale du Documentation Pédagogique (Académie de Nice) (CRDP) Université de Nice, France, 313 p.

CASTANY G. (1982)- Principes et méthodes de l'hydrogéologie. *Edition Dunod*, Paris, France, 238p.

CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE EN EAU(CNRE); MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'ENERGIE (2003)- Notice de la carte des ressources en eau de la Mauritanie, 82 p.

CHUDEAU R. (1911)- Note sur la géologie en Mauritanie. *Rapport British Society for Gene Therapy (BSGT)*, tome 4, pp. 317-332, 10, tableaux.

COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES (C.I.E.H) (1988)- Essais de débit simplifiés sur forages d'hydraulique villageoise. Normalisation des modalités d'exécution et des méthodes d'interprétation. Burgeap - Ougadougou : Etude et mise en valeur des eaux souterraines, 6 p.

DACOSTA H. (1989)- Précipitations et écoulement sur le bassin de la Casamance. *Thèse doctorat 3ème Cycle*, Département de Géographie, UCAD, Dakar, Sénégal, 278 p.

DIA O. (1984)- La chaîne panafricaine et hercynienne des Mauritanides face au bassin protérozoïque supérieure à Dévonien de Taoudeni dans le secteur clé de Mejeria (Taganet, sud République Islamique de Mauritanie) : litho stratigraphie et tectonique. Un exemple de tectonique tangentielle superposée. *Thèse es Science*, Université -Aix-Marseille (France), 516 p.

DIAGANA A. (1994)- Etude hydrogéologique dans la vallée du fleuve Sénégal de Bakel à Podor: relation eaux de surface et eaux souterraines. *Thèse Doctorat 3ème Cycle*, Département de Géologie, UCAD, Dakar, 126 p ; 65 fig.; 26 tableaux.

ELOUARD P. (1962)- Etude géologique et hydrogéologique des formations sédimentaires du Guebla mauritanien et de vallée du Sénégal. *Mémoire BRGM, tome 1, 356 p. 39 fig. ; 16 tabl.*

ELOURD P. (1973)- Etude hydrogéologique et géologique de la vallée du fleuve Sénégal. *Rapport BRGM* tome 2, 423 p; 29 fig.; 23 tableaux.

EI TAYEB EI SADDIG M. (1982)- Les systèmes de la région de Génina - André (confins soudano - tchadiens) : hydrogéologie, hydrochimie et géochimie isotopique. *Thèse es Sciences*, Université. Avignon, France, 152 p.

FORKASIEWICZ J. (1972)- Interprétation des données des pompages d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères. *Rapport BRGM*, 50 p.

GAYE C B. (1990)- Etude isotopique et géochimique du mode de recharge par les pluies et de décharge évaporatoire des aquifères libres sous climat semi-aride au nord du Sénégal. *Thèse es Sciences*. Département de Géologie, UCAD, Dakar, Sénégal, 245 p.

HUBERT H. (1920)- Notice de la carte géologique au 1/1000000e de Afrique Occidentale Française (AOF). Feuille 5, 18 – 26 p.

HYDROCONSEIL MAURITANIE; TENMIYA; COOPERATION FRANÇAISE (2005)- Rapport d'approvisionnement en eau potable dans le Guidimakha, 88 p.

- ILLY P. (1973)**- Etude hydrogéologique et géologique de la vallée du fleuve Sénégal. *Thèse es Sciences*, Université. Avignon (France). 263 p.
- LAUGA R. (1990)**- Pratique du forage d'eau et utilisation des crépines en génie civil et forages profonds. *Edition Masson*, Paris, 200 p.
- LECRACHE J P. (1980)**- Les Mauritanides face au craton ouest -africain. Structure d'un secteur-clef : la région d'Ijibiten (est d'Akjoujt, République Islamique de Mauritanie). *Thèse es Science*, Université- Aix-Marseille III, et Travaux à Laboratoire de Science de la Terre, Université de Science et Technique Jérôme Marseille B, 26 (1985), 446 p.
- LECROCHE J P; DALLMEYER R D. AND VILLENEUVE M. (1989)**- Definition of tectonostratigraphic terranes in the Mauritanides, Bassaride and Rokelide orogens, West Africa *Geology Soc. of Amer. Spec. Paper* 230, 131-144 p
- LE PRIOL J. et DIENG B. (1985)**- Etude hydrogéologique structurale par photo interprétation, géométrie et limites des aquifères souterrains. *Rapport de synthèse*, Dir. Ministère de l'Hydraulique 01/85/MH/DEH, 77p.
- MICHEL P. (1956)**-Etude sur la morphologie de la vallée du Gorgol et de ses bordures *Archive. MAS* 67 p ; 21 fig. ; 5 tableaux.
- OULD JIDDOU E. (1994)**- Les ressources en eau de la Mauritanie, (in Colloque international Eau et environnement en Mauritanie). *Edition DHA*, 307 p.
- O.M.S. (1993)**- Directives de qualité pour l'eau de Boisson. Volume 1 - recommandations 2ème *Edition Genève*, 85 p.
- PLUMMER L N, JONES B F, TRUESDELL A H. (1976)**- WATEQ A FORTRAN IV version of WATEQF, a computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. *US Geological Survey Water Resources Investigations*.76 (13) pp. 46-49
- RAJAGOPAL; GRAHAM T. (1989)**- Expert opinion and groundwater quality protection. The case of nitrate drinking waters *Groundwater*, 27 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 DEA*, Département de Géologie, UCAD, Dakar, Sénégal, 65 p.
- TARDAT-HEVRY M. (1984)**- Chimie des eaux *Edition le Griffon d'argile CANADA*, 340 p.

THIANDOUM M. (1994)- Caractérisation piézométrique et hydrochimique de la nappe superficielle dans la zone Nianga - Podor (moyenne vallée du fleuve Sénégal). Influence de la culture irriguée. *Mémoire DEA*, Département de Géologie/ORSTOM. UCAD, Dakar, Sénégal, 71 p.

TRUESDEL A.H, et JONES B F (1974)-WATEQ a computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. *Journal Research USGS II 2*, pp. 233-239.

