

Abréviations et acronymes

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

CNRE : Centre National des Ressources en Eau

H R : Humidité relative

INRSP : l'Institut National des Recherches en Santé

NS : Niveau Statique

OMN : Office météorologie national

N.D : Niveau dynamique

PEM : Profil électromagnétique

Prof : Profondeur

PHVP : Projet D'hydraulique villageoise et pastorale

Rabatt : Rabattement

SEV : Sondage électrique vertical

SNIM : Société Nationale Industrielle et Minière

T : Température

Table de matières

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : CADRE DE LA ZONE D'ETUDE	3
I.1 Situation géographique et relief.....	3
I.2 Climatologie.....	4
I.2.1 Mécanismes généraux du climat.....	4
I.2.2 Les paramètres climatiques	4
I.2.3 Hydrographie.....	7
I.2.4 Végétation	8
I.3 Cadre géologique et hydrogéologique de la zone d'étude.....	8
I.3.1 Cadre géologique de la zone d'étude	8
I.3.2 Hydrogéologie de la zone d'étude	14
I.3.2.1 Le bassin sédimentaire côtier	15
I.3.2.2 Les nappes alluviales	15
I.3.2.3 La nappe de l'Eocène du Brakna.....	17
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES.....	19
II.1 Prospection Géophysique	19
II.1.1 Matériels géophysique utilisés	19
II.1.2 Méthodologie et travaux géophysiques	20
II.1.2.1 Méthodes électriques	21
II.1.2.1.1 Sondage électrique.....	22
II.2 Réalisation de forages d'eau.....	23
II.2.1 Matériels	23
II.2.2 Méthode de Foration.....	24
II.2.2.1 Généralités de la Méthode Marteau Fond de Trou (MFT)	24
II.2.2.2 Alésage	24
II.2.2.3 Equipement	24
II.2.2.4 Gravillonnage.....	25
II.2.2.5 Développement	26
II.2.2.6 Cimentation.....	26
II.2.2.7 Les essais de pompage	26
II.2.2.8 Echantillonnage.....	27

CHAPITR III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	28
III.1 Résultats de la Géophysique	28
III.1.1 Méthode électrique.....	28
III.1.1.1 Sondages électriques.....	28
III.1.2 Interprétation des sondages électriques par logiciel (IPI)	29
III.2 Résultats de la foration.....	34
III.2.1 Forage de reconnaissance et Alésage	34
III.2.2 Equipement des forages.....	35
III.2.3 Développements.....	37
III.2.4 Pompage d’essai.....	37
III.2.4.1 Essai de puits :	37
III.2.4.2 Essai de nappe	42
III.2.5 Analyse chimique.....	46
Conclusion générale.....	48
Références	50
Annexes	52

Listes de figures

Figure 1 : Focalisation de la région d'étude	4
Figure 2 : Variations de la température moyenne mensuelles à Lebrakna 2018 (ONM).	5
Figure 3 : Variations mensuelle de l'humidité relative à Lebrakna 2018 (ONM).	5
Figure 4: Pluviométrie moyenne mensuelle à Lebrakna entre 2018 (ONM).	6
Figure 5: Pluviométrie moyenne annuelle à Lebrakna entre 2014 à2018 (ONM).	6
Figure 6:Les grands ensembles géologiques de la Mauritanie (Caruba et Dars, 1991 modifié).	8
Figure 7:Carte géologique de la Mauritanie et coupes géologiques selon deux segments AB et CD indiqués sur la carte au-dessus (Carité, 1989).	9
Figure 8:Carte géologique simplifiée du bassin côtier sénégal-mauritanien	11
Figure 9: Localisation des grands ensembles géologiques de la Mauritanie (PRISM, 2012 modifié)...13	
Figure 10:Carte des ressources en eau de la Mauritanie (CNRE / MHE, 2003 in BURGEAP, 2006). .14	
Figure 11: Coupe Schématique de la nappe du Brakna (Elouard, 1962) Ouest ? Nord-Sud ?).....15	
Figure 12: Principaux éléments du bassin sédimentaire sud-ouest mauritanien.....17	
Figure 13:Résistivimètre à courant alternatif type SYSCAL R2 et convertisseur et dispositif de sondage électrique	19
Figure 14:plan des travaux géophysiques réalisés à Seyal Goubabé	20
Figure 15:plan des travaux géophysiques réalisés à Sithianne N'diacy.....21	
Figure 16: Dispositif Wenner Schlumberger.....21	
Figure 17:sondages électriques verticaux à Seyal Guababé.....28	
Figure 18:sondages électriques verticaux à Sithiane N'diacy	29
Figure 19:Représentation graphique de sondage F1	30
Figure 20:Représentation graphique de sondage F2	30
Figure 21:Représentation graphique de sondage F3	30
Figure 22:Représentation graphique de sondage F1	31
Figure 23:Représentation graphique de sondage F2	31
Figure 24:Représentation graphique de sondage F3	31
Figure 25:coupe technique du F1 Seyal Guababé.....35	
Figure 26:coupe technique du F1 Sithiane N'diacy	36
Figure 27:courbe caractéristique du F1 Seyal Goubabé.....38	
Figure 28:courbe caractéristique du F1 à Sithiane N'diacy	39
Figure 29:Courbe rabattement spécifique en fonction du débit F1 : Seyal goubabe	40
Figure 30:Courbe rabattement spécifique en fonction du débit F1 : Sithiane N'diacy.....40	
Figure 31:courbe de descente d'essai de nappe pour F1 à Seyal Guababé	43
Figure 32:courbe de descente d'essai de nappe pour F1 à Sinthiana N'Diacy	43
Figure 33:courbe de remontée d'essai de nappe pour F1 à Seyal Guababé	44
Figure 34:courbe de remontée d'essai de nappe pour F1 à Sinthiana N'Diacy	45
Figure 35:Diagramme Piper des faciès chimiques des eaux	47

Liste des tableaux

Tableau 1: Résultats des modèles 3 à couches F1 à Seyal Goubabé.....	30
Tableau 2:: Résultats des modèles 3 à couches F2 à Seyal Goubabé	30
Tableau 3:Résultats des modèles 3 à couches F3 et 5 à Seyal Goubabé.....	30
Tableau 4:Résultats des modèles 3 à couches F1 à Sithiane N'diacry.....	31
Tableau 5: Résultats des modèles 3 à couches F2 et 5 à Sithiane N'diacry	31
Tableau 6:Résultats des modèles 3 à couches F3 à Sithiane N'diacry.....	31
Tableau 7: Caractéristiques sommaires des forages	37
Tableau 8:Répartition des pertes de charge et les rendements de F1 à Seyal goubabe.....	41
Tableau 9:Répartition des pertes de charge et les rendements de F1 à Sithiane N'diacry	41
Tableau 10:Transmissivités obtenues	45
Tableau 11:Caractéristiques des forages d'eau réalisées	45
Tableau 12:les paramètres physico-chimiques des forages.....	46
Tableau 13:Résultats des analyses chimiques	46

Résumé

La zone d'étude se trouve administrativement dans la région du Brakna comprise entre les longitudes 12°20' et 15°00' Ouest et les latitudes 16°12' et 18°40' Nord. L'aquifère du Brakna, se situe sur la bordure orientale du bassin sédimentaire côtier mauritanien et semble correspondre essentiellement à des sables littoraux de l'Eocène moyen. A l'approche de la chaîne des Mauritanides, il comporte un stérile appelée couramment "le biseau sec".

Le secteur de l'eau en Mauritanie représente une priorité nationale et occupe une place centrale dans le cadre stratégique de lutte contre la pauvreté. Le gouvernement de la Mauritanie a lancé depuis décembre 2018 un projet des travaux de forages dans plusieurs wilaya (projet 5 wilaya) dont l'objectif général assigné est d'instaurer le cadre propice à la gestion intégrée, durable et équitable des ressources en eau et des infrastructures hydrauliques, afin de contribuer à la réduction de la pauvreté et au développement durable.

C'est dans ce cadre que cette étude a été menée avec l'objectif d'identifier les points plus productifs à partir de mesures basées sur la méthode géophysique et plus particulièrement la méthode électrique.

Les profils électriques qui confirment les anomalies indiquées sur les PEM, ont été investiguées verticalement par sondages électriques (SEV).

Dans notre étude géophysique l'objectif recherché est les couches les plus conductrices ou les moins résistantes qui représentent les anomalies et qui peuvent être de l'eau, dôme de seul...etc.

On a désigné pour les localités SEYAL GOUBABE et SITHANE NDIACRY les sondages électriques (SE1 et SE2) respectivement comme des future forages, car ils représentent les anomalies les plus favorables.

Ces sondages de reconnaissance ont été exécutés par la méthode Marteau Fond de Troue (MFT) à des profondeurs 90 m pour F1 SEYAL GOUBABE et 48,00 m pour F1 SITHANE NDIACRY ou les aquifères sont captés dans les formations sableuses.

Les débits des forages F1 SEYAL GOUBABE et F1 SITHANE NDIACRY obtenus lors des essais de pompage par palier sont respectivement 13 m³/h et 18 m³/h. les forages sont aussi soumis à essais de longue durée de 24h où leurs résultats ont permis d'évaluer les transmissivités pour les forages F1 SEYAL GOUBABE et F1 SITHANE NDIACRY qui sont respectivement 2.5 .10⁻²m²/s et 3.5.10⁻²m²/s.

INTRODUCTION

Problématique et justification

Le secteur de l'eau en Mauritanie représente une priorité nationale et occupe une place centrale dans le cadre stratégique de lutte contre la pauvreté. Le pays connaît cependant des insuffisances en matière de la gouvernance de l'eau aussi bien au niveau central que local. Les ressources en eau sont mal connues et le pays doit faire face à un tarissement des eaux de surface. L'accès à l'eau à partir du réseau publique est faible et plus de la moitié de la population s'approvisionne par l'intermédiaire des marchands ambulants, ne faisant pas par conséquent l'objet d'un contrôle sanitaire et exposant les consommateurs à de multiples problèmes de santé. Dans de telles conditions, il est difficile d'améliorer la rétention scolaire, l'accès à l'eau potable et à la santé. De plus, le faible taux d'assainissement aussi bien des eaux usées que des déchets solides constitue encore pour plus de la moitié de la population une source d'insalubrité et de maladies. A cela s'ajoute l'effet des phénomènes récurrents comme la sécheresse et la désertification qui rendent difficile l'accès à la ressource et son utilisation. Cette situation engendre également des conflits entre les usagers et accentue les tensions sociales.

Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel constitué par les matériaux géologiques produit le plus souvent une eau de grande qualité, avec notamment de très faibles teneurs en micro-organismes et autres substances en suspension. Il en résulte que l'exploitation des eaux souterraines présente des avantages économiques appréciables, du fait qu'elles ne nécessitent que peu de traitement – parfois même aucun traitement – avant leur distribution dans un réseau d'eau potable.

La sécheresse de ces dernières années causées de grands bouleversements de la situation économique dans le milieu rural entraînant une sédentarisation incontrôlable et chaotique des populations.

La localité du Brakna a fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques et géophysiques Pour l'implantation de points d'eau. Au terme de ces études, plusieurs forages ont été réalisés dans la zone. Actuellement, cette localité possède des forages et puits en exploitation mais qui n'arrivent pas à satisfaire les besoins en eau, du fait de la croissance démographique observée ces dernières années. Le présent travail a été financé par le projet de 5 WILAYA dans le secteur de l'eau en milieu rural pour l'alimentation en eau potable de ces villages.

Objectifs

Les objectifs visés par cette étude sont :

- D'identifier sur le terrain les zones du bassin sédimentaires hydrogéologiquement intéressantes pour les tester par un sondage ;
- De réaliser des forages dans les zones potentiellement aquifères et de mesurer sur le terrain des paramètres hydrodynamiques (transmissivité et coefficient d'emmagasinement) et enfin, d'analyser les résultats obtenus en vue de l'exploitation des ouvrages réalisés.

Structure d'accueil

Le mémoire est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre fait une présentation générale de la zone d'étude,

Le deuxième chapitre porte sur les méthodes utilisées pour la prospection géophysique et la réalisation de forages.

Le troisième chapitre présente les résultats et leur interprétation, avant de terminer par la conclusion générale.

CHAPITRE I : CADRE DE LA ZONE D'ETUDE

I.1 Situation géographique et relief

La zone d'étude se trouve administrativement dans la région du Brakna qui est comprise entre les latitudes 16°12' et 18°40' Nord et les longitudes 12°20' et 15°00' Ouest (Fig. 1).

Au Nord, la région de Temessoumit constitue sa limite commune avec l'Adrar et le Tagant. La région du Trarza borde le Brakna sur toute sa partie occidentale. Le fleuve Sénégal parcourt la région du Brakna sur 200 km environ allant de l'embouchure de l'oued Guelouar jusqu'aux environs de Podor constituant avec le Gorgol la limite sud de la région. Le Tagant (au Nord Est du Brakna) et l'Assaba (au Sud Est) constituent la limite orientale du Brakna.

- Géomorphologie

La région du Brakna est caractérisée par l'importance des formations dunaires surtout au nord et à l'ouest. On peut distinguer quatre principaux ensembles naturels (Elouard, 1962) :

- la chamama : c'est une plaine alluviale du fleuve Sénégal et sa largeur varie de 5 à 20 km. Vers l'ouest, le fleuve a pu couper les dunes rouges pour y déblayer sa vallée. Le fleuve Sénégal présente des pentes très faibles et pratiquement nulles en aval de Boghé ;
- la Trichoummamaten : c'est une dépression avec quelques longues dunes de direction globalement Nord-Sud. Elle se limite au Nord aux environs d'Aleg et suit l'ancienne piste Aleg-Podor vers le sud. Les puits du Trichoummamaten comprennent : Agoueida, Mouftah el kheir et Jellaye ;
- le Trarza : c'est un grand ensemble de dunes rouges pouvant atteindre 50 m de hauteur, occupant une partie du territoire étudié ;
- l'Aftout Telli : c'est une large dépression au Sud-Est et à l'Est d'Aleg qui se poursuit jusqu'aux falaises du Tagant et d'Assaba. L'Aftout occupe toute la pénétration antécambrienne qui forme de vastes rages avec des filons de quartz blancs dispersés de place en place. L'Aftout est une zone de ruissellement qui se concentre pour former des oueds plus ou moins importants.

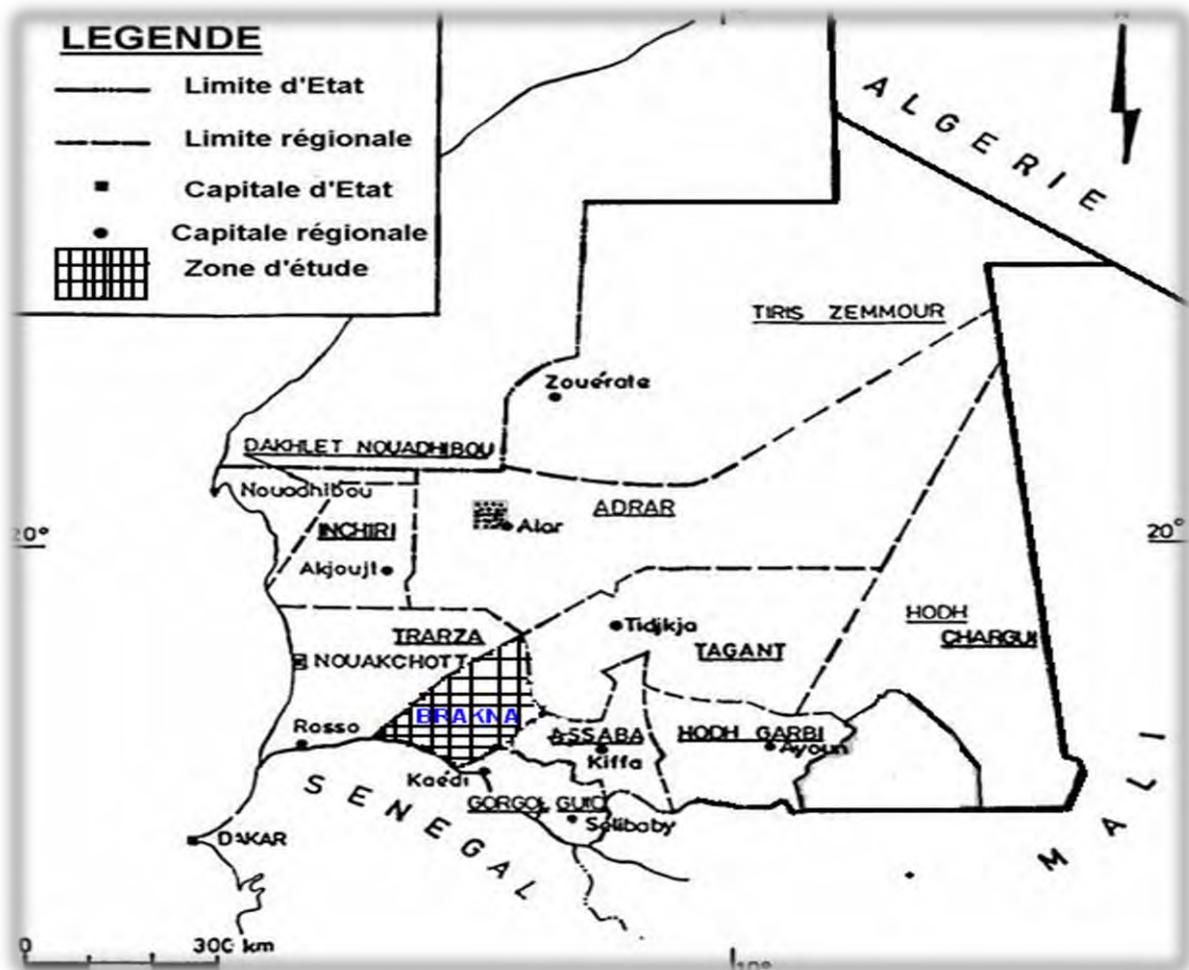


Figure 1 : Focalisation de la région d'étude

I.2 Climatologie

I.2.1 Mécanismes généraux du climat

Les conditions climatiques sont astreignantes vers le nord (sécheresse et aridité importante), mais connaissent une amélioration dans la partie méridionale grâce à une pluviométrie et un couvert végétal plus important. La région est située en majeure partie dans le domaine sahélien.

I.2.2 Les paramètres climatiques

Les paramètres climatiques seront analysés à partir des données relevées à la station météorologique de Lebrakna par les services de la météorologie nationale.

- La température

La figure 2 qui présente l'évolution de la température moyenne mensuelle au cours de l'année 2018 montre que les températures les plus élevées sont enregistrées entre le mois

d'avril et de mai, avec un maximum de 42.5 °C au mois d'avril. Les températures les plus basses sont observées entre décembre et janvier avec une température de 20 °C en décembre.

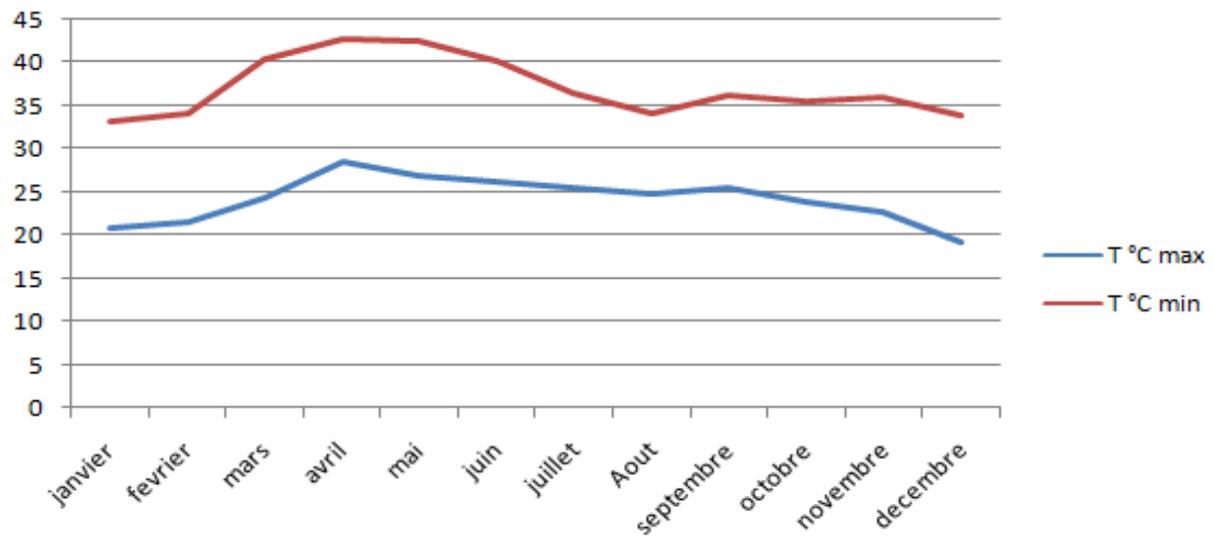


Figure 2 : Variations de la température moyenne mensuelles à Lebrakna 2018 (ONM).

- L'humidité relative

Elle est faible à très faible sauf dans les wilayas (régions) qui sont sous l'influence de l'océan Atlantique. 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 observée au niveau des deux stations de mesure montre une courbe en cloche (Figure 3). On note une augmentation progressive de l'humidité relative de mai 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 juillet et septembre. Les valeurs les moins importantes de l'humidité relative sont notées au mois d'avril.

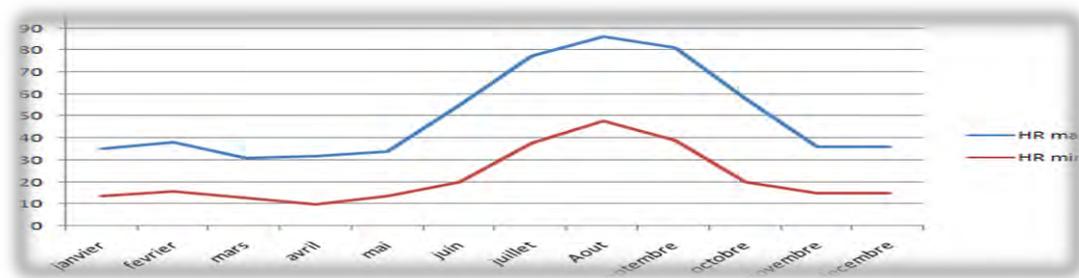


Figure 3 : Variations mensuelle de l'humidité relative à Lebrakna 2018 (ONM).

- La pluviométrie

On a pu constater au cours des dernières décennies une baisse importante de la pluviométrie moyenne annuelle. Durant la période 1935-1969, avant la sécheresse, Lebrakna recevait plus de 500 mm de pluie annuelle; La pluviométrie, a connue de fortes variations interannuelles à Aleg.

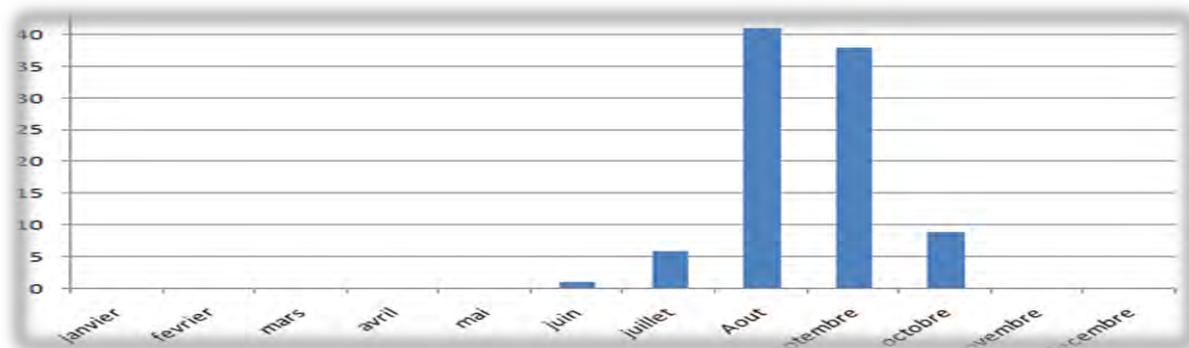


Figure 4: Pluviométrie moyenne mensuelle à Lebrakna entre 2018 (ONM).

La région de Lebrakna a connu en 2018 quatre mois de pluviométrie, la pluviométrie la plus importante est enregistrée en août suivi par septembre elle est relativement faible en juillet et octobre environ entre 6 et 10mm (figure 4).

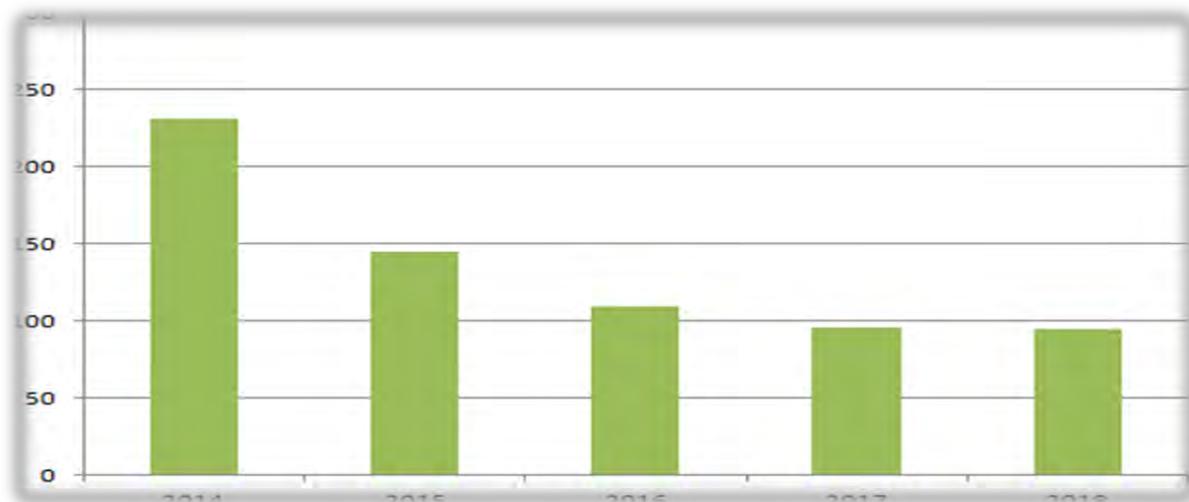


Figure 5: Pluviométrie moyenne annuelle à Lebrakna entre 2014 à 2018 (ONM).

La période 2014 - 2018 montre une pluviométrie moyenne annuelle de 680 mm au sud à 50 mm enregistré au Wilaya. Elle ne varie plus qu'entre 250 et 90 mm pendant la période 2014 - 2018. On note ainsi une diminution très sensible des précipitations qui traduit 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% (BURGEAP, 2016).

I.2.3 Hydrographie

Les principaux cours d'eau sont le fleuve Sénégal, l'oued Guelouar, l'oued Ketchi, le lac Male et le lac d'Aleg (Elouard, 1962).

Les ruissellements qui sont localisés surtout à l'Est où la présence des terrains imperméables (Aftout telli) et la pluviométrie relativement importante, contribuent à la formation de nombreux cours d'eau temporaires.

- Le fleuve Sénégal

C'est le seul cours d'eau permanent, il forme une grande vallée plus ou moins large surtout son parcours qui constitue la frontière Sénégalo-mauritanienne.

- Le lac de Male

Le lac de Male se situe à la limite des terrains sédimentaires et précambriens dans une dépression entre des collines de quartzite. Il constitue un point d'eau permanent. Il reçoit les eaux de ruissellement par des affluents dont le plus important est l'oued Leye et en période de crue il se déverse dans l'oued Guélouar.

- L'oued Guelouar

Long de 110 km environ à partir du lac de Male, l'oued Guélouar a un bassin versant de 3500 km². Il constitue le dernier affluent du Sénégal, il parcourt des terrains du bassin sédimentaire sur la plus grande partie de son trajet. Ainsi l'Oued se perd dans la dépression de M'bidane, y formant une grande étendue d'eau : Tamourt Guélouar.

En période de crue l'eau coule du lac vers l'oued ; mais, très rapidement après la grande crue, il s'établit une discontinuité entre le lac et l'oued qui continue à couler grâce à un certain nombre d'affluents situés en aval.

- L'oued Ketchi

L'Oued ketchi prend naissance dans les régions antécambriennes et coule sur l'Eocène affleurant dans la région d'Aleg.

- Le lac d'Aleg

Le lac d'Aleg est une grande dépression fermée où aboutit l'eau collectée par l'oued Ketchi. Il s'étend sur une longueur de 20 km sur 4 à 5 km environ ; mais cette étendue d'eau est liée à l'importance de la crue de l'oued et des pluies tombées directement sur le lac.

Le lac peut contenir un volume d'eau très important compte tenu de sa superficie mais, étant peu profond (2 m environ), son étendue se trouve très réduite en fin de saison sèche sous l'effet de l'évaporation.

I.2.4 Végétation

Dans la vallée du fleuve Sénégal, la végétation est assez diversifiée et le couvert végétal est dominé par le genre Chloris, en particulier Chloris priuri. Dans la zone d'inondation domine l'Acacia milotica (nom local : Emour en Hassaniya). Le Dieri (zone non inondable) est le domaine de l'Acacia tortilis (nom local : Talh en Hassaniya).

En dehors de la vallée au nord de la région, domine le gommier (Acacia sénégalsensis) qui est souvent associé à l'Acacia tortilis dans la région la plus proche de la vallée. Dans la région sableuse à faible pluviométrie, se trouve fréquemment Leptadenia spartum (nom local : Titarek en Hassaniya) et Calotropis procera (nom local : Tourja en Hassaniya).

I.3 Cadre géologique et hydrogéologique de la zone d'étude

I.3.1 Cadre géologique de la zone d'étude

Les formations géologiques de la Mauritanie sont caractérisées par plusieurs ensembles lithostratigraphiques et structuraux qui composent l'Afrique de l'Ouest tel que : bassin de Tindouf, Dorsal de Reguibat, bassin de Taoudeni, le bassin côtier et la chaîne des Mauritanides (Caruba et Dars, 1991 ; Carité, 1989 ; BRGM, 1975 et Ould Jiddou, 1994) (Fig.)

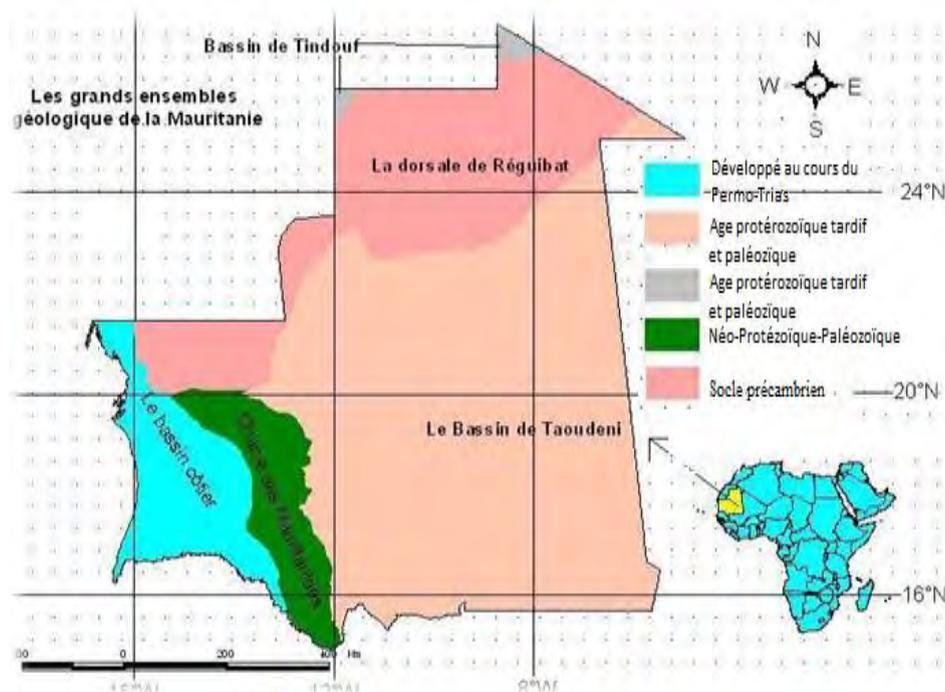


Figure 6: Les grands ensembles géologiques de la Mauritanie (Caruba et Dars, 1991 modifié).

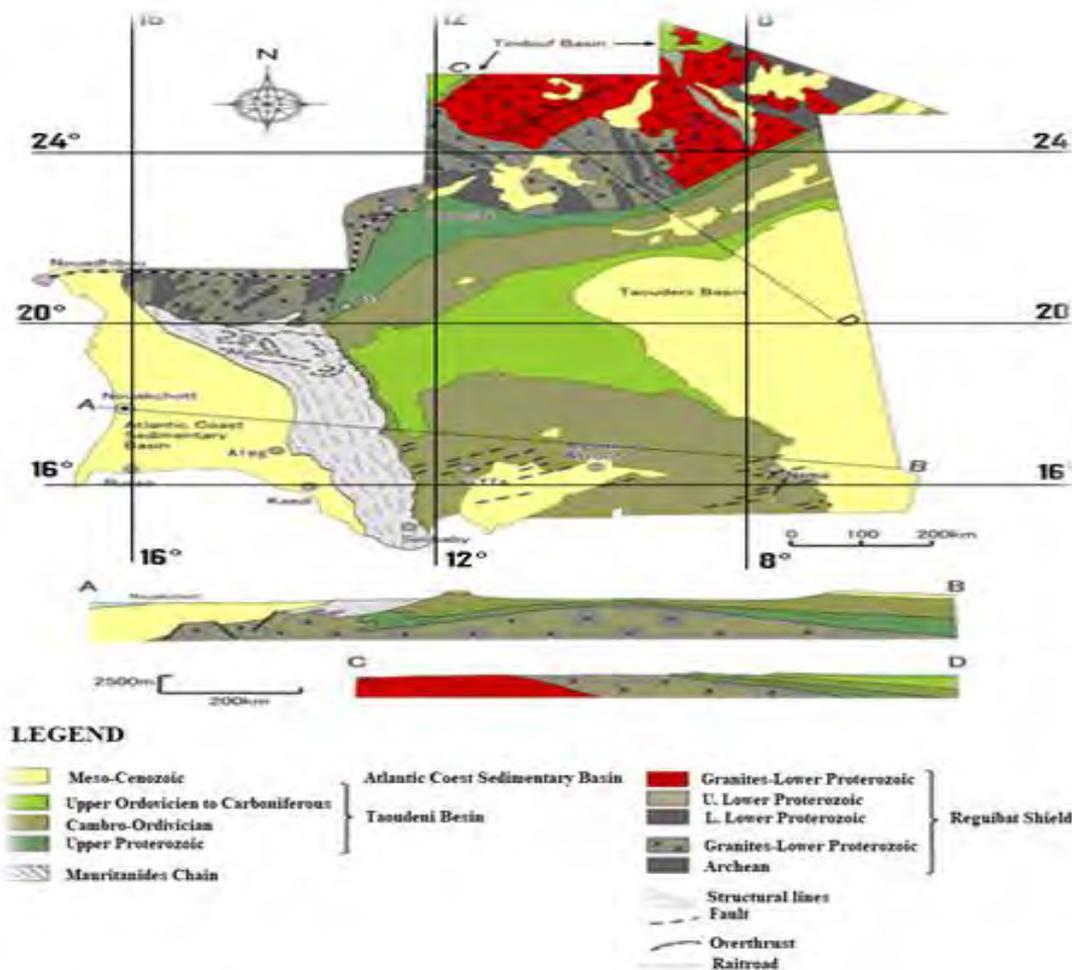


Figure 7: Carte géologique de la Mauritanie et coupes géologiques selon deux segments AB et CD indiqués sur la carte au-dessus (Carité, 1989).