TABLE DES MATIERES

DEDICACES
AVANT-PROPOS
RESUME

INTRODUCTION GENERALE	1
Première partie : PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE DU GORGOL - GUIDIMAKHA.....	2
1. MILIEU PHYSIQUE.....	2
1.1 Description géographique.....	2
1.2. Climatologie	2
1.2.1. Mécanismes généraux du climat	2
1.2.2. Analyse des différents paramètres climatiques	4
1.2.2.1. Températures.....	4
1.2.2.2. Humidité relative.....	4
1.2.2.3. Evaporation	5
1.2.2.3. Vents	6
1.2.2.5. Pluies.....	6
1.3. Géomorphologie et hydrographie	9
2. CADRE GEOLOGIQUE.....	11
2.1. Aperçu géologique de la Mauritanie.....	11
2.2. Géologie de la zone d'étude.....	14
2.2.1. Chaîne des Mauritanides	14
2.2.2. Bassin sédimentaire du sud-ouest	15
2.2.2.1. Maastrichien	17
2.2.2.2. Eocène.....	17
a)- Eocène inférieur (Yprésien).....	17
b)- Eocène moyen (Lutétien)	17
c)- Eocène supérieur.....	18
2.2.2.3. Continental Terminal.....	18
2.2.2.4. Quaternaire.....	18
2.3. Tectonique du secteur d'étude	19
3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE GENERALE	19

4. CONCLUSION.....	20
Deuxième partie : CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES ET HYDROCHIMIQUES DES AQUIFERES EXPLOITES DANS LA ZONE DU GORGOL – GUIDIMAKHA	23
1. Hydrogéologie de la zone d'étude	23
1.1. Aquifères dits continus ou généralisés.....	23
1.1.1. Les nappes alluviales.....	23
1.1.2. La nappe de recouvrement sableux (ou des formations dunaires)	26
1.1.3. La nappe des formations gréseuses.....	27
1.2. Aquifères discontinus	28
2. ESSAIS DE POMPAGE	30
2.1. Reconstitution des formations géologiques traversées par les forages.....	30
2.2. Essais de débit par paliers simples.....	33
2.2.1. Par la méthode classique de Jacob.....	33
2.2.1.1. Courbe caractéristique [s=f (Q)]	33
2.2.1.2. Evaluation des pertes de charges	36
2.2.1.3. Débit d'exploitation maximum des ouvrages.....	39
2.2.2. Par la méthode d'essai normalisé	40
2.2.2.1. Courbe caractéristique [s=f (Q)]	40
2.2.2.2. Débit d'exploitation maximum des ouvrages.....	40
2.3. Essais de nappe	46
3. HYDROCHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES.....	50
3.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux.....	50
3.1.1. Conductivité électrique et minéralisation totale.....	51
3.1.2. Températures.....	51
3.1.3. pH.....	51
3.1.4. Typologie des eaux	52
3.2. Etude de l'agressivité des eaux souterraines.....	53
3.2.1. Equilibre calco-carbonique	53

3.2.2. Détermination du pH d'équilibre ou pH de saturation	54
3.2.3. Calcul des indices de saturation des phases minérales	58
3.3. Qualité des eaux souterraines.....	59
3.3.1. Potabilité des eaux souterraines.....	59
3.3.2. Aptitude à l'irrigation des eaux souterraines	60
4. CONCLUSION.....	62
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	66

ANNEXES

Annexe1 : Résultats des essais de pompage

Annexe2 : Résultats des analyses chimiques des eaux souterraines

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (BURGEAP-HYDROCONEIL-TENMIYA, 2006)	3
Figure 2 : Variations mensuelles de la température aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006).....	4
Figure 3 : Variation mensuelle de l'humidité relative aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006).....	5
Figure 4 : Evolution des moyennes mensuelles de l'évaporation aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006)	5
Figure 5 : Variation mensuelle des vitesses de vents aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006).....	6
Figure 6 : Pluviométrie moyenne mensuelle aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006)	7
Figure 7 : Isohyètes pour les périodes 1935 – 1969 et 1970 – 2004 (Burgeap, 2006) (1983 à 2006)	8
Figure 8 : Variations interannuelles des précipitations aux stations de Kaédi et de Sélibaby (1983 à 2006).....	9
Figure9 : Relief et hydrographie du Sud Est Mauritanien (BRGM, 1987)	10
Figure10 : les grands ensembles géologiques de la Mauritanie (documents internes, MMI, 2006)	12
Figure11 : Carte géologiques de la Mauritanie et coupes géologiques selon deux Segments AB et CD indiqués sur la carte au-dessus (Carité, 1989)	13
Figure12 : Esquisse géologique de la zone du Gorgol - Guidimakha (BURGEAP, 1983).....	16
Figure13 : Carte des ressources en eau de la Mauritanie (CNRE, MHE, 2003)	20
Figure 14 : Carte géologique et hydrogéologique du sud mauritanien (BRGM, 1987) ...	24

Figure 15 : Coupes lithologiques des forages d’Ajar Soninké F2, de Tachott et d’Agoynit.....	31
Figure 16 : Coupes lithologiques des forages de Diowol et de Ndjiadjibine	32
Figure 17 : Courbes caractéristiques des forages (rabattement en fonction du débit : [s = f(Q)]	35
Figure 18 : Courbes caractéristiques des forages Agoynit et Ndjiadjibine à 8 mois d’exploitation	41
Figure 19 : Courbes caractéristiques des forages Ajar Soninké (F1) et (F2) à 8 mois d’exploitation	42
Figure 20 : Courbe caractéristiques des forages Tachott et Diowol à 8 mois d’exploitation	43
Figure 21 : Courbe caractéristique du forage de Toufoundé Civé à 8 mois d’exploitation	44
Figure 22 : Détermination de la transmissivité par la méthode semi-logarithmique de Jacob.....	47
Figure 23 : Détermination de la transmissivité par la méthode semi-logarithmique de Jacob.....	48
Figure 24 : Détermination de la transmissivité par la méthode semi-logarithmique de Jacob.....	49
Figure 25 : Diagramme de Piper pour les eaux souterraines dans la zone du Gorgol - Guidimakha (campagne 2006)	52
Figure 26 : Détermination des pH d’équilibre des eaux souterraines dans la zone du Gorgol-Guidimakha (Données 2006).....	55
Figure 27 : Détermination des pH d’équilibre des eaux souterraines dans la zone du Gorgol-Guidimakha (Données 2006).....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Essais de puits par paliers de débits de courtes durées dans les forages	34
Tableau 2 : Récapitulation des essais par palier des forages	38
Tableau 3 : Récapitulation des essais puits pour les différents forages	40
Tableau 4 : Résultats du développement des forages.....	45
Tableau 5 : valeurs de transmissivité obtenues avec la méthode semi-logarithmique.....	46
Tableau 6 : Valeurs des paramètres physiques et des indices de saturation des eaux souterraines dans la zone du Gorgol – Guidimakha.....	57
Tableau 7 : Normes de potabilité de l’O.M.S. (1993) et paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans la zone du Gorgol – Guidimakha	59
Tableau 8 : Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité électrique et de S.A.R.....	61
Tableau 9 : Interprétation des classes correspondantes aux couples risques salins-risques alcalins des eaux souterraines dans la zone de Gorgol – Guidimakha	62

ANNEXE 1

1. RAPPELS SUR LES POMPAGES D'ESSAI

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

Le but de ces essais de pompages est d'estimer la productivité des ouvrages hydrauliques (puits villageois, forages et piézomètres), de vérifier la qualité chimique de l'eau ainsi que les paramètres hydrodynamiques des aquifères. Les résultats de ces essais seront décisifs dans la prise de décision de l'équipement des ouvrages d'exploitation.