Dans la région de Brakna on peut géologiquement distinguer deux domaines :

À l'Est, un domaine appartenant à l'ensemble métamorphique formé par le socle : la chaîne des Mauritanides ;

À l'Ouest le bassin sédimentaire sénégal-mauritanien où les sédiments se sont déposés par des couches d'âges et de faciès différents plus ou moins transgressives sur le socle qui constitue la bordure orientale du Brakna. Les couches sont d'autant plus épaisses qu'elles sont plus éloignées de cette bordure. C'est dans ce bassin qu'est localisée la nappe du Brakna, objet de cette étude. C'est pour cette raison que nous allons décrire essentiellement les formations géologiques du bassin sédimentaire côtier Mauritanien qui nous permettent de comprendre la structure de la nappe du Brakna (Toit et mur de l'aquifère de l'Eocène du Brakna).

A- Le Bassin sédimentaire côtier mauritanien

- Contexte et architecture

Le bassin côtier sénégal-mauritanien s'est développé au cours du Permo-Trias tout le long de la marge occidentale, en distension passive, du Craton Ouest africain pendant l'époque qui correspond à l'ouverture proto-atlantique. Il s'étend de la Mauritanie occidentale au nord, à la Guinée-Bissau au sud, avec une bordure orientale située en Mauritanie méridionale et constituée par la zone orogénique des Mauritanides (Pitfield, 2004) (Fig. 8).

Les informations obtenues des forages profonds et des études géophysiques effectuées aussi bien sur terre qu'en mer (Liger, 1980; Ritz, 1983; Ritz et al, 1989; Ritz et Bellion, 1990) indiquent que le bassin renferme des sédiments mésozoïques et cénozoïques qui s'épaississent vers le large. Ces sédiments reposent sur un socle à effondrement progressif vers l'ouest le long de failles normales de marges en distension. A proximité de Nouakchott, la profondeur du bassin est estimée entre 4000 et 5000 m, alors que plus à l'ouest, c'est probablement le double. A l'est, en dessous de la Mauritanie méridionale, les forages indiquent que le soubassement paléozoïque - précambrien est beaucoup moins profond (105 m à Aleg et 216 m à Niabina), et que la séquence correspond intégralement à des sédiments cénozoïques transgressifs (Ritz et Bellion, 1990).

- Lithostratigraphie

• Le Maastrichtien

En Mauritanie, le Maastrichtien est représenté par une formation argilo sableuse azoïque rencontrée en forage. Un changement de faciès se produit de part et d'autre de Rkiz (Fig. 9). A l'est dans l'Amechtil et le Brakna proche de la bordure du bassin, il est sableux et son épaisseur est faible, 10 à 50 m. A l'ouest dans le Trarza, des sables fins à grossiers alternent avec des argiles, pyriteuses et ligniteuses parfois, et il s'épaissit fortement, dépassant 200 m à 18 km à l'ouest de Rkiz (PNUD, 1974) et 500 m à l'ouest du méridien 16° W par comparaison avec son épaisseur dans le forage Toundou Besset (TB1). Cette série s'amincit vers le nord (60 m dans le forage d'Idini) (Dars et Caruba, 1991). Les faciès du Maastrichtien sont littoraux et de très grandes extensions (Pitfield, 2004).

• Le Paléocène

Le Paléocène n'est représenté que dans la partie occidentale du bassin, à l'ouest du Rkiz, par 40 m d'argiles grises et de calcaires argileux à Nummulites cordelées (Caruba et Dars, 1991). Il est totalement absent à l'Est de Rkiz (Pitfield, 2004).

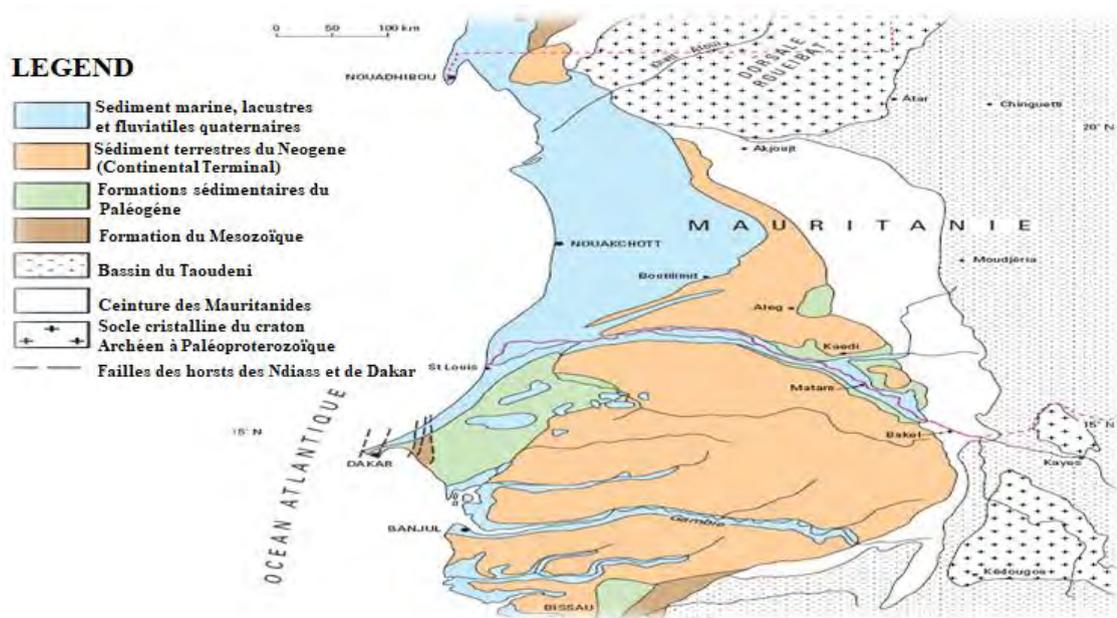


Figure 8: Carte géologique simplifiée du bassin côtier sénégal-mauritanien

- L'Eocène

L'Eocène inférieur est également inexistant à l'est de Rkiz, mais plus à l'ouest il est présent sous forme d'argiles, avec localement de minces niveaux de calcaire et de chert. Ces derniers s'épaississent rapidement vers l'ouest et sont localement discordants sur le Paléocène. La succession de l'Eocène moyen est mieux exposée dans la vallée du fleuve Sénégal où elle se compose de calcaires sableux et de dolomites à interstratifications de marnes, de mudstones sableux, et occasionnellement de sédiments phosphatés (formation de Bofal). Vers l'est, ces dépôts marins passent aux grès rouges de la formation de Gorgol. Une mince unité bien distincte, jaune-ocre, composée de mudstones et de grès argileux ('formation Jaune' décrite ici sous le nom de 'formation de Rinndiao') recouvre les formations de Gorgol et de Bofal. Des sédiments probablement de l'Eocène supérieur ont été trouvés dans la partie nord-ouest du bassin côtier, là où les argiles pyriteuses bleu-noires sont présentes entre le Continental Terminal et le Lutétien ; tandis qu'à Nouadhibou, un forage a intersecté presque 350 m d'argiles, de marnes et de sables datés entre le Miocène et le Lutétien (Bellion, 1991).

- Le Continental Terminal

Dans la majeure partie du bassin, les sédiments de l'Eocène sont recouverts par des dépôts attribués au Continental Terminal qui s'épaississent de l'est vers l'ouest, atteignant 20 m à Kaédi et 300 à 400 m sous la sebkha de Ndrancha. Ces sédiments se composent en parti de dépôts marins du Miocène ayant subi une intense altération latéritique, tandis qu'ailleurs, il

s'agit de dépôts détritiques terrigènes (Tessier et al. 1975 ; Lappartient, 1985 ; Conrad et Lappartient, 1987).

Il affleure dans toute la région orientale du Brakna et, forme les reliefs d'Aleg et de Kaédi. Le centre d'Aleg est construit lui-même sur une butte témoin de grès du Continental Terminal. Le Continental Terminal est formé presque exclusivement de grès argileux bariolés non lités et de sables à plus ou moins forte teneur en argile.

Il est caractérisé à sa base par une formation argileuse dite "formation jaune" de Pierre Elouard qui marque le passage à l'Eocène.

Des formations lenticulaires, argileuses ou sableuses peuvent se trouver à tous les niveaux.

Les sédiments de l'Oligocène sont généralement absents dans le bassin, bien que des roches de cet âge affleurent près de Dakar. L'Oligocène peut être représenté par des calcaires coquilliers, phosphatés et sableux rencontrés dans le forage de Toundou-Beset, à proximité du fleuve Sénégal (Pitfield, 2004).

- Le Quaternaire

Durant le Quaternaire, quatre cycles distincts de transgressions et de régressions marines ont eu lieu (Elouard et al. 1969 ; Michel, 1973 ; Riser, 1991). Les transgressions ont engendré le dépôt de séquences de sédiments littoraux qui sont séparées les unes des autres par des surfaces d'érosion reflétant des périodes d'émersion (Fig. 10).

Le Tafarien tire son nom du cap Tafari, situé sur la côte mauritanienne entre Nouakchott et Nouadhibou, où des sédiments de cet âge affleurent. Au Trarza et à Aouker Ouest, des grès glauconieux du Tafarien sont connus grâce aux puits et forages. Dans les régions d'Inchiri et d'Ercheim, il existe deux faciès principaux : les grès fins/grès calcaires, blancs ou verdâtres, et les argiles gypsifères vertes (Pitfield, 2004).

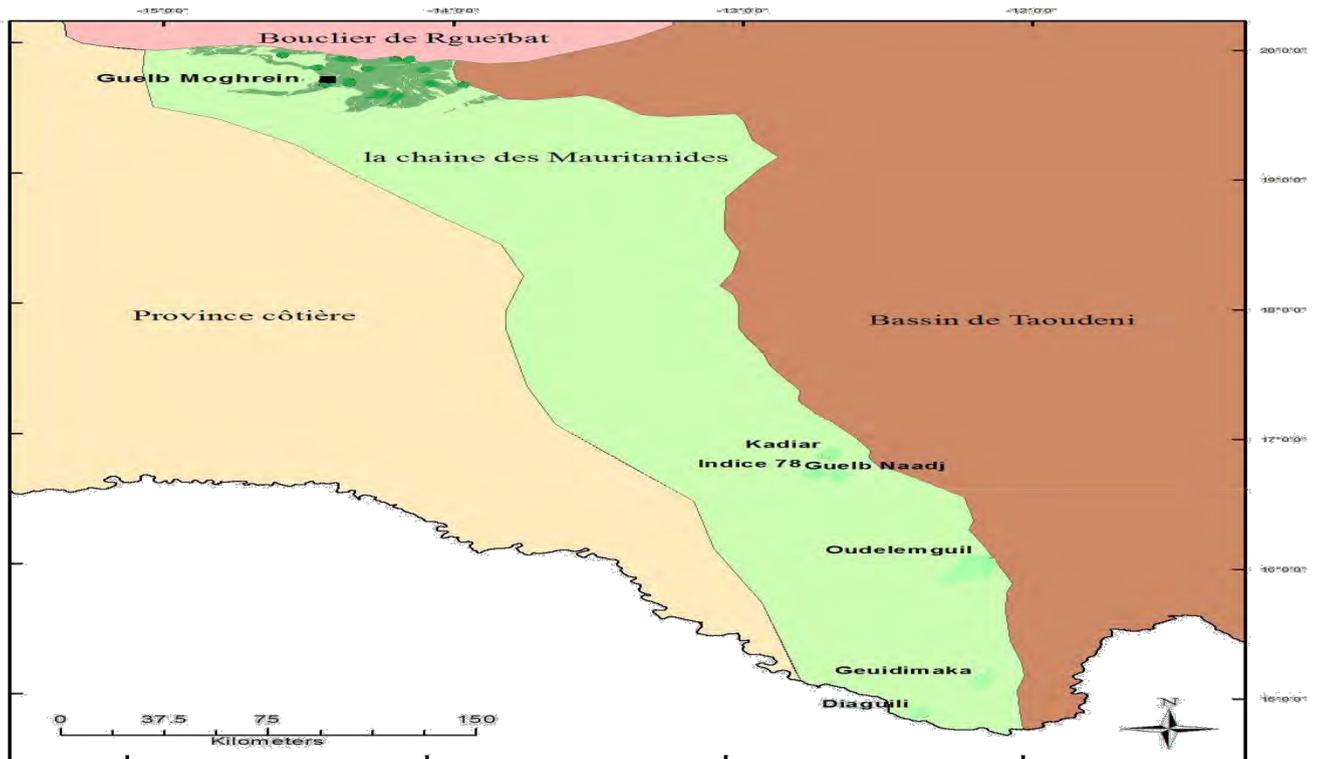


Figure 9: Localisation des grands ensembles géologiques de la Mauritanie (PRISM, 2012 modifié).

L'Aïoujien est caractérisé par des calcaires et des grès calcaires à stratifications entrecroisées et à riche faune coquillière ; tandis que les dépôts inchiriens sus-jacents se composent de faluns verdâtres, légèrement argileux. Ces derniers ont été déposés au large des eaux peu profondes du golfe de Tafoli, dans l'actuelle région de la sebkha Ndrhamcha (Pitfield, 2004). Entre les transgressions marines de l'Inchirien et du Nouakchottien, la période aride ogolienne a été marquée par le développement de dunes de sables éoliens majeurs à travers une grande partie de la région du bassin côtier. Dans la région de Ndrhamcha, là où les dépôts sont associés à la dernière transgression marine majeure, le Nouakchottien se compose de sables fins gris ou blancs, à niveaux riches en matériel coquillier; tandis qu'entre Nouakchott et le delta du fleuve Sénégal, les sédiments du Nouakchottien sont argileux à faunes typiques d'un environnement de marécage à mangrove. La régression marine a débuté il y a environ 4000 ans (régression du Tafolien), et le golfe de Tafoli a été à la fin isolé de la mer par une ceinture côtière de sable. Le lac restant s'est transformé en sebkha sous l'effet de l'évaporation, menant à la formation de dépôts interstratifiés de gypse et d'argiles (Pitfield, 2004).

I.3.2 Hydrogéologie de la zone d'étude

Les unités hydrogéologiques sont définies sur la base des critères essentiellement géologiques : conditions de dépôt pour les bassins sédimentaires, critères structuraux pour les zones métamorphiques et cristallines (BURGEAP, 2006 ; Ould Jiddou, 1994) (Fig. 11).

Deux grands types d'aquifères peuvent être distingués :

Les aquifères discontinus se rencontrent dans les terrains de socle granitique ou métamorphique, des formations gréseuses, calcaires et pélitiques; essentiellement fracturées, les débits obtenus sont généralement faibles, et les eaux sont souvent de très mauvaises qualités.

Les aquifères continus ou généralisés se localisent dans le faciès perméable du bassin sédimentaire côtier, dans la cuvette dunaire récente de l'Assaba, dans les alluvions quaternaires, dans les grès d'Aioun ainsi que dans le continental intercalaire du bassin secondaire de Taoudeni. Ces aquifères produisent des débits soutenus et les eaux sont souvent de bonnes qualités (BRGM, 1986).

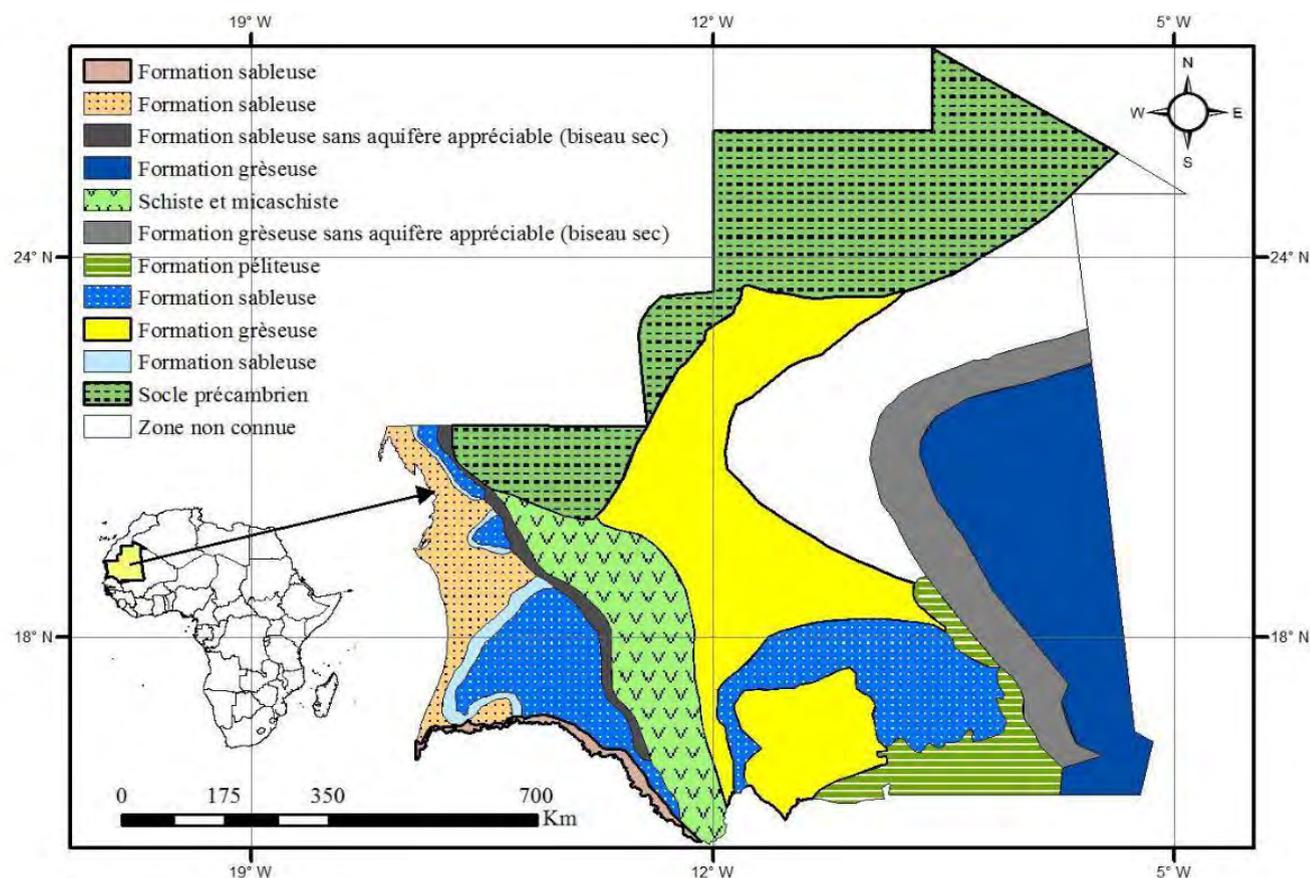


Figure 10: Carte des ressources en eau de la Mauritanie (CNRE / MHE, 2003 in BURGEAP, 2006).

Au lebrakna on peut distinguer :

I.3.2.1 Le bassin sédimentaire côtier

Le bassin sédimentaire côtier se caractérise par la superposition assez régulière de plusieurs aquifères dont les caractéristiques physiques et chimiques varient cependant d'une région à l'autre (Caruba et Dars, 1991). Les formations aquifères dans le bassin côtier sont les suivants (Fig. 12) : l'aquifère du Continental Terminal, l'aquifère des sables du Paléocène et de l'Eocène, l'aquifère du Maastrichtien et l'aquifère des alluvions du fleuve Sénégal.

Cependant dans la région du Brakna, les aquifères les plus exploitées sont ceux des alluvions du fleuve Sénégal ou des oueds et des marigots et des sables, des grès et des calcaires de l'Eocène communément appelé nappe du Brakna.

I.3.2.2 Les nappes alluviales

Les nappes alluviales, localisées à proximité du fleuve ou des oueds et marigots, exploitent les ressources superficielles. Elles sont essentiellement alimentées par les eaux de pluies ou les eaux du fleuve, des oueds et marigots. Elles se trouvent par conséquent à de faibles profondeurs évoluent en fonction des saisons (Illy, 1973 Diagana;1994).

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 de la région. 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 soutènement, la profondeur est limitée dans ces zones, d'où les faibles débits observés (0,1 à 1 m³.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 (Illy, 1973 Diagana;1994).

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. Les eaux des ouvrages captant cette nappe sont moyennement minéralisées (Illy, 1973 Diagana;1994).

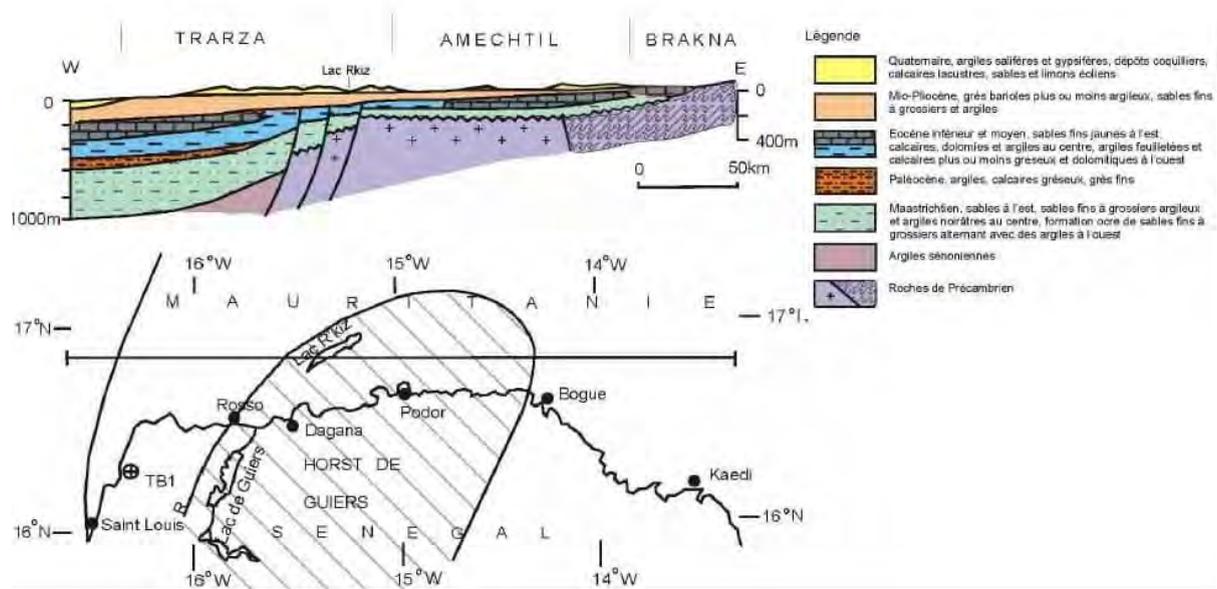


Figure 11: Coupe Schématique de la nappe du Brakna (Elouard, 1962) Ouest ? Nord-Sud ?)

Cette figure montre les formations géologiques de la nappe de Lebrakna et la caractéristique hydrogéologique de cette nappe.

- La nappe du Brakna s'étend entre le biseau sec à l'Est et les régions calcaires (Amechttil) à l'Ouest. Elle forme une bande de largeur restreinte parallèle à la bande formant le biseau sec (Elouard, 1962).

Les puits captant cette nappe sont nombreux dans l'Amechttil oriental. Il en existe aussi au Sud du Brakna et au Nord de la région de Gorgol. Les puits de la ville d'Aleg captant une nappe qui se trouve en continuité avec la nappe superficielle du lac d'Aleg. Le substratum de la nappe est formé à l'Est par le socle qui s'approfondit au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la bordure sédimentaire (Elouard, 1962)

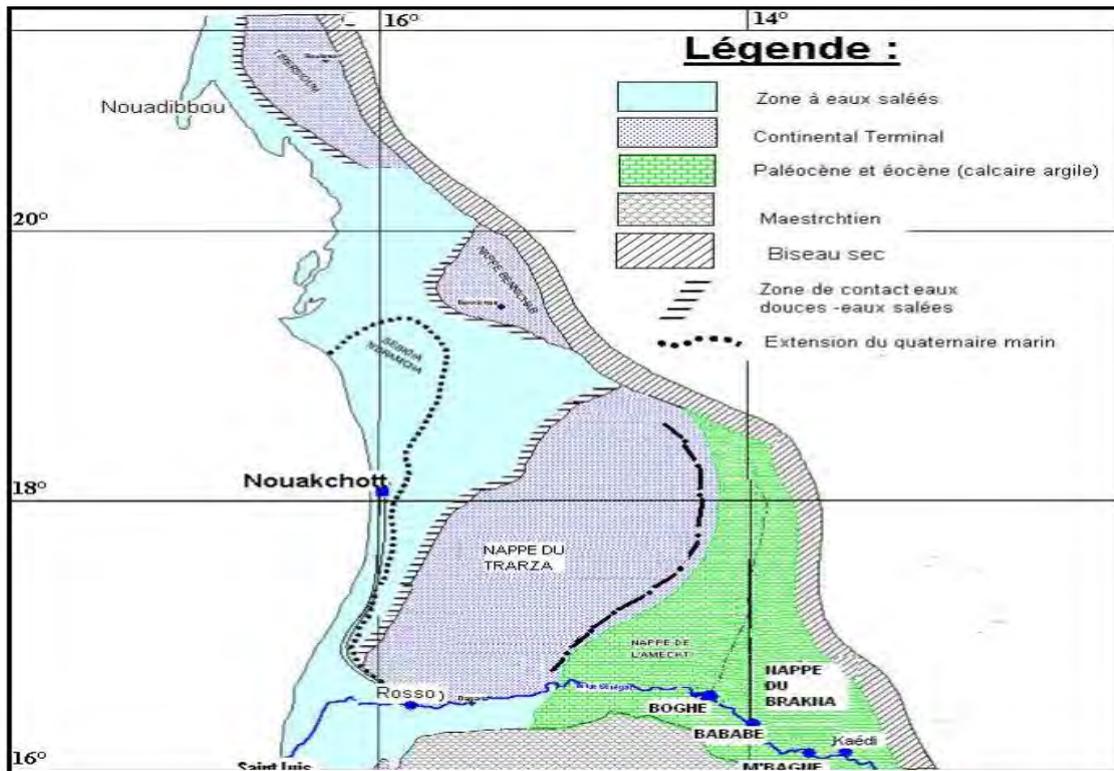


Figure 12: Principaux éléments du bassin sédimentaire sud-ouest mauritanien

I.3.2.3 La nappe de l'Eocène du Brakna

Il est très important de faire savoir que la nappe du Brakna n'a pas fait l'objet de plusieurs études ; bien que ces dernières années plusieurs puits et forages ont été implantés dans la région. L'étude la plus complète de cette nappe est celle d'Elouard qui remonte à 1962 et qui a fourni des informations importantes sur cette nappe.

L'aquifère des sables de l'Est, ou aquifère du Brakna, se trouve sur la bordure orientale du bassin. Il semble correspondre, pour l'essentiel, à des sables littoraux de l'Eocène moyen. Il est exploité principalement par des puits profonds de 20 à 30 m. A l'approche de la chaîne des Mauritanides, il comporte une stérile appelée couramment "le biseau sec" (Caruba et Dars, 1991).

L'aquifère des calcaires de l'Eocène moyen se situe entre le Brakna et la dorsale de Rkiz. Il est exploité par des puits ou forages, à des profondeurs n'excédant pas 100 m. Les débits Obtenus sont très variables en fonction du degré de karstification et peuvent atteindre 10 à 30 m³.h⁻¹. Le résidu sec varie de 0,5 à 8 g.l⁻¹. Il s'agit donc des aquifères de qualité médiocre, qu'il est parfois plus intéressant de capter quand il est surmonté par le Continental Terminal (Caruba et Dars, 1991).

- Structure de la nappe

La nappe du Brakna se situe à l'Est des formations sédimentaires et elle est alors bordée à l'Est par la bande stérile de 20 à 25 km de large qui constitue le biseau sec (Fig. 13).

L'aquifère des sables de l'Est, ou aquifère du Brakna, se trouve sur la bordure orientale du bassin. Il semble correspondre, pour l'essentiel, à des sables littoraux de l'Eocène moyen. Il est exploité principalement par des puits profonds de 20 à 30 m. A l'approche de la chaîne des Mauritanides.

- Structure de la nappe

La nappe du Brakna se situe à l'Est des formations sédimentaires et elle est alors bordée à l'Est par la bande stérile de 20 à 25 km de large qui constitue le biseau sec (Fig. 13). Le biseau sec s'explique par la remontée du socle qui se trouve au-dessus du niveau piézométrique bien avant d'affleurer (Elouard, 1962).

La nappe du Brakna s'étend entre le biseau sec à l'Est et les régions calcaires (Amechtil) à l'Ouest. Elle forme une bande de largeur restreinte parallèle à la bande formant le biseau sec (Elouard, 1962).

Les puits qui s'alimentent à cette nappe sont nombreux dans l'Amechtil oriental. Il en existe aussi au Sud du Brakna et au Nord de la région de Gorgol. Les puits de la ville d'Aleg s'alimentent à cette nappe qui s'y trouve en continuité avec la nappe superficielle du lac d'Aleg. En puissance, le substratum de la nappe est formé à l'Est par le socle qui s'approfondit au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la bordure sédimentaire (Elouard, 1962).

CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODOLOGIE

II.1 Prospection Géophysique

II.1.1 Matériels géophysique utilisés

- Un résistivimètre SYSCAL R2 ;
- Matériel (bobines, piquets, accessoires, ...)



Figure 13: Résistivimètre à courant alternatif type SYSCAL R2 et convertisseur et dispositif de sondage électrique

Pour générer le courant dans le sol, les résistivimètres utilisent leur convertisseur interne. La mesure est réalisée de manière totalement automatique à travers le contrôle du microprocesseur qui permet :

- La correction automatique de la polarisation spontanée (Ps);
- L'accumulation automatique de mesures pour l'amélioration du rapport signal/bruit;
- L'affichage de messages d'erreur en cas de problèmes.

Tous les paramètres tels que l'intensité, la tension, les paramètres géométriques, les paramètres de localisation et bien d'autres fonctions sont stockés.

II.1.2 Méthodologie et travaux géophysiques

La recherche des eaux souterraines, parallèlement à celle des minerais et hydrocarbures, a donné lieu à des études qui ont abouti à la mise au point de certaines méthodes géophysiques dont l'utilisation est actuellement bien répandue.

Pour atteindre son objectif, l'équipe géophysique a utilisé seulement la méthode indirecte basée sur les propriétés des roches qui est la résistivité. Ces travaux constituent des profils électriques dont ceux présentant, en profondeur les variations verticale et de la résistivité des roches, les plus intéressantes feront l'objet de recherche géophysiques.

J'ai passé deux mois de travail de bureau à Nouakchott pour l'interprétation et l'élaboration de données géophysiques.

Les sondages électriques réalisés ont été intégrés dans le logiciel IPI2 WIN pour une bonne interprétation et visualisation des profils électriques afin d'avoir le profil le plus favorable du point de vue profondeur et leur valeurs de résistivité. Les profondeurs visés sont pour Seyal Goubabé 90m et 50m pour Sithiane N'diacry .