Pour cela, on exécutera des essais de puits par paliers et des essais de longue durée (essai de nappe).

1.1. Essais de puits

Ces essais sont exécutés pour obtenir des renseignements sur les caractéristiques de l'ouvrage. On pourrait 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 la fin de chaque palier, on note le débit (Q) et le rabattement mesuré. Annexe 1.

1.2. 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 de 42 heures. Les rabattements sont mesurés aussi bien pendant la descente que la remontée (annexe 1).

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 zone du Gorgol - Guidimakha, il est parfois difficile d'exécuter un pompage de longue durée sur certains forages.

1.3. Phase de prise de mesures

1.3.1. Méthodes utilisées

1.3.1.1. Outils de pompage

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

- une pompe de 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 électrique 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 niveaux d'eau dans les forages ;
- un électropompe immergée de type SP 46 de puissance $65 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;
- un GPS pour positionner les différents forages hydrauliques ayant fait l'objet des essais de pompage.

1.3.1.2. Méthode de l'essai normalisé

Cette méthode est applicable à tous les forages d'hydraulique villageoise, qu'ils exploitent les formations du socle ou les formations sédimentaires. Elle comporte un véritable pompage d'essai, bref (5 heures), mais standardisé (Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques "C.I.E.H, 1988").

a)- Principes de la méthode d'essai normalisé

L'essai comporte (Fig. 16) :

- 1^{er} palier de pompage de 2 heures (**Q1**)
- 2^e palier enchaîné de 1 heure (**Q2 > Q1**)
- 3^e palier enchaîné de 1 heure également (**Q3 > Q2**)

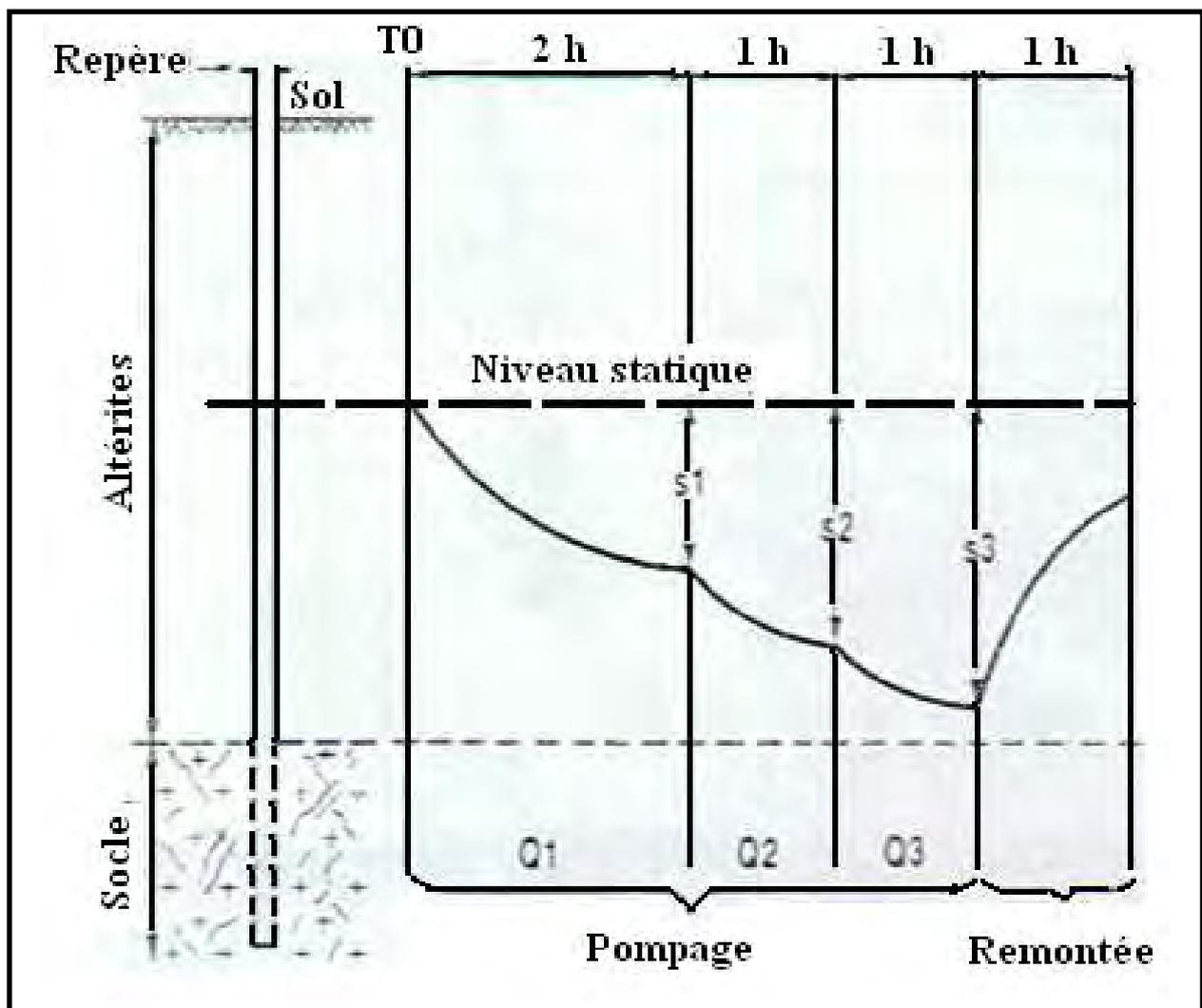


Figure 16 : Principes de la méthode d'essai normalisé (C.I.E.H., 1988)

b)- Principes de l'interprétation : méthode semi-logarithmique de Jacob avec prise en compte des pertes de charge

- Le rabattement spécifique (s/Q) du premier palier est reporté en fonction du temps sur papier semi-logarithmique ; on calcule la pente de cette droite entre **10** et **100** minutes, puis l'inscrire sur le graphique.

- On détermine par des considérations hydrogéologiques, le niveau le plus bas à ne pas dénoyer, même au plus fort de la saison sèche ; on adoptera par exemple la première venue d'eau importante, le sommet des crépines, ou la base des altérites. Cette profondeur est notée **NDMax** ;

- sur fiche A : calculer s et s/Q , sauf pour la remontée.
- sur fiche B : remplir la partie 1 à partir de la fiche A ; en partie 2 fixer le niveau dynamique maximum ND_{Max} et en partie 3 porter s_1 , s_2 , s_3 , Q_1 , Q_2 , Q_3 .