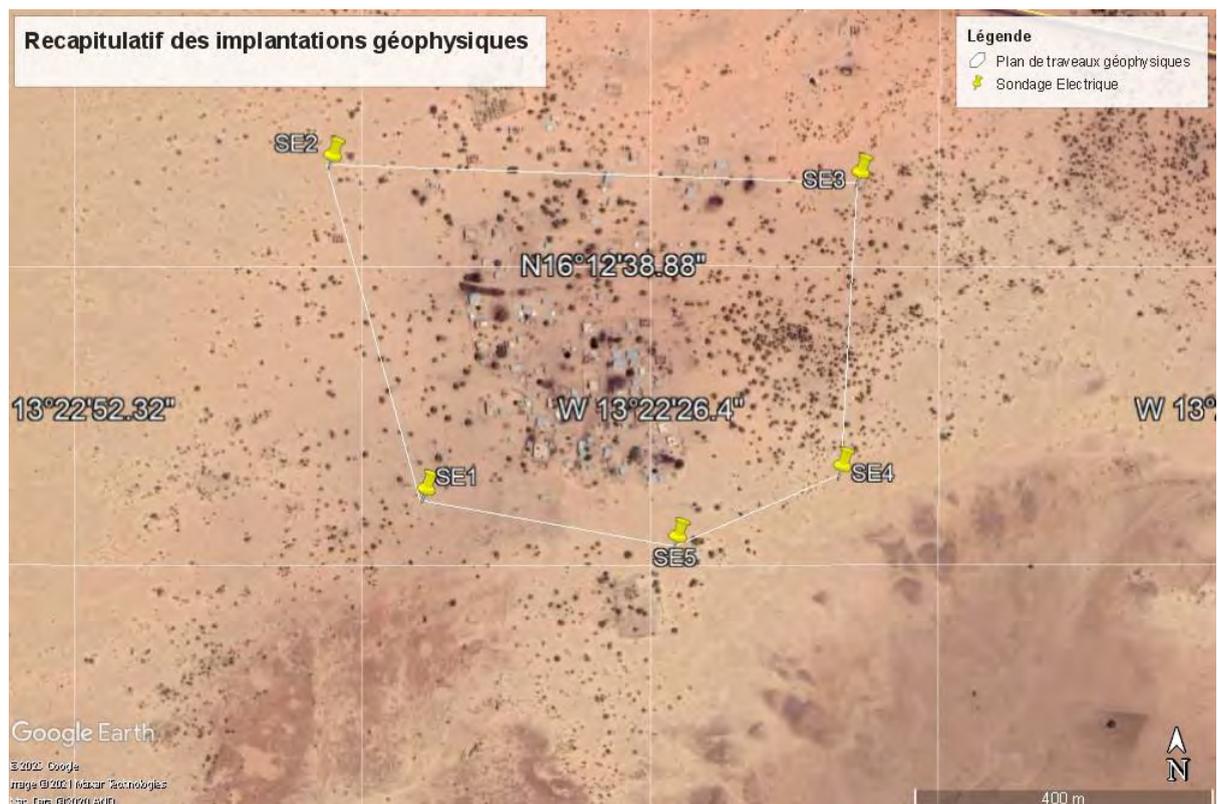


Figure 14: plan des travaux géophysiques réalisés à Seyal Goubabé

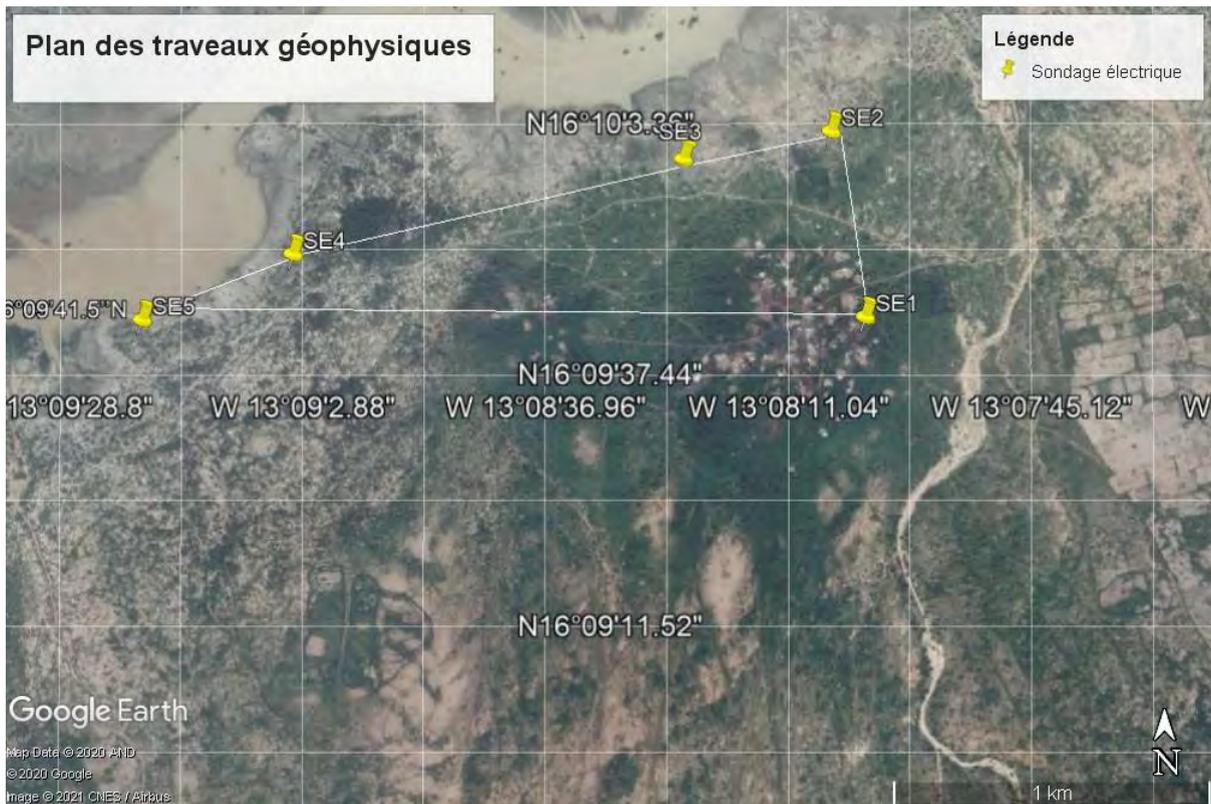


Figure 15: plan des travaux géophysiques réalisés à Sithianne N'diakry

II.1.2.1 Méthodes électriques

Le principe de la prospection électrique est d'injecter dans le sol un courant électrique continu d'intensité I entre deux électrodes A et B et de mesurer la différence de potentiel (ΔV) induite entre une autre paire d'électrodes M et N. (SNIM, 2017).

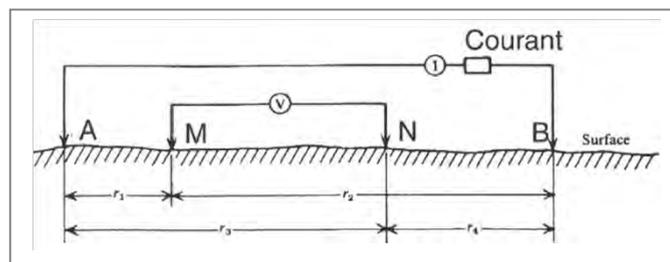


Figure 16: Dispositif Wenner Schlumberger

Le dispositif wenner schlumberger est caractérisé par : $AB \geq 3 MN$

A partir de la valeur du courant injecté I , de la mesure de la différence du potentiel ΔV et l'écartement entre les différentes électrodes, on peut déterminer la résistivité électrique apparente du sous-sol en basant sur la loi d'Ohm. (SNIM, 2017).

$$\rho = \frac{KdV}{I} \quad \text{avec} \quad K = \pi \frac{AM * AN}{MN}$$

- ΔV : La différence de potentiel entre M et N en volt (v).
- I : Intensité du courant en ampère (A).
- ρ : Résistivité en Ohm ($\Omega.m$)
- K : Facteur géométrique dépend de la configuration des électrodes (Dispositif).

La résistivité apparente d'un terrain hétérogène correspond à la résistivité d'un terrain homogène qui, pour une configuration identique des électrodes et un même courant injecté, donnera la même mesure ΔV . Elle est en fonction de la résistivité, de la géométrie des diverses couches et de la disposition des électrodes. Il existe plusieurs dispositifs des électrodes utilisées en pratique : Schlumberger, Wenner, Pôle-Pôle, Pôle-Dipôle, Dipôle-Dipôle, ...

La profondeur d'investigation d'un dispositif de Schlumberger et Wenner est égale à environ $AB/10$ de profondeur.

Domaine d'application des méthodes électriques

- Caractéristique de fractures
- Détection des cavités
- Imagerie des intrusions ou des migrations d'eau salée dans le sol et en général la structure du sous-sol.
- Détection des migrations de polluants dans le sol.
- Mise en évidence d'anomalies de porosité. (SNIM, 2017).

II.1.2.1.1 Sondage électrique

Un sondage électrique est une coupe verticale de la résistivité des couches. Pour ce faire, on utilise un dispositif de deux électrodes d'injection de courant et deux électrodes de mesures que l'on écarte pour atteindre des couches plus profondes, qui permettent de déterminer les épaisseurs des différentes couches traversées et leurs résistivités à partir de la résistivité apparente. (SNIM, 2017).

a- Dispositifs de mesure Schlumberger

Ce dispositif est utilisé pour la réalisation d'un sondage électrique. Il consiste à placer les quatre électrodes symétriques par rapport au centre O. La distance entre les électrodes MN est plus petite par rapport à la distance entre AB, en général $MN < AB/5$.

b- Loi d'Ohm

On calcule la résistivité apparente ρ_a
à partir de la loi d'ohm :

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \left[\frac{2\pi}{\underbrace{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}}_K} \right]$$

Interprétation sondage électrique :

La coupe de résistivité apparente est interprétée au moyen de logiciels spécifiques ou des abaques. On a utilisé le logiciel IPI2WIN pour interpréter les sondages électriques. L'interprétation des sondages électriques est une phase fondamentale qui détermine les épaisseurs des différentes couches verticales de résistivités par le moyen d'un logiciel spécial. Au total Dix sondages électriques ont été réalisés 5 sondages électriques à Seyal Goubabé 5 à Sithiane N'diacry au niveau des meilleures anomalies conductrices enregistrées.

II.2 Réalisation de forages d'eau

II.2.1 Matériels

Pour réaliser ces travaux, l'entreprise a mis en œuvre pour chacun des deux ateliers le matériel suivant :

- Le matériel de forage est comme suit :
 - 2 sondeuses, équipée d'une pompe à boue ;
 - 2 camions grues pour le transport PVC, des tiges de foration, tricônes, MFT, ;
 - 2 camions pour le transport de compresseurs ;
 - 2 véhicules légers Toyota de type pick up.
- Matériel de pompage :
 - 2 groupes électrogènes 16 KVA ;
 - 4 électropompes de diamètre 4 '' (2 kW et 4 kW) ;
- Matériel annexe (tubage d'exhaure, câbles ...) ;
 - 2 sondes électriques 150 m ;
 - 2 conductimètres ;
 - 4 chronomètres ;
 - Cuves de mesures débits : 200 litres, 100 litres, 50 litres, 20litres, 10 litres et 12 litres ;
 - 2 postes de soudure.

II.2.2 Méthode de Foration

Un forage peut être effectué en employant diverses méthodes. L'entreprise de forage est chargée de mettre en œuvre les techniques de forage adaptées aux conditions des terrains rencontrés. Le choix technique dépend de plusieurs paramètres :

- Les caractéristiques géologiques des terrains : roches dures et massives, roches tendres et friables...
- La profondeur à atteindre
- Le diamètre souhaité

II.2.2.1 Généralités de la Méthode Marteau Fond de Trou (MFT)

La technique de forage utilisée pendant ces travaux, est celle du Marteau Fond de Trou (MFT). Cette méthode de forage utilise la percussion au fond de trou assortie d'une poussée sur l'outil qui se trouve lui-même en rotation. L'énergie utilisée pour actionner cet outillage est l'air comprimé à haute pression (10 à 25bar) permettant également d'évacuer les débris de forage. Cette méthode est surtout utilisée dans les formations dures car elle permet une vitesse de perforation plus élevée que celle obtenue avec les autres méthodes. Elle permet une bonne observation des "Cuttings" et limite la pollution des zones productrices.

II.2.2.2 Alésage

C'est une étape des travaux de forage qui consiste à agrandir le diamètre du forage de reconnaissance. L'agrandissement se fait en utilisant un outil de forage de diamètre plus grand que celui du forage de reconnaissance. L'alésage permet aussi d'avoir une bonne chambre de captage et de placer une pompe puissante assurant un bon débit d'exploitation.

II.2.2.3 Equipement

L'équipement a lieu après l'arrêt de la foration, immédiatement après le nettoyage du trou de forage à l'air comprimé. Un équipement de forage est constitué de : tube décanteur, crépines et tubes pleins, disposés suivant un plan bien précis : celui du plan d'équipement. Les tubages utilisés sont soit en PVC soit en Acier et sont caractérisés par leurs longueurs, les épaisseurs des parois, la qualité de l'acier et son diamètre.

- Critères d'un bon choix des crépines sont :
 - Un grand pourcentage des ouvertures
 - Des ouvertures qui ne se bouchent pas
 - Une grande résistance à la corrosion
 - Une crépine résistante à la pression verticale et horizontale d'écrasement.

II.2.2.4 Gravillonnage

Le gravillonnage consiste à remplir de gravier tout l'espace en-dessus du tube décanteur appelé l'espace annulaire entre le trou et la colonne de tubage.

- Caractéristiques du massif de gravier filtrant :

Le massif de gravier filtrant peut être constitué par :

- Du gravier naturel, siliceux, calibré ;
- Des billes calibrées à base d'oxydes électro fondus (zirconium, silice, bauxite).

Quel que soit le matériau constituant le massif de gravier, il doit être à gravier arrondie, lisse et uniforme, propre et bien lavé. Ces caractéristiques lui donnent une meilleure perméabilité. Le gravier de carrière ou concassé, dont les angles et les arêtes vives ont tendance à s'imbriquer les unes dans les autres lors de l'opération du développement, diminue la perméabilité initiale du massif filtrant. Un massif de gravier ne devra pas contenir plus de 5% des matériaux calcaires. Ceci est important, car sinon un traitement du forage sera nécessaire plus tard, la plus grande partie de l'acide utilisée servira alors à dissoudre les grains calcaires du massif de gravier filtrant plutôt que d'enlever l'incrustation, des dépôts de calcaire ou de fer. Pour qu'un massif de gravier filtrant soit efficace et permette des opérations de nettoyage et de développement dans de bonnes conditions, il faut que son épaisseur soit comprise entre 3 et 8 pouces.

a) Les rôles de massif filtrant

- ✓ Augmenter la perméabilité ;
- ✓ Diminuer les pertes de charge et le rabattement ;
- ✓ Permettre un accès plus facile à l'aquifère pour les opérations de développement ou d'éventuelle réhabilitations ;
- ✓ Minimiser les risques de formation de ponts de grain

b) Volume du gravier

Le Calcul du volume de massif filtrant se fait par la formule empirique :

$$V = h \cdot 0.8 \cdot (D^2 - d^2)$$
 Avec :

- V : le volume de gravier en litre.
- h : hauteur du massif de gravier en m.
- D : diamètre du trou en pouces.
- d : diamètre des tubes en pouce.

II.2.2.5 Développement

On procède au développement d'un forage lorsqu'il est déjà équipé de sa crépine et avant de placer la pompe d'exploitation. Il a pour but :

- D'améliorer la perméabilité de la formation aquifère située autour de la crépine et à stabiliser cette formation,
- D'accroître la perméabilité naturelle de la formation aquifère,
- D'accroître la porosité d'une formation rocheuse de type grés,
- D'améliorer la capacité spécifique du forage,
- D'éliminer le cake déposé sur les parois du forage,
- De produire une eau claire dépourvue matières solides avec un débit spécifique maximum.

Les forages équipés ont été développés d'abord à l'air lift jusqu'à l'obtention d'une eau claire sans particules sableuses, puis développés à la pompe immergée pour une durée de deux heures. Le développement pratiqué à la pompe permet de donner une estimation sur les débits avec lesquels les forages seront testés durant les essais de pompage.

II.2.2.6 Cimentation

La cimentation est une opération qui consiste à remplir avec un mélange eau et ciment l'espace annulaire au-dessus du massif filtrant jusqu'à la surface du sol. La cimentation a pour but de protéger le forage contre les pollutions extérieures. La cimentation doit être faite en règle générale avant les essais de pompage, mais aussi il est possible de la faire après les opérations de développement et d'essais de pompage, dans la mesure où un bouchon d'argile a été déposé au-dessus du massif filtrant.

II.2.2.7 Les essais de pompage

Les essais de pompage consistent à mesurer les rabattements du niveau dynamique en fonction du débit de pompage et sa remontée après l'arrêt de l'opération.

- Types d'essais de pompage :

On distingue deux types d'essai :

- **L'essai de puits**

Il Permet de déterminer les caractéristiques de l'ouvrage et le débit critique. Il consiste à effectuer une série de pompage à différents débits, pendant des temps relativement courts et d'évaluer les rabattements correspondants.

- **L'essai de nappe**

Il permet d'obtenir des informations sur les paramètres hydrodynamiques qui sont la transmissivité, le coefficient de perméabilité...etc.

Le pompage proprement dit comprend essentiellement deux phases, les mesures et l'interprétation des données recueillies. Les phases de mesure concernant les mesures de débit de pompage et les mesures de niveau d'eau. Ces mesures constituent les niveaux statiques, dynamiques des forages. Elles sont prises de façon régulière au début l'exercice et espacées progressivement.

Pour chaque forage d'exploitation, des pompages d'essai ont été effectués pour déterminer les caractéristiques du forage (essai de puits) et les caractéristiques de l'aquifère (essai de nappe).

II.2.2.8 Echantillonnage

C'est l'étape qui consiste à prélever les échantillons d'eau en vue des analyses chimiques au laboratoire. Les paramètres physico-chimiques tels que le pH, la température, la conductivité électrique, les résidus secs sont pris in situ. Cette opération s'effectue après les pompages d'essai. Le prélèvement pour les deux forages a été fait dans des bouteilles de 1.5l, préalablement rincer trois fois à l'eau de chaque forage. Ces échantillons ont été amenés au laboratoire de l'Institut National des Recherches en Santé (INRSP) de Nouakchott, pour des analyses chimiques des ions majeurs.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Résultats de la Géophysique

III.1.1 Méthode électrique

III.1.1.1 Sondages électriques

Les courbes des sondages électriques obtenues ont permis de choisir trois sondages par localité.

En analysant les courbes représentées dans la même feuille bi-logarithmique, nous avons subdivisés en trois parties chaque courbe de variations de la résistivité en fonction de - AB/2 (figure 17 et 18).

1) Seyal Guababé

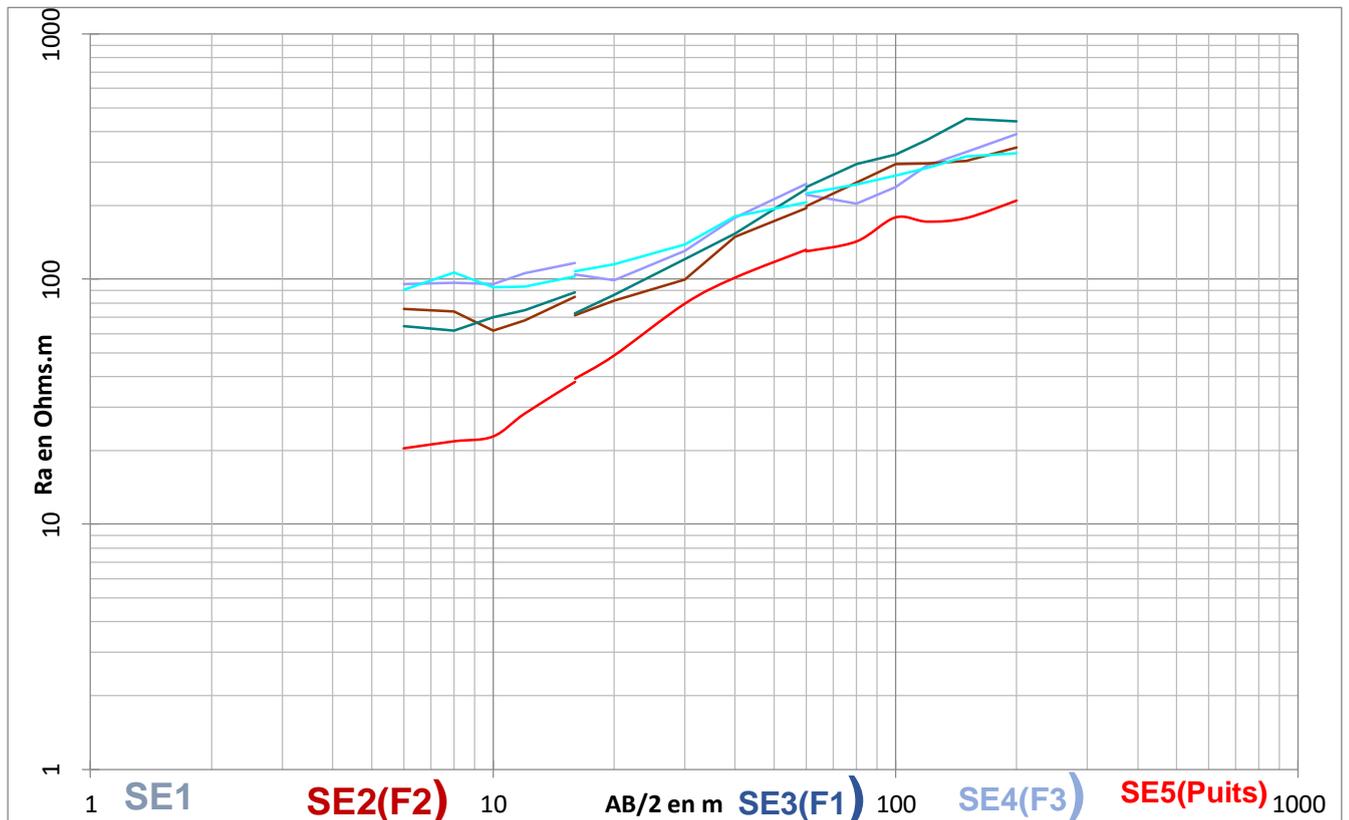
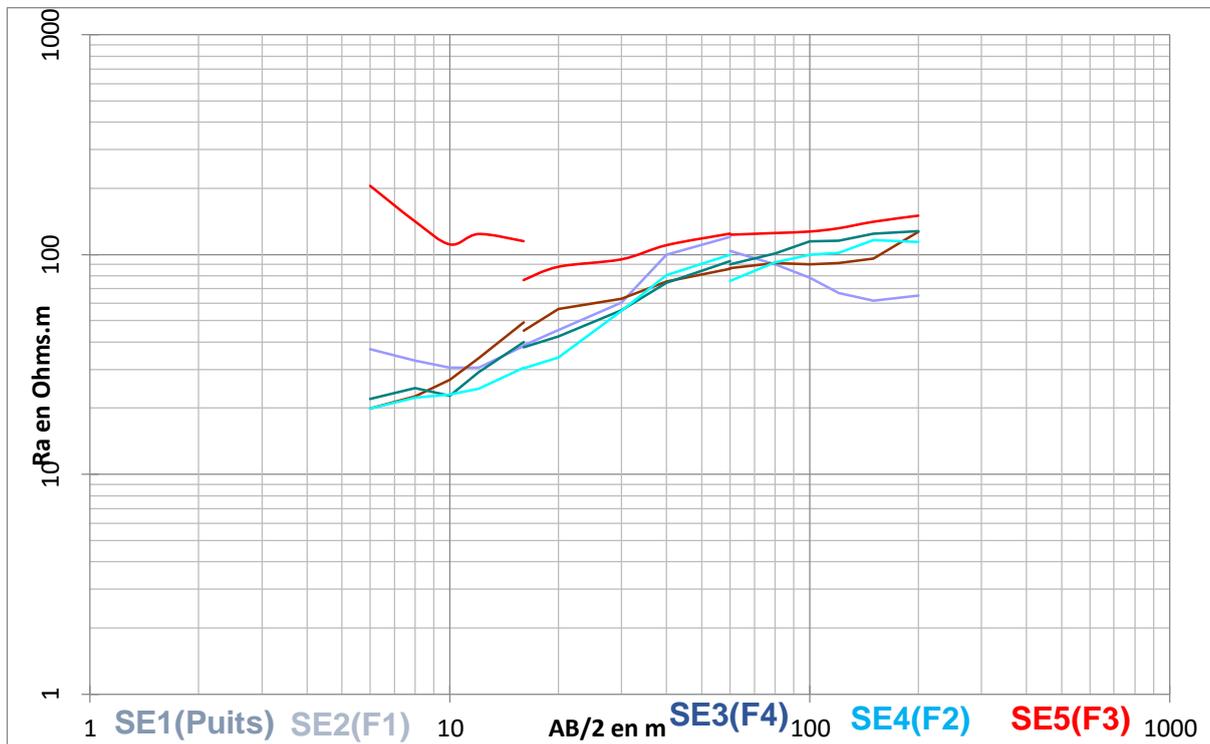


Figure 17: sondages électriques verticaux à Seyal Guababé

La figure ci-dessous présente les courbes de résistivité en fonction de la profondeur. Elle montre que les résistivités augmentent en profondeur pour tous les sondages électriques sauf le cinquième sondage qui montre une faible résistivité superficielle.

2) Sithiane N'diacry



La figure ci-dessous présente les courbes de résistivité en fonction de la profondeur. Elle montre que les résistivités augmentent en profondeur pour tous les sondages électriques sauf le cinquième sondage qui montre une résistivité de surface.

III.1.2 Interprétation des sondages électriques par logiciel (IPI)

L'interprétation des sondages électriques permet d'obtenir l'épaisseur et la résistivité exacte de chacune des couches en fonction de la profondeur du terrain à l'aplomb du centre du sondage.

- Localité de seyal goubabé

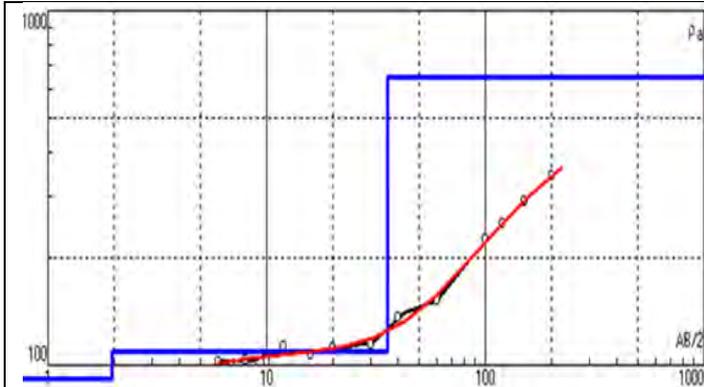


Figure 19: Représentation graphique de sondage F1

N	Résistivité (ohm*m)F1	Epaisseurs (m)	Profondeur (m)
1	92	1.69	1.96
2	109	33.7	36.5
3	651		

Tableau 1: Résultats des modèles 3 à couches F1 à Seyal Goubabé

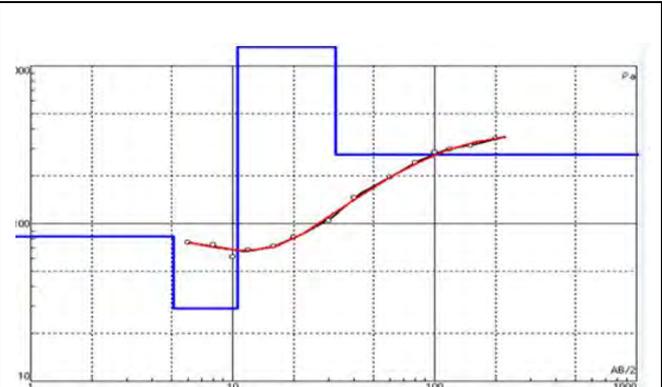


Figure 20: Représentation graphique de sondage F2

N	Résistivité (ohm*m)F2	Epaisseurs (m)	Profondeur (m)
1	83.1	5.06	5.06
2	180	5.46	10.5
3	1001	22.4	32.9

Tableau 2: Résultats des modèles 3 à couches F2 à Seyal Goubabé

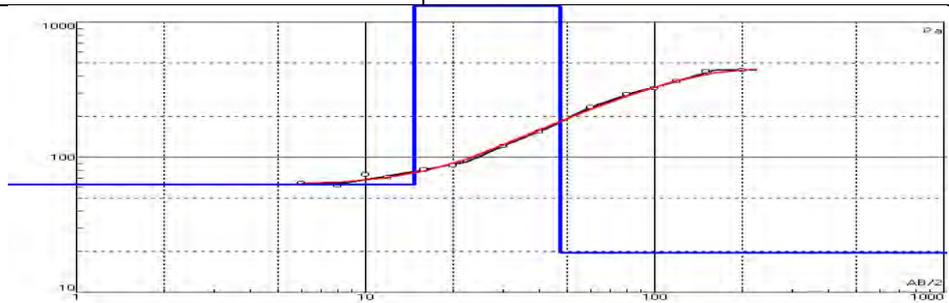


Figure 21: Représentation graphique de sondage F3

N	Résistivité (ohm*m)F3	Epaisseurs (m)	Profondeur (m)
1	61	14.8	14.8
2	190	32.5	47.3
3	510		

Tableau 3: Résultats des modèles 3 à couches F3 et 5 à Seyal Goubabé

- Localité de Sithiane N'diacy

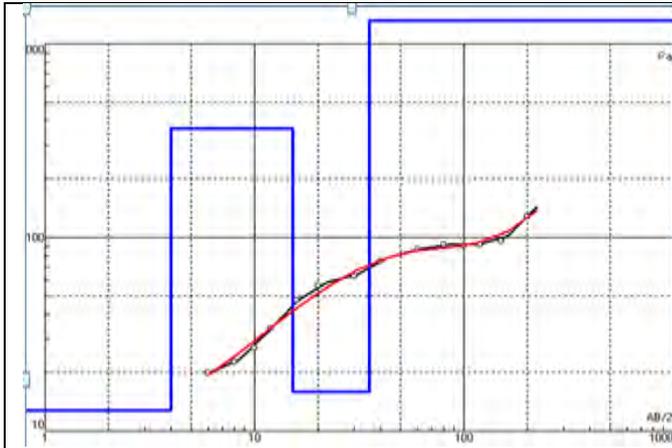


Figure 22: Représentation graphique de sondage F1

N	Résistivité (ohm*m)F1	Epaisseurs (m)	Profondeur (m)
1	12.5	3.99	3.99
2	366	11.3	15.3
3	16	20.2	35.5

Tableau 4: Résultats des modèles 3 à couches F1 à Sithiane N'diacy

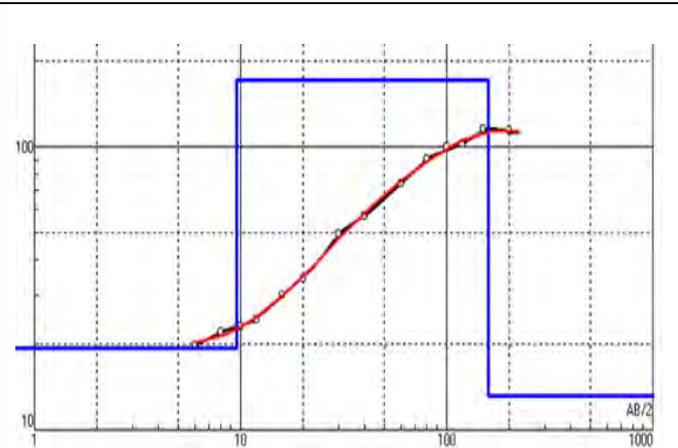


Figure 23: Représentation graphique de sondage F2

N	Résistivité (ohm*m)F2	Epaisseurs (m)	Profondeur (m)
1	19.4	9.52	9.52
2	172	149	149
3	13.2		

Tableau 5: Résultats des modèles 3 à couches F2 et 5 à Sithiane N'diacy

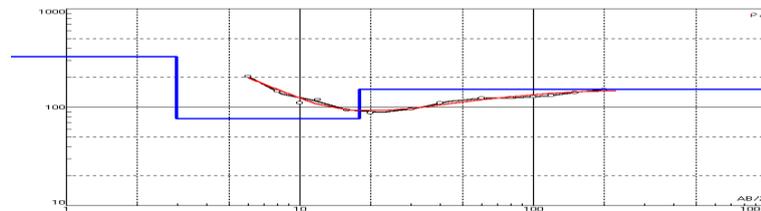


Figure 24: Représentation graphique de sondage F3

N	Résistivité (ohm*m)F3	Epaisseurs (m)	Profondeur (m)
1	327	2.94	2.94
2	77.1	48.8	17.9
3	153		

Tableau 6: Résultats des modèles 3 à couches F3 à Sithiane N'diacy

Interprétation des Sondages électriques :

Les études hydrogéologiques et géophysiques ont permis de proposer dans chaque localité trois sites de forages de reconnaissance dans l'objectif d'en transformer un en forage d'exploitation par localité.

Zone 1 : localité de Seyal Goubabé

Figure 19 : cette figure montre :

- un conducteur superficiel de résistivité 92 ohm avec une épaisseur 1.69m et une profondeur de 1.96m caractérisé par des couches argileuses ;
- un résistant intermédiaire de résistivité 109 ohm avec une épaisseur 33.7m et une profondeur de 36.5m caractérisé par des couches sables argileuses ;
- un résistant final de résistivité 651ohm caractérisé par des couches des sableuses ;

Figure 20 : cette figure montre :

- un résistant superficiel de résistivité 83.1ohm avec une épaisseur 5.06 m et une profondeur de 5.06m caractérisé par des couches sables secs ;
- un résistant de résistivité 180 ohm avec une épaisseur 5.46m et une profondeur de 10.5m caractérisé par des couches sables argileuses ;

Un résistant final de résistivité 1001 ohm avec une épaisseur 22.4m et une profondeur de 32.9m caractérisé par des couches sableuses.

Figure 21 : cette figure montre :

- un conducteur superficiel de résistivité 61 ohm avec une épaisseur 14.8m et une profondeur de 14.8m caractérisé par des couches argileuses ;
- un résistant de résistivité 190 ohm avec une épaisseur 32.5m et une profondeur de 47.3m caractérisé par des couches sableuses ;
- un conducteur final de résistivité 510 ohm caractérisé par des couches argileuses ;

Zone 2: localité de Sithiane n'diacry

Figure 22: cette figure montre :

- un conducteur superficiel de résistivité 12.5 ohm avec une épaisseur 3.99m et une profondeur de 3.99 m caractérisé par des couches argileuses ;
- un résistant de résistivité 366 ohm avec une épaisseur 11.3m et une profondeur de 15.3m caractérisé par des couches sableuses ;
- un conducteur final de résistivité 16 ohm avec une épaisseur 20.2m et une profondeur de 35.5m caractérisé par des couches argileuses ;

Figure 23: cette figure est caractérisé par :

- un conducteur superficiel de résistivité 19.4 ohm avec une épaisseur 9.52m et une profondeur de 9.52 m caractérisé par des couches argileuses ;
- un résistant de résistivité 172 ohm avec une épaisseur 149m et une profondeur de 149m caractérisé par des couches sableuses ;
- un conducteur final de résistivité 13.2 ohm caractérisé par des couches des argileuses ;

Figure 24: cette figure montre :

- un résistant superficiel de résistivité 327 ohm avec une épaisseur 2.94m et une profondeur de 2.94m caractérisé par des couches des sables sec ;
- un conducteur de résistivité 77.1 ohm avec une épaisseur 48.8m et une profondeur de 17.9m caractérisé par des couches des sable argileuses ;
- un résistant final de résistivité 153 ohm caractérisé par des couches des sables ;

L'interprétation des sondages électriques avec le logiciel (IPI) a permis de calculer un paramètre déterminant dans le choix des cibles : la résistivité vrai, les épaisseurs des couches et les profondeurs. Ces interprétations confirment les résultats des sondages d'étalonnages dans les deux localités en termes de nombres de couches et des profondeurs.

L'analyse des données de l'étude hydrogéologique et géophysique menée dans la zone de l'étude permet de proposer le site du SE1 comme implantation du futur forage Pour Seyal Goubabé et SE2 Pour la localité de Sithiane N'diacry, on a proposé ces deux sondages parce qu'ils sont les plus résistants et le moins argileuses.

III.2 Résultats de la foration

La foration qui a été faite, à partir des points déterminés par les résultats géophysiques a donné un forage positif par localité.

III.2.1 Forage de reconnaissance et Alésage

La foration a été réalisée au tricône à l'air dans les terrains de surface, suivie de la pose d'un tubage provisoire métallique.

Après mise en place du tubage provisoire, les forages ont été poursuivis en reconnaissance Pour les sites Seyal Guababé, Sinthiana Ndiakry (bassin sédimentaire), la technique de foration utilisée est celle du rotary à la boue. Dans les terrains de surface, la foration a été réalisée à la main en diamètre 17'' de 0 à 1 m avec mise en place d'un tubage provisoire.