- Par construction graphique on obtient le rabattement spécifique (s/Q) à 8 mois (s/Q_{8m}), dont on déduit le rabattement (s_{8m}) après 8 mois d'exploitation à un rythme de 12 heures de pompage par jour. Cette période de 8 mois représente la durée habituelle de la saison sèche en région sahélo soudanaise (l'application de cette méthode aux régions à 2 saisons sèches conduit à des résultats pessimistes et va donc dans le sens de sécurité).

- La somme du rabattement à 8 mois (s_{8m}) et du niveau statique d'étiage NSE ($NSE = NS + \Delta NS$) estimé par ailleurs doit être inférieure à ND_{Max} . Dans le cas contraire, il faut réduire le débit ou la durée journalière de pompage.

- Les rabattements s_2 , s_3 à la fin des deux dernier paliers sont corrigés s_2^* , s_3^* pour une durée de 2 heures. On calcule les rabattements spécifiques s_1/Q_1 , s_2^*/Q_2 , s_3^*/Q_3 et l'on trace la droite caractéristique à 2 heures [$s/Q = f(Q)$].

$$s_2^* = s_2 + d (0,3.Q_2 - 0,48.Q_1)$$

$$s_3^* = s_3 + 0,3.d (Q_3 - Q_2 - Q_1)$$

La droite caractéristique [$s/Q=f(Q)$] à 8 mois est la parallèle à la caractéristique à 2 heures, passant par le point (s/Q_{8m}), d'équation $A.Q^2 + B.Q - s = 0$. Cette droite permet d'apprécier graphiquement :

- le rabattement en fin de saison sèche pour tout débit d'exploitation Q envisagé .la droite caractéristique à 8 mois fournit pour tout débit Q , prélevé 12 heures par jour, le rabattement spécifique s/Q qui sera atteint après 8 mois d'exploitation ; on en déduit le rabattement s à 8 mois en multipliant s/Q par Q .
- le débit d'exploitation pour tout rabattement est fixé à l'avance ;
- l'ordre de grandeur du débit maximum admissible.

1.3.1.3. Conduite de l'essai de pompage (Fiche A)

a)- Avant l'essai

- Remplir avec soin les parties 1 à 3 de la fiche A ; choisir un repère précise pour les mesures, en général le sommet du tube, puis mesures sa hauteur au dessus du sol et la noter en partie 3.
- Déterminer le nombre et les débits des paliers selon le débit obtenu lors du développement. Si le forage a donné :

- moins de $1 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$: on réalisera un seul palier de 4 heures à un débit voisin de $0,7 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$;
- entre 1 et $2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$: 2 paliers de 2 heures chacun, aux débits $Q1 = 0,7$ à $1 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, $Q2 = 1,5$ à $2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$;
- $3 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ ou plus : 3 paliers, $Q1$ (2 heures) = $0,7$ à $1 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, $Q2$ (1 heure) = $1,5$ à $2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, $Q3$ (1 heure) à 70 % du débit maximum obtenu au développement.

b)- Pendant l'essai

- Mesurer le niveau d'eau selon la périodicité du tableau 4 fiche A ; le débit sera ajusté pendant les 3 premières minutes et contrôlé ensuite 1 à 2 minutes avant chaque mesure.
- Les paliers sont enchaînés à l'heure précise prévue, par ouverture contrôlée de la vanne, avec réglage durant les 3 premières minutes après chaque changement de débit.
- La remontée du niveau de la nappe sera suivie pendant une heure après l'arrêt du pompage.

Fiche A				ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE					Forage N° 262BU1						
TABLEAU DE MESURES				POUR FORAGES VILLAGEOIS					village: Agoynit						
1 CARACTERISTIQUES DU FORAGE				MESURES PENDANT L'ESSAI					Région	Guidimakha					
Profondeur forée				DATE	10/11/2006	Operateur :			Hydroconseil RIM						
Profondeur mesurée				DESCENTE							Pompage de : 08 heures 00 minutes à 12heures 00 minutes				
Profondeur socle sain				Heure	t (mn)	Niveau eau (m)	Rabtt.s (m)	DEBITS Q		s/Q m/m3/h	Observations (Manœuvres, eau claire/trouble, tache sable, etc)				
Profondeur venue d'eau :								Temps (s)	m3/h						
à	-	m	-	m³/h	16h 00	0	18,98								
	-	m	-	m³/h		3	21,26	2,28	0	0,00	0,00	1 ^{er} palier			
	-	m	-	m³/h		5	21,09	2,11	0	0,00	0,00				
Profondeur sommet crépine						10	21,03	2,05	75,97	0,95	2,16				
Diamètre crépine						15	21,02	2,04	76,71	0,94	2,17				
Débit fin forage						20	21,03	2,05	76,4	0,94	2,18	Eau claire			
						16h 30	30	21,02	2,04	76,4	0,94	2,16			
DEVELOPPEMENT DU FORAGE						40	21,02	2,04	76,21	0,94	2,16				
NS avant développement :						17h 00	60	20,91	1,93	76,48	0,94	2,05			
						80	20,25	1,27	115,05	0,63	2,03				
Date						10/11/2006	18h 00	120	21,28	2,30	69,62	1,03	2,22		
Durée: Air lift						-	h	125	24,65	5,67	32,12	2,24	2,53	2 ^{ème} palier	
Pompe						1	h	130	25,13	6,15	31,14	2,31	2,66		
Débit Air lift						-	m³/h	140	25,23	6,25	31,56	2,28	2,74	Eau claire	
Pompe						4,6	m³/h	150	25,3	6,32	31,88	2,26	2,80		
Turbidité après:						30'	trouble ROUGE FER	160	25,29	6,31	30,49	2,36	2,67		
						1 h	Eau claire	19h 00	180	25,3	6,32	31,47	2,29	2,76	
						2 h	Eau claire		190	29,57	10,59	21,15	3,40	3,11	3 ^{ème} palier
									200	29,79	10,81	20,88	3,45	3,13	
NS après Dévelop						6	m/sol		210	29,9	10,92	20,97	3,43	3,18	
DONNEES D'ESSAI									200	29,98	11,00	20,89	3,45	3,19	Eau claire
Repère: Nature : Tube PVC									230	29,98	11,00	21,44	3,36	3,28	
Haut/sol:						1,03	m/sol	20h 00	240	29,98	11,00	21	3,43	3,21	
NS avant essai						18,98	m/rep	REMONTEE de 12 heures 00 minutes à 13 heures 00 minutes							
prof avant essai						49	m/rep	t (mn)	Niveau eau						Observation
prof après essai						49	m/rep	20h 05	5	19,57					
mesure de débit par :								10	19,23						
Tube Pivot ø								20	19,14						
bac jaugé						20	litres	30	19,11					Température eau	35,1
Type de Pompe								40	19,1						
Prof cépine :						43,97	m/sol		50	19,07				Conductivité: 630 µS/cm	
Air lift double tube						2" 1/2	m/rep	21h00	60	19,07					
						3/4"	m/rep								