- Après la mise en place du tubage provisoire, les forages ont été poursuivis en reconnaissance à la boue benthonique en diamètre 8''1/2 jusqu'à la profondeur finale, puis alésés en diamètre 12''1/4, ce diamètre est le diamètre définitif et les forages ont été transformés en forages d'exploitation.
- Après mise en place du tubage provisoire, les forages ont été poursuivis en reconnaissance au MFT de diamètre 6''1/2 jusqu'à la côte prévue par l'étude géophysique et/ou décidée par l'hydrogéologue contrôleur des travaux en fonction des résultats de la foration de chaque ouvrage.
- Les forages de reconnaissance positifs ont été transformés en forage d'exploitation par alésage en diamètre 8''1/2 puis équipés en tubage PVC pleins et crépines 6''.
- Les forages de reconnaissance secs; donnant de très faibles débits ou de l'eau salées ont été déclarés négatifs et été comblés.

III.2.2 Equipement des forages

Les deux forages positifs ont été transformés en forages d'exploitation et équipés de tubages et crépines en PVC vissés de marque SOTICI de longueur 5,80m et de diamètre 5''1/2, diamètre suffisant pour recevoir des pompes de 4''.

Les figures (25 et 26) présentent les coupes lithologiques et techniques des deux forages.

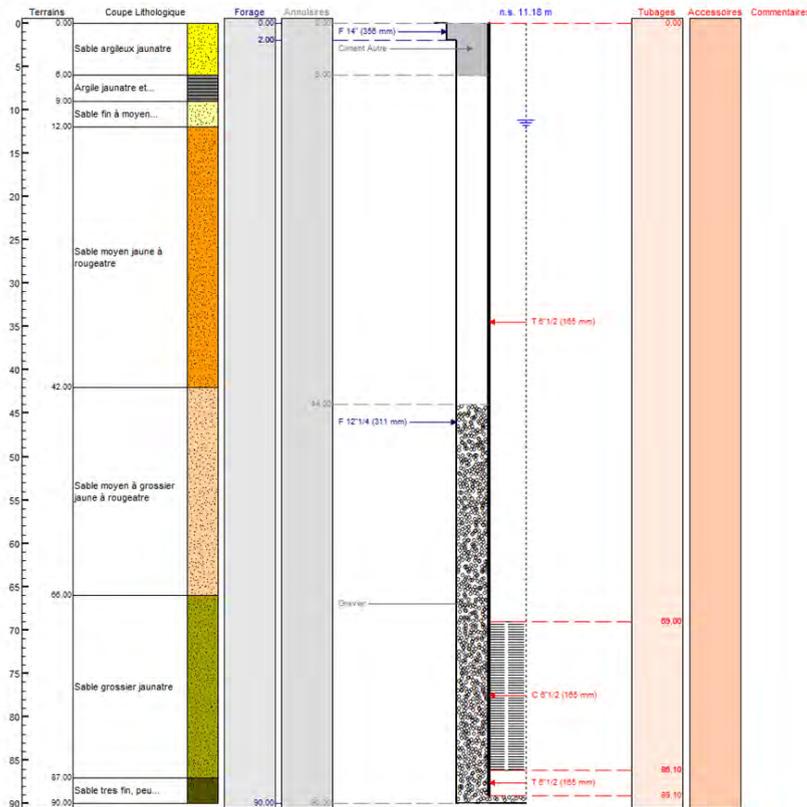


Figure 25: coupe technique du F1 Seyal Guababé

Pour F1 , le forage a atteint une profondeur de 90 m. Les différentes formations géologiques traversées sont respectivement :

- un recouvrement sableux de 0.00 à 6 m ;
- du sable fin jaunâtre de 6 à 9m ;
- de l'argile jaunâtre et graviers , 9 à 12m ,
- du sable fin à moyen jaunâtre et de 12 à 42m ;
- du sable moyen , jaune à rougeâtre de 42 à 66m ;
- du sable moyen à grossier , jaune à rougeâtre de 66 à 87m ;
- du sable grossier rougeâtre et de 87 à 90m ;
- du sable très fin ,peu argileux .

Les venues d'eau se localise entre les niveaux 68 et 70m et le niveau statique est à (10.18m).

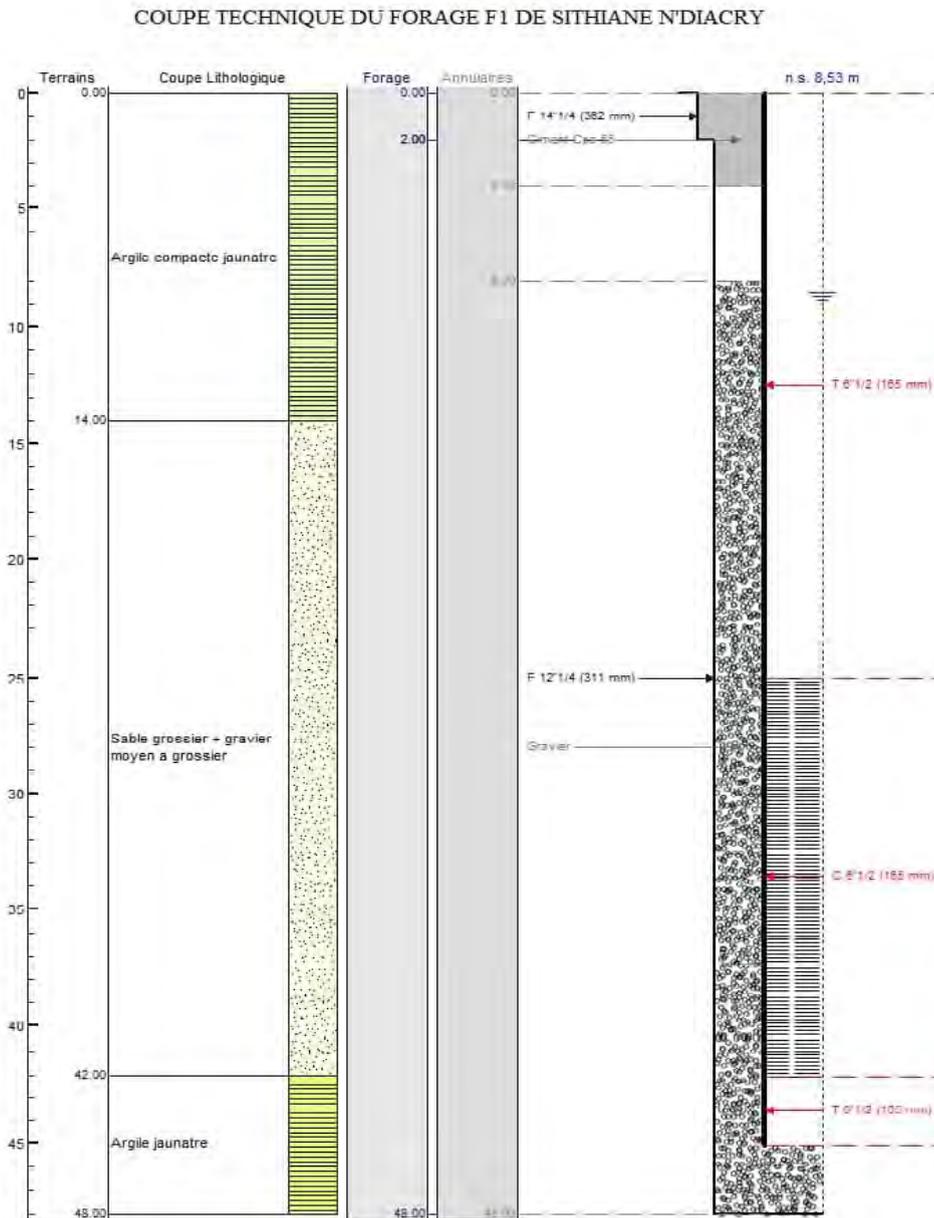


Figure 26: coupe technique du F1 Sithiane N'diacry

Le forage F1 Sithiane N'diacry de profondeur de 48 m. Les différentes formations géologiques traversées sont respectivement :

- des formations argileuses, de 0.00 à 14 m de profondeur ;
- de l'argile compacte jaunâtre de 14 à 42 m ;
- du sable grossier et graviers moyen à grossier.

Les venues d'eau les plus importantes se situent entre 25 - 42 m et le niveau statique est à 8.53 m.

Localités	N° Forage	Coordonnées GPS (WGS 84)		Technique de foration	Prof. (m)	Débit fin foration (m ³ /h)	Cond. fin foration (μS/cm)	Position des crépines (m)	Remarques
		Latitude N	Longitude W						
Seyal Guababé	F1	16°12'42.4"	13°22'17.2"	Rotary	90	18	105	69 à 86,10 m	Forage exploitation
Sinthiana Ndiakry	F1	16°10'01.0"	13°08'06.9"	Rotary	48	18	102	25 à 42,10 m	Forage exploitation

Tableau 7: Caractéristiques sommaires des forages

III.2.3 Le développement

Les forages équipés ont été développés d'abord à l'air lift jusqu'à l'obtention d'une eau claire sans particules sableuses, puis développés à la pompe immergée pour une durée de deux heures.

Le développement pratiqué à la pompe permet de donner une estimation sur les débits avec lesquels les forages seront testés durant les essais de pompage.

Les forages positifs, équipés en forages d'exploitation ont été développés d'abord à l'air-lift par compresseur pendant au minimum de 2 heures pour les forages MFT et au minimum 4 heures de temps pour les forages rotary. Les forages rotary ont été par la suite développés par traitement chimique à l'hexamétophosphate de soude. A la fin du développement, tous les forages ont fait l'objet d'un développement à la pompe immergée jusqu'à l'obtention d'une eau claire dépourvue de toutes particules solides.

III.2.4 Pompage d'essai

Les résultats obtenus consignés dans les tableaux en annexes ont permis de construire les différentes courbes.

III.2.4.1 Essai de puits :

Les essais de puits réalisés sur les différents forages d'exploitation se composent de 4 paliers à débit différent, le débit augmentant habituellement à chaque palier, suivis d'arrêt jusqu'à obtention du niveau statique initial. Pendant les essais, la descente ainsi que la remontée sont observées par des prises de mesures du niveau dynamique dans l'ouvrage. Le but de ces essais de courte durée est de déterminer les grandeurs suivantes pour chaque forage :

- Les caractéristiques du forage,
- Les pertes de charges quadratiques

□ Courbe caractéristique des forages

La courbe caractéristique est la représentation graphique du rabattement en fonction du débit (m³/h). Cette courbe permet de déterminer le débit critique Q_c et le rabattement correspondant S_c .

La courbe caractéristique se caractérise par l'équation de Jacob :

$$S = C Q^2 + B Q \text{ (équation 1)}$$

Où S est le rabattement. Q : le débit de pompage et B et C des constantes.

B : coefficient de perte de charge linéaire

C : coefficient de perte de charge quadratique

□ Le débit critique Q_c

Il correspond au point où la courbe quitte son aspect linéaire pour prendre la forme parabolique. Le débit critique est en fait le débit maximum pour un écoulement laminaire (phase linéaire du graphique) et après lequel commence l'écoulement turbulent. Dans ce cas, il y a forte augmentation du rabattement pour une faible variation du débit. Il s'exprime en m³/h.

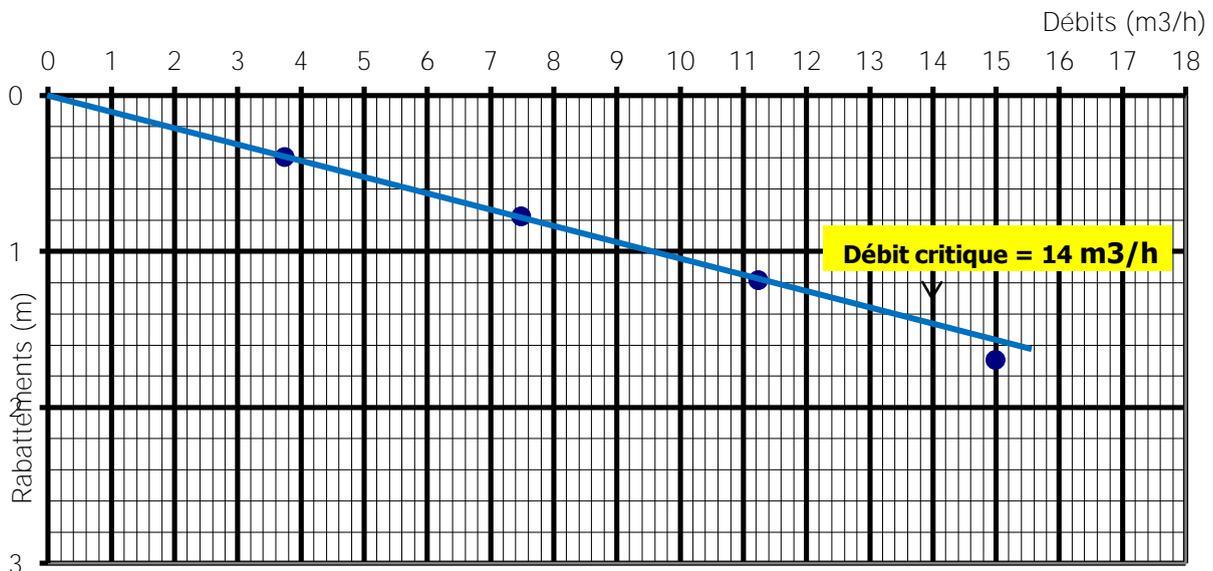


Figure 27: courbe caractéristique du F1 Seyal Goubabé

Pour F1 Seyal Goubabé, La courbe caractéristique présente une allure parabolique convexe. Le point de rupture de cette courbe détermine un débit critique $Q = 14 \text{ m}^3/\text{h}$ qui sépare l'écoulement laminaire et l'écoulement devient turbulent aux rabattements $S_c = 1.2 \text{ m}$. L'équation de cette courbe caractéristique est identifiée à partir des pertes de charge linéaire et quadratique (figure 27).

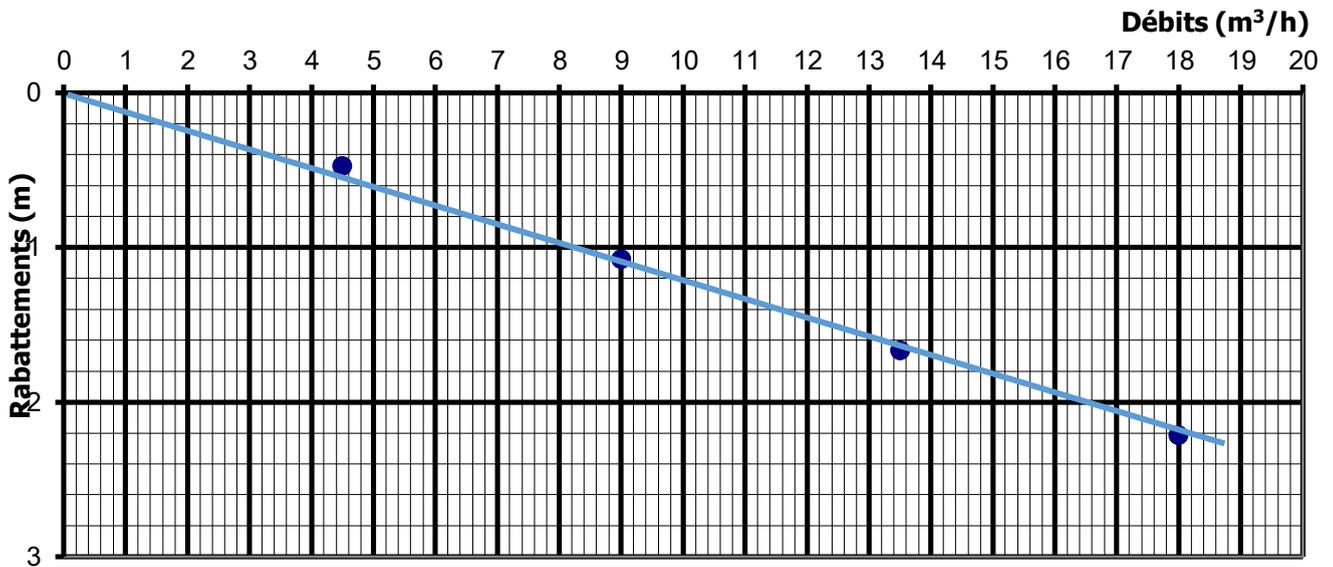


Figure 28: courbe caractéristique du F1 à Sithiane N'diacry

Le débit critique n'a pas été atteint sur ce forage car le débit du forage est plus grand que le débit de la pompe utilisée lors du pompage (fig.28).

□ *Evaluation des pertes de charges par la méthode de Jacob [courbe $S/Q = f(Q)$]*

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

Les pertes de charge les plus importantes sont :

- Les pertes linéaires BQ qui sont provoquées par l'écoulement de type laminaire en régime transitoire. Elle est liée à l'aquifère, mais aussi à la partie captante.
- La perte de charge quadratique CQ^2 qui dépend du débit pompé et de l'équipement technique de l'ouvrage (diamètre du tubage et de la crépine).

Ces pertes de charge sont déterminées par la relation suivante :

$$S/Q = C Q + B \text{ (équation 2)}$$

Où S est le rabattement. Q : le débit de pompage et B et C les coefficients de Jacob.

Les deux coefficients des pertes de charge sont déterminés à partir de l'illustration graphique de l'équation 2.