Fiche A				ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE					Forage r1		
TABLEAU DE MESURES				POUR FORAGES VILLAGEOIS					village: Ajar Soninkés		
CARACTERISTIQUES DU FORAGE				MESURES PENDANT L'ESSAI					Région Guidimakha		
1				DATE	21/11/2006		Operateur :		Hydroconseil RIM		
Profondeur forée				-		m/sol		DESCENTE			
Profondeur mesurée				35,67		m/sol		Pompage de : 08 heures 00 minutes à 12heures 00 minutes			
Profondeur socle sain				-		m/sol					
Profondeur venue d'eau :											
à				-		m		-		m ³ /h	
				-		m		-		m ³ /h	
				-		m		-		m ³ /h	
Profondeur sommet crépine				-		m/sol					
Diamètre crépine				127		mm					
Débit fin forage				-		m ³ /h					
				11 h 00		0		5,87			
						3		8,65		2,78	
						5		9,35		3,48	
						10		9,98		4,11	
						15		10,13		4,26	
						20		10,11		4,24	
				11 h 30		30		9,9		4,03	
						40		9,88		4,01	
DEVELOPPEMENT DU FORAGE				12h 00		60		9,88		4,01	
NS avant développement :						80		9,87		4,00	
						100		9,87		4,00	
						4,59		m/sol			
Date				21/11/2006		13 h 00		120		9,85	
Durée: Air lift				-		h		125		13,4	
Pompe				1		h		130		14,73	
Débit Air lift				-		m ³ /h		140		15,35	
Pompe				3		m ³ /h		150		15,49	
Turbidité après:				30'		trouble rouge de fer		160		15,48	
				1 h		eau claire		14h 00		180	
				2 h		eau claire		190		20,8	
								200		22,14	
NS après Dévelop				4,83		m/sol		210		22,41	
DONNEES D'ESSAI						200		22,48		16,61	
Repère: Nature : Tube PVC						230		22,51		16,64	
Haut/sol:				1,03		m/sol		15 h00		240	
NS avant essai				5,87		m/rep		REMONTÉE			de 12 heures 00 minutes à 13 heures 00 minutes
prof avant essai				35,67		m/rep		t (mn)		Niveau eau	
prof après essai				35,67		m/rep		15 h 05		5	
mesure de débit par :								10		6,34	
Tube Pivot ø								20		5,91	
bac jaugé				20		litres		30		5,86	
Type de Pompe								40		5,87	
Prof cépine :				28,97		m/sol		50		5,85	
Air lift double tube				2" 1/2		-		16 h 00		60	
				3/4"		-		m/rep			
										Observation	
										Température eau 33,1°C	
										Conductivité:808 µs/cm	

Fiche A				ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE					Forage F2			
TABLEAU DE MESURES				POUR FORAGES VILLAGEOIS					village: Ajar Soninkés			
1 CARACTERISTIQUES DU FORAGE				MESURES PENDANT L'ESSAI					Région Guidimakha			
Profondeur forée : - m/sol				DATE	19/11/2006	Operateur :			Hydroconseil RIM			
Profondeur mesurée : 53,11 m/sol				DESCENTE							Pompage de : 08 heures 00 minutes à 12heures 00 minutes	
Profondeur socle sain : - m/sol				Heure	t (mn)	Niveau eau (m)	Rabtt.s (m)	DEBITS Q		s/Q m/m3/h	Observations (Manœuvres, eau claire/trouble, tache sable, etc)	
Profondeur venue d'eau :								Temps (s)	m3/h			
à - m - m³/h				08h 00	0	5,55						
- m - m³/h					3	5,8	0,25	64,58	1,11	0,22	1 ^{er} palier	
- m - m³/h					5	5,8	0,25	65,15	1,11	0,23		
Profondeur sommet crépine : - m/sol					10	5,8	0,25	65,33	1,10	0,23		
Diamètre crépine : 152 mm					15	5,79	0,24	65,48	1,10	0,22		
Débit fin forage : - m³/h					20	5,8	0,25	64,94	1,11	0,23	Eau claire	
				08 h30	30	5,8	0,25	69,07	1,04	0,24		
DEVELOPPEMENT DU FORAGE					40	5,8	0,25	69,4	1,04	0,24		
NS avant développement :				09h 00	60	5,8	0,25	69,88	1,03	0,24		
					80	5,85	0,30	69,57	1,03	0,29		
5,06 m/sol					100	5,84	0,29	69,12	1,04	0,28		
Date : 18/11/2006				10h 00	120	5,85	0,30	69,44	1,04	0,29		
Durée: Air lift : - h					125	6,92	1,37	56,93	3,35	0,41	2 ^{ème} palier	
Pompe : 1 h					130	7,4	1,85	42,84	4,45	0,42		
Débit Air lift : - m³/h					140	7,52	1,97	42,66	4,47	0,44	Eau claire	
Pompe : 13 m³/h					150	7,63	2,08	42,41	4,50	0,46		
Turbidité après: 30' eau claire					160	7,67	2,12	42,43	4,50	0,47		
1 h eau claire				11h 00	180	7,78	2,23	42,39	4,50	0,50		
2 h eau claire					190	10,12	4,57	23,65	8,07	0,57	3 ^{ème} palier	
					200	10,3	4,75	23,69	8,05	0,59		
NS après Dévelop : 5,16 m/sol					210	10,39	4,84	23,37	8,16	0,59		
DONNEES D'ESSAI					200	10,51	4,96	23,7	8,05	0,62	Eau claire	
Repère: Nature : Tube PVC					230	10,64	5,09	23,23	8,21	0,62		
Haut/sol: 0,49 m/sol				12h00	240	10,66	5,11	24,25	7,87	0,65		
NS avant essai : 5,55 m/rep				REMONTEE de 12 heures 00 minutes à 13 heures 00 minutes								
prof avant essai : 53,6 m/rep					t (mn)	Niveau eau					Observation	
prof après essai : 53,6 m/rep				12h05	5	6,81						
mesure de débit par :					10	6,52						
Tube Pivot ø					20	6,21						
bac jaugé 20 et 53 litres					30	6,05					Température eau :34,6°C	
Type de Pompe					40	5,99						
Prof cépine : 45 m/sol					50	5,9					Conductivité:285 µs /cm	
Air lift double tube 2" 1/2 3/4" - m/rep				13h00	60	5,85						

Fiche A				ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE					Forage N° F-2 SE-15B							
TABLEAU DE MESURES				POUR FORAGES VILLAGEOIS					village: Tachott							
1	CARACTERISTIQUES DU FORAGE			MESURES PENDANT L'ESSAI					Région	Guidimakha						
	Profondeur forée	-	m/sol	DATE	14/11/2006	Operateur :	Hydroconseil RIM									
	Profondeur mesurée	43,7	m/sol	DESCENTE Pompage de : 08 heures 21 minutes à 12heures 21 minutes												
	Profondeur socle sain	-	m/sol	Heure	t (mn)	Niveau eau (m)	Rabtt.s (m)	DEBITS Q		s/Q m/m3h	Observations (Manœuvres, eau claire/trouble, tache sable, etc					
	Profondeur venue d'eau :							Temps (s)	m3h							
	à	-	m	-	m³/h	8h 21	0	4,8								
		-	m	-	m³/h		3	7,6	2,80	108,52	0,66	4,22	1 ^{er} palier			
		-	m	-	m³/h		5	7,69	2,89	87,73	0,82	3,52				
	Profondeur sommet crépine	-	m/sol				10	8,61	3,81	90,25	0,80	4,78				
	Diamètre crépine	152	mm				15	8,96	4,16	93,12	0,77	5,38				
	Débit fin forage	-	m³/h				20	9,26	4,46	92,84	0,78	5,75	Eau claire			
							8h 51	30	9,5	93,8	0,77	6,12				
	DEVELOPPEMENT DU FORAGE						40	9,7	4,90	94,29	0,76	6,42				
	NS avant développement :						9h 21	60	9,88	5,08	95,62	0,75	6,75			
			3,7	m/sol				80	10,06	5,26	95,38	0,75	6,97			
	Date	13/11/2006						100	10,18	5,38	94,06	0,77	7,03			
	Durée:	Air lift	-	h				10h 21	120	10,23	5,43	96,06	0,75	7,24		
		Pompe	1	h					125	10,8	6,00	53,9	1,34	4,49	2 ^{er} palier	
	Débit	Air lift	-	m³/h					130	12,74	7,94	54,6	1,32	6,02		
		Pompe	2,43	m³/h					140	14,24	9,44	56,76	1,27	7,44	Eau claire	
	Turbidité après:	30'	Eau claire						150	14,86	10,06	56,95	1,26	7,96		
		1 h	Eau claire						160	15,11	10,31	56,71	1,27	8,12		
		2 h	Eau claire						11h 21	180	15,46	10,66	55,28	1,30	8,18	
									190	19,01	14,21	38,42	1,87	7,58	3 ^{er} palier	
									200	20,75	15,95	39,41	1,83	8,73		
	NS après Dévelop	3,7	m/sol						210	21,56	16,76	39,46	1,82	9,19		
	DONNEES D'ESSAI								200	22,12	17,32	39,92	1,80	9,60	Eau claire	
	Repère: Nature :	Tube PVC							230	22,56	17,76	39,92	1,80	9,85		
	Haut/sol:	1,1	m/sol						12h 21	240	22,71	17,91	40,4	1,78	10,05	
	NS avant essai	4,8	m/rep	REMONTÉE de 12 heures 21 minutes à 13 heures 21 minutes												
	prof avant essai	44,8	m/rep		t (mn)	Niveau eau								Observation		
	prof après essai	44,8	m/rep	12h26	5	16,91										
	mesure de débit par :															
	Tube Pivot ø					10	12,34									
	bac jaugé	20	litres			20	8,49									
	Type de Pompe					30	7,21							Température eau 33,1°C		
						40	6,76									
	Prof cépine :	38,9	m/sol			50	6,46							Conductivité: 703 µs/cm		
	Air lift double tube	2" 1/2	-	m/rep	13h21	60	6,21									
		3/4"	-	m/rep												

Fiche A				ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE					Forage N° 1 (F1)				
TABLEAU DE MESURES				POUR FORAGES VILLAGEOIS					village: DIOWOL				
1	CARACTERISTIQUES DU FORAGE			MESURES PENDANT L'ESSAI					Région	Gorgol			
	Profondeur forée	80	m/sol	DATE	28/11/2006	Operateur :	Hydroconseil RIM						
	Profondeur mesurée	79	m/sol	DESCENTE						Pompage de : 08 heures 00 minutes à 12heures 00 minutes			
	Profondeur socle sain	-	m/sol	Heure	t (mn)	Niveau eau (m)	Rabtt.s (m)	DEBITS Q		s/Q m/m3h	Observations (Manœuvres, eau claire/trouble, tache sable, etc)		
	Profondeur venue d'eau :							Temps (s)	m3/h				
	à	-	m	-	m ³ /h	11h 45	0	17,48					
	-	-	m	-	m ³ /h		3	17,98	0,50	0	0,00	0,00	1 ^{er} palier
	-	-	m	-	m ³ /h		5	17,89	0,41	0	0,00	0,00	
	Profondeur sommet crépine			-	m/sol		10	17,86	0,38	0	0,00	0,00	
	Diamètre crépine			152	mm		15	17,86	0,38	0	0,00	0,00	
	Débit fin forage			40	m ³ /h		20	17,86	0,38	0	0,00	0,00	Eau claire
						12h 15	30	17,86	0,38	32,97	5,79	0,07	
	DEVELOPPEMENT DU FORAGE						40	17,86	0,38	32,94	5,79	0,07	
	NS avant développement :					12h 45	60	17,86	0,38	32,81	5,82	0,07	
							80	17,85	0,37	33,03	5,78	0,06	
			15,96	m/sol			100	17,85	0,37	32,4	5,89	0,06	
	Date	28/11/2006				13h 45	120	17,85	0,37	33,32	5,73	0,06	
	Durée:	Air lift	-	h			125	18,1	0,62	18,5	10,31	0,06	2 ^{er} palier
		Pompe	2	h			130	18,11	0,63	18,16	10,51	0,06	
	Débit	Air lift	-	m ³ /h			140	18,12	0,64	18,19	10,49	0,06	Eau claire
		Pompe	18	m ³ /h			150	18,11	0,63	18,09	10,55	0,06	
	Turbidité après:	30'	sableuse				160	18,11	0,63	18,41	10,36	0,06	
		1 h	Présence du sable	14h 45	180	18,11	0,63	18,53	10,30	0,06			
		2 h	Présence du sable		190	18,6	1,12	10,03	19,02	0,06			3 ^{er} palier
							200	18,6	1,12	10,22	18,67	0,06	
	NS après Dévelop	15,97	m/sol				210	18,61	1,13	10,25	18,61	0,06	
	DONNEES D'ESSAI						200	18,61	1,13	9,81	19,45	0,06	Eau claire
	Repère: Nature :	Tube PVC					230	18,58	1,10	10,01	19,06	0,06	
	Haut/sol:	1,5	m/sol	15h 45	240	18,61	1,13	10,25	18,61	0,06			
	NS avant essai	17,46	m/rep	REMONTÉE de 12 heures 00 minutes à 13 heures 00 minutes									
	prof avant essai	79	m/rep		t (mn)	Niveau eau						Observation	
	prof après essai	79,2	m/rep	15h 50	5	18,61							
	mesure de débit par :				10	17,5							
	Tube Pivot ø				20	17,48							
	bac jaugé	53	litres		30	17,47						Température eau 33,1°C	
	Type de Pompe				40	17,47							
	Prof cépine :	43,5	m/sol		50	17,47						Conductivité: 107,3 µs/cm	
	Air lift double tube	2" 1/2	m/rep	16h 45	60	17,47							
		3/4"	m/rep										

Fiche A				ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE					Forage N° 1 (F1)		
TABLEAU DE MESURES				POUR FORAGES VILLAGEOIS					village: Ndjadjibine		
1	CARACTERISTIQUES DU FORAGE			MESURES PENDANT L'ESSAI					Région	Gorgol	
Profondeur forée	-	m	m/sol	DATE	09/11/2006	Operateur :	Hydroconseil RIM				
Profondeur mesurée	64,56	m	m/sol	DESCENTE						Pompage de : 08 heures 00 minutes à 12heures 00 minutes	
Profondeur socle sain	-	m	m/sol	Heure	t (mn)	Niveau eau (m)	Rabtt.s (m)	DEBITS Q		s/Q m/m3/h	Observations (Manœuvres, eau claire/trouble, tache sable, etc)
Profondeur venue d'eau :			Femps (s)					m3/h			
à	-	m	m³/h	7h 15	0	12,29					
	-	m	m³/h		3	15,01	2,72	29,9	2,41	1,13	1 ^{er} palier
	-	m	m³/h		5	14,82	2,53	60,57	1,19	2,13	
Profondeur sommet crépine	-	m	m/sol		10	14,91	2,62	62,47	1,15	2,27	
Diamètre crépine	140	mm			15	15,07	2,78	62,57	1,15	2,42	
Débit fin forage	-	m³/h			20	15,25	2,96	72	1,00	2,96	Eau claire
				7h 45	30	15,4	3,11	61,67	1,17	2,66	
DEVELOPPEMENT DU FORAGE					40	15,58	3,29	61,23	1,18	2,80	
NS avant développement :				8h 15	60	15,81	3,52	60,94	1,18	2,98	
			m/sol		80	16,01	3,72	61,24	1,18	3,16	
		11,01	m/sol		100	16,03	3,74	63,36	1,14	3,29	
Date	09/11/2006			9h 15	120	16,12	3,83	63,3	1,14	3,37	
Durée:	Air lift	-	h		125	17,21	4,92	41,41	1,74	2,83	2 ^{ème} palier
	Pompe	1	h		130	17,63	5,34	41,53	1,73	3,08	
Débit	Air lift	-	m³/h		140	17,86	5,57	42,25	1,70	3,27	Eau claire
	Pompe	3,5	m³/h		150	17,98	5,69	42,53	1,69	3,36	
Turbidité après:	30'	eau claire			160	18,06	5,77	42,86	1,68	3,43	
	1 h	eau claire		10h 15	180	18,22	5,93	42,21	1,71	3,48	
	2 h	eau claire			190	21,26	8,97	25,55	2,82	3,18	3 ^{ème} palier
					200	22,26	9,97	25,51	2,82	3,53	
NS après Dévelop	25,98	m/sol			210	22,57	10,28	26,02	2,77	3,72	
DONNEES D'ESSAI					200	22,83	10,54	26,18	2,75	3,83	Eau claire
Repère: Nature :	Tube PVC				230	22,95	10,66	26,36	2,73	3,90	
	Haut/sol:	0,74	m/sol	11h 15	240	23,03	10,74	26,04	2,76	3,88	
NS avant essai	12,29	m/rep		REMONTEE de 12 heures 00 minutes à 13 heures 00 minutes							
prof avant essai	65,3	m/rep		t (mn)	Niveau eau						Observation
prof après essai	65,3	m/rep	12h05	5	16,49						
mesure de débit par :					10	15,41					
	Tube Pivot ø				20	14,5					
	bac jaugé	20	litres		30	14,05					Température eau 33,1°C
Type de Pompe					40	13,75					
	Prof cépine :	50	m/sol		50	13,52					Conductivité: 703 µs/cm
Air lift double tube	2" 1/2	-	m/rep	13h00	60	13,36					
	3/4"	-	m/rep								

Fiche A				ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE						Forage N° 1 (F1)		
TABLEAU DE MESURES				POUR FORAGES VILLAGEOIS						village: Toufoundé Civé		
1 CARACTERISTIQUES DU FORAGE				MESURES PENDANT L'ESSAI						Région Gorgol		
Profondeur forée		-	m/sol	DATE	03/12/2006		Operateur :		Hydroconseil RIM			
Profondeur mesurée		54,23	m/sol	DESCENTE Pompage de : 7 heures 05 minutes à 11 heures 05 minutes								
Profondeur socle sain		-	m/sol	Heure	t (mn)	Niveau eau (m)	Rabtt.s (m)	DEBITS Q		s/Q m/m3/h	Observations (Manœuvres, eau claire/trouble, tache sable, etc)	
Profondeur venue d'eau :								Temps (s)	m3/h			
à	-	m	-	m ³ /h	07h 05	0	7,8					
	-	m	-	m ³ /h		3	8,02	0,22	46,06	4,14	0,05	1 ^{er} palier
	-	m	-	m ³ /h		5	8,01	0,21	45,38	4,20	0,05	
Profondeur sommet crépine		-	m/sol			10	8,01	0,21	45,64	4,18	0,05	
Diamètre crépine		152	mm			15	8,02	0,22	46,16	4,13	0,05	
Débit fin forage		-	m ³ /h			20	8,02	0,22	45,49	4,19	0,05	Eau claire
					07h 35	30	8,02	0,22	45,66	4,18	0,05	
DEVELOPPEMENT DU FORAGE						40	8,02	0,22	46,06	4,14	0,05	
NS avant développement :					08h 05	60	8,02	0,22	45,82	4,16	0,05	
						80	8,02	0,22	45,28	4,21	0,05	
		6,92	m/sol			100	8,02	0,22	45,7	4,18	0,05	
Date		02/12/2006			09h 05	120	8,02	0,22	45,52	4,19	0,05	
Durée: Air lift		-	h			125	8,32	0,52	22,09	8,64	0,06	2 ^{ème} palier
Pompe		2	h			130	8,28	0,48	20,49	9,31	0,05	
Débit Air lift		-	m ³ /h			140	8,29	0,49	20,57	9,28	0,05	Eau claire
Pompe		18	m ³ /h			150	8,29	0,49	20,75	9,20	0,05	
Turbidité après: 30'		Eau claire				160	8,29	0,49	21,53	8,86	0,06	
1 h		Eau claire			10h 05	180	8,29	0,49	20,32	9,39	0,05	
2 h		Eau claire				190	8,74	0,94	10,97	17,39	0,05	3 ^{ème} palier
						200	8,74	0,94	10,74	17,77	0,05	
NS après Dévelop			m/sol			210	8,74	0,94	11,4	16,74	0,06	
DONNEES D'ESSAI						200	8,75	0,95	10,54	18,10	0,05	Eau claire
Repère: Nature :		Tube PVC				230	8,75	0,95	10,57	18,05	0,05	
Haut/sol:		0,87	m/sol		11h 05	240	8,75	0,95	10,74	17,77	0,05	
NS avant essai		7,79	m/rep	REMONTEE de 11 heures 05 minutes à 12 heures 05 minutes								
prof avant essai		55,1	m/rep		t (mn)	Niveau eau					Observation	
prof après essai		55,1	m/rep		12h05	5	7,85					
mesure de débit par :						10	7,83					
Tube Pilot ø						20	7,83					
bac jugé		53	litres			30	7,83				Température eau :31,5°C	
Type de Pompe						40	7,82					
Prof cépine :		34,13	m/sol			50	7,82				Conductivité:79 µs /cm	
Air lift double tube		2" 1/2	m/rep		13h00	60	7,81					
		3/4"	m/rep									

ANNEXE 2

Données des analyses 2001																				
n°	Localité	Longitudes	Altitudes	pH	T °C	Cond	TDS	TH	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	NH4+	Cl-	NO3-	NO2-	SO42-	HCO3-	Fe	Cr
1	Ajar Soninké F1	12°28' 0,1"	15°31'16,3"	7,04	34	1163		45	_	_	_	_	0,4	125	1,15	0,01	_	_	0,2	0
2	Ajar Soninké F2	12°27'46"	15°31'02,0"	7,11	32,5	368		21	_	_	_	_	0,08	350	2,3	0,01	_	_	0,2	0
3	Agoynit F	12°19'58,9"	15°34'06,0"	6,78	32,5	722		10	_	_	_	_	0,08	100	4,6	0,01	_	_	0,2	0
4	Diaguily F1	12°23'05,4"	14°50'46,1"	7,71	33	308		12,5	_	_	_	_	0,08	100	1,15	0,01	_	_	0,2	0
5	Ghabou	12°05'41,0"	14°44'32,1"	7,09	32,5	442		25	_	_	_	_	0,08	200	1,15	0,01	_	_	0,2	0
6	Mbedya Asagha F	12°05'44,5"	15°39'57,9"	6,22	34,5	388		21	_	_	_	_	0,2	75	0,46	0,02	_	_	0,2	0
7	Wouloumboni.SnF1	12°22'34,8"	15°40'07,2"	7,08	30,5	609		21	_	_	_	_	0,08	130	2,3	0,02	_	_	0,2	0
8	Wouloumboni.SnF2	12°22'23,5"	15°39'57,9"	7,04	33,5	876		38	_	_	_	_	0,08	150	0,23	0,01	_	_	0,2	0
9	Wouloumboni.MaurF1	12°17'28,9"	15°39'57,4"	7,05	32,5	466		12	_	_	_	_	0,08	150	1,15	0,01	_	_	0,2	0
10	Diowol	13°22'37,5"	16°03'57,4"	6,7	32,5	105		7,5	_	_	_	_	0,08	200	0,23	0,01	_	_	0,2	0
11	Ndjadjibine F1	12°28'50,8"	15°45'05,3"	7,37	35	735			_	_	_	_	0,08	175	1,15	0,02	_	_	0,2	0
12	Toufondé Civé F1	13°14'56,3"	15°39'32,6"	6,95	32,5	104		5	_	_	_	_	0,08	100	0,46	0,01	_	_	0,2	0

Données des analyses 2007

n°	Localité	Longitudes	Altitudes	pH	T °C	Cond	TDS	TH	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	NH4+	Cl-	NO3-	NO2-	SO42-	HCO3-	Fe	Cr
1	Ajar Soninké F1	12°28' 0,1"	15°31'16,3"	7,37	21,1	1156	745	31,6	94,58	19,44	41	2	0,18	98	198,5	0	39,97	251,32	0,07	0
2	Ajar Soninké F2	12°27'46"	15°31'02,0"	7,23	27,4	375	326	14,8	25,04	20,41	21	1	0,01	20	28,2	0	9,76	220,08	0,07	0
3	Agoynit F	12°19'58,9"	15°34'06,0"	7,42	27,3	627	553	22,4	28,86	36,94	42	2	0,25	22	21,67	0	20,74	378,2	0,1	0
4	Diaguily F1	12°23'05,4"	14°50'46,1"	7,27	27,4	315	438	15,6	35,26	16,52	15	1	0,01	10	136,5	0	1,37	222,04	0,09	0
5	Ghabou	12°05'412,0"	14°44'32,1"	7,07	27,3	672	406	24,4	38,48	35,96	37	4	0,48	46	0	0	0	244	0,07	0
6	Mbedya Asagha F	12°05'44,5"	15°39'57,9"	7,43	27,3	388	340	16,6	33,66	20,41	19	1	0	20	12,76	0	244	226,92	0,08	0
7	Wouloumboni.SnF1	12°22'34,8"	15°40'07,2"	7,81	27,1	600	493	26	30,46	44,71	27	1	0	48	14,89	0	34,16	292,8	0,08	0
8	Wouloumboni.SnF2	12°22'23,5"	15°39'57,9"	8,29	27,3	886	545	29,6	35,26	50,54	47	1	0	122	29,37	0	71,61	187,88	0,09	0
9	Wouloumboni.MaurF1	12°17'28,9"	15°39'57,4"	7,52	27,2	456	391	19,6	16,04	19,91	25	1	0	10	21,11	0	0	297,68	0,07	0
10	Diowol	13°22'37,5"	16°03'57,4"	6,93	27,2	98	101	5,62	11,22	6,8	4	1	5,18	8	0,75	0	0	68,32	0,09	0
11	Ndjiadjibine F1	12°28'50,8"	15°45'05,3"	7,63	27,3	736	640	17,6	19,24	31,1	65	2	0	12	4,89	0	42,56	463,6	0,1	0
12	Toufondé Civé F1	13°14'56,3"	15°39'32,6"	6,86	27,3	70	80	3,6	9,62	2,92	5	1	0,65	6	0,48	0	0	53,6	0,96	0