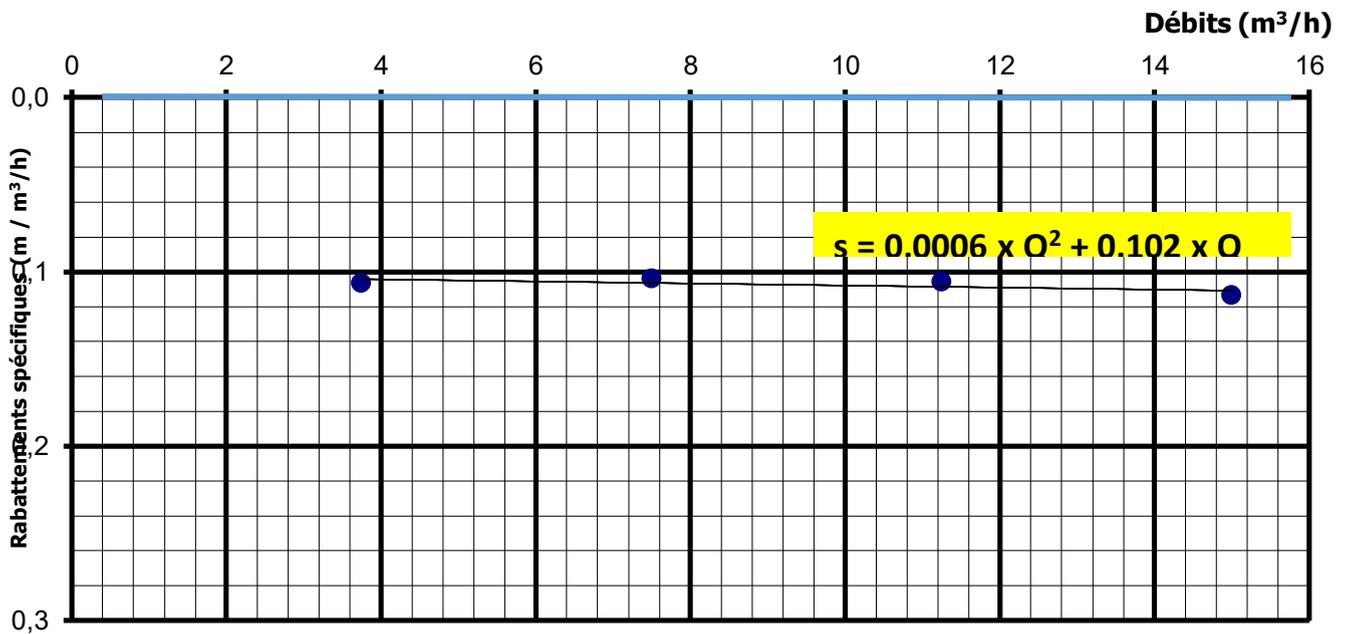


Figure 29: Courbe rabattement spécifique en fonction du débit F1 : Seyal goubabe

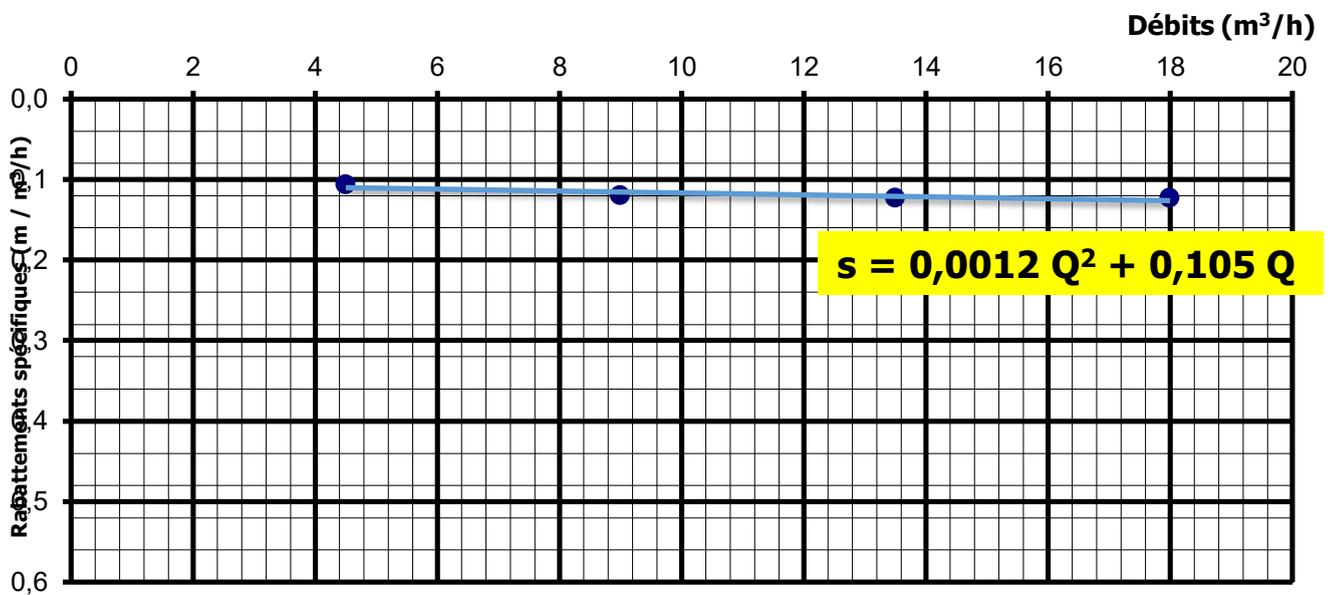


Figure 30: Courbe rabattement spécifique en fonction du débit F1 : Sithiane N'diacry

Les deux figures 29 et 30 nous ont permis de calculer les valeurs de coefficient B de l'équation de Jacob qui est donné par l'intersection de la droite avec l'axe s/Q et le coefficient C de la perte de charge quadratique qui représente la pente de la droite.

Les calculs des pertes de charges et les rendements correspondants sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous :

F1	Débit m ³ /h	Rabattement (m)	Rabattement spécifique	B Q	CQ2	S calculé	Pertes de charges quadratiques %	Rendement
Etat initial			0.00					
Palier 1	3.8	0.40	0.11	0.3825	0.01	0.39	2	97
Palier 2	7.5	0.78	0.10	0.765	0.03	0.80	4	96
Palier 3	11.3	1.19	0.11	1.1475	0.08	1.22	6	93
Palier 4	15.0	1.70	0.11	1.53	0.14	1.67	8	91

Tableau 8:Répartition des pertes de charge et les rendements de F1 à Seyal goubabe

F1	Débit m ³ /h	Rabattement (m)	Rabattement spécifique	B Q	CQ2	S calculé	Pertes de charges quadratiques %	Rendement
Etat initial			0.00					
Palier 1	4.5	0.48	0.11	0.4725	0.02	0.50	5	67
Palier 2	9.0	1.08	0.12	0.945	0.10	1.04	9	90
Palier 3	13.5	1.67	0.12	1.4175	0.22	1.64	13	86
Palier 4	18.0	2.22	0.12	1.89	0.39	2.28	17	82

Tableau 9:Répartition des pertes de charge et les rendements de F1 à Sithiane N'diacry

Les valeurs présentées par ces tableaux montrent que les pertes de charge linéaire BQ sont plus importantes que les pertes de charge quadratique. Les rendements et les pertes de charges sont inégaux pour les deux forages. Le forage F1 de Sithiane N'diacry a des rabattements spécifiques plus faibles que le forage F1 de Seyal goubabe.

□ *La productivité de forages F1 à Seyal Goubabé et Sithiane N'diacry*

La productivité d'un puits (Pr) est le débit d'exploitation maximum d'un ouvrage correspondant 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). Celui-ci est imposé par la valeur du rabattement critique et également par le coût de production de l'eau. Elle s'exprime tel que le montre l'équation (01) ci-après :

$$Pr = qs * S_{max} ; Pr : \text{la productivité d'un forage}$$

Où q_s le débit spécifique $q_s = Q_c/S_c$ et S_{max} est le rabattement maximum admissible.

Pour F1 Seyal Goubabé : $Pr = 13 \text{ m}^3/\text{h}$

Pour F1 Sithiane N'diacry : $Pr = 18 \text{ m}^3/\text{h}$

III.2.4.2 Essai de nappe

Les essais de nappe se sont déroulés pendant 24 heures à débit constant pour chaque forage, avec la prise du niveau dynamique tout au long de l'essai, ainsi que la prise des échantillons d'eau dans les 10 dernières minutes avant la fin de la descente. Après arrêt du pompage il y a eu l'observation de la remontée pendant 12 heures.

C'est un essai à longue durée, qui a pour objectif de calculer les paramètres hydrodynamiques (T et S). On suppose que les forages sont complets et captent la totalité de la nappe libre. Toutes les méthodes d'interprétation des pompages d'essai, sont basées sur la comparaison entre les expériences et l'expression analytique. Ce qui est la solution d'une équation différentielle.

La transmissivité est calculée par la pente de la droite représentative. L'échelle des coordonnées n'étant pas homogène, la pente est déterminée par l'accroissement des rabattements, au cours d'un module logarithmique, noté Δs . La transmissivité est calculée par l'expression :

$$T = 0.183 Q/\Delta s \text{ Equation 3, avec}$$

Q : le débit moyen m^3/s pendant le pompage et Δs : la variation du rabattement sur un cycle logarithmique

a) Observation du rabattement lors de la descente

La transmissivité est obtenue à partir de l'équation suivante :

- T descente (T_D) de F1 à Seyal Goubabé :

$$T_D = 1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \text{ pour la descente}$$

- T descente (T_D) de F1 à Sithiane N'diacry:

$$T_D = 1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \text{ pour la descente}$$

Le coefficient d'emménagement est obtenu à partir de l'équation suivante :

$$S = 2.25Tt_0/X^2$$

Le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère ne peut être calculé que si l'on dispose de données provenant de forages d'observation, ce qui n'a pas été le cas ici.

Les figures 31 et 32 en-dessous montrent les courbes de descentes qui montrent le rabattement en fonction du temps.

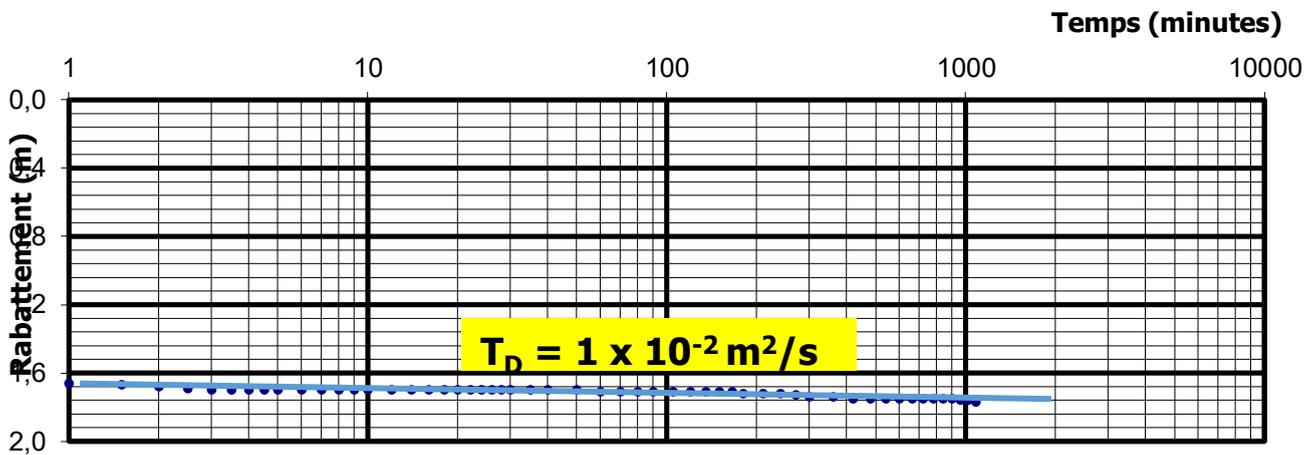


Figure 31: courbe de descente d'essai de nappe pour F1 à Seyal Guababé

L'analyse de la figure 31 nous permet de mettre en évidence les éléments suivants :

- Une descente peu rapide depuis le début des pompages jusqu'à 1000 minutes.
- Le niveau de la nappe continue de baisser avec un rabattement de 1.8 à la dernière heure de pompage.

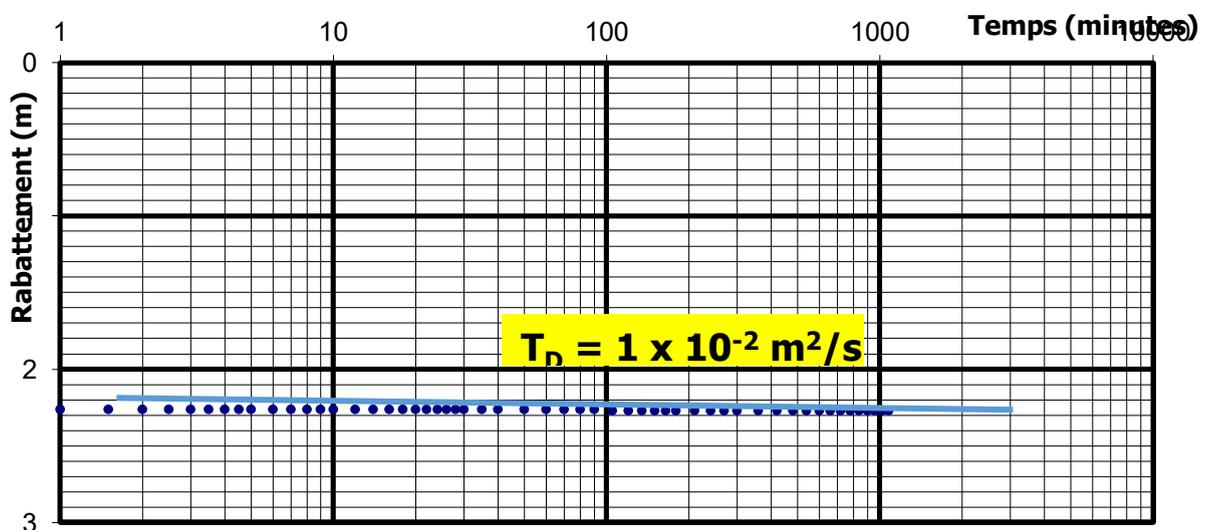


Figure 32: courbe de descente d'essai de nappe pour F1 à Sinthiana N'Diacry

La figure 32 montre : une descente peu rapide du niveau dynamique, le niveau de la nappe continu de baisser régulièrement pendant toute la durée de l'essai de pompage avec une petite variation à la dernière heure de pompage

b) Observations de la remontée du rabattement

L'essai de remontée n'est pas un essai de pompage au sens strict du terme, car il consiste à observer la remontée de l'eau après l'arrêt du pompage. Cet essai peut fournir des informations importantes relatives au comportement hydraulique de l'aquifère, alors le succès d'un essai de nappe peut dépendre des données collectées lors de la remontée.

- T Remontée(T_R) de F1 à Seyal Goubabé:

$$T_R = 4 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \text{ pour la remontée.}$$

- T Remontée(T_R) de F1 à Sithiane N'diacry:

$$T_R = 6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \text{ pour la remontée.}$$

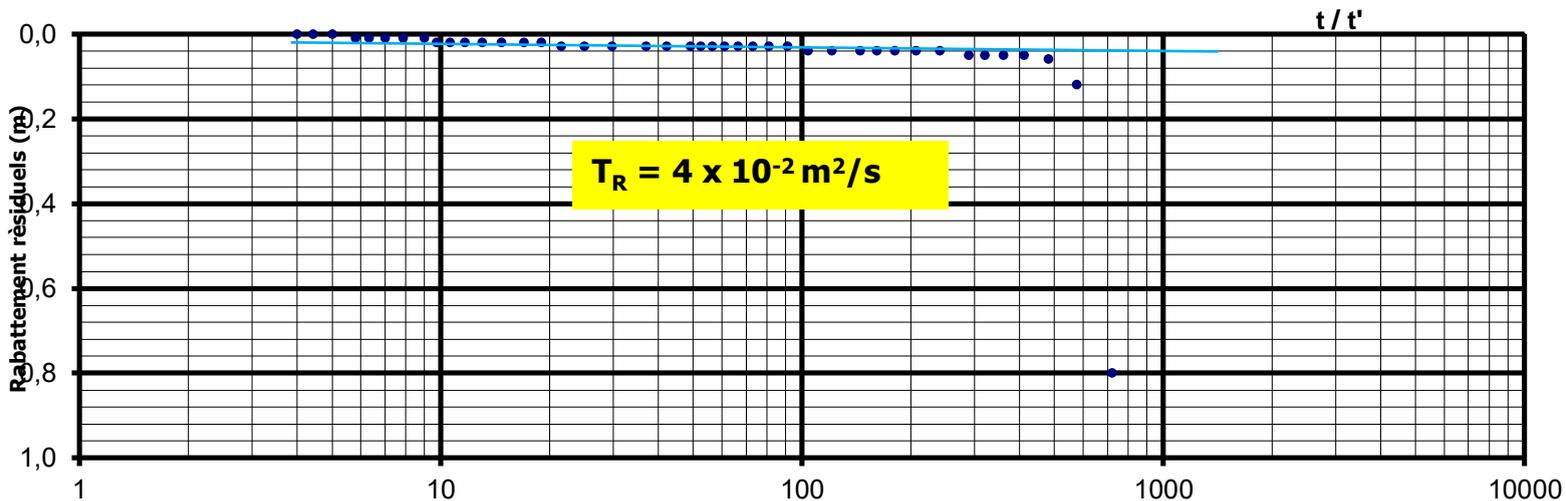


Figure 33: courbe de remontée d'essai de nappe pour F1 à Seyal Guababé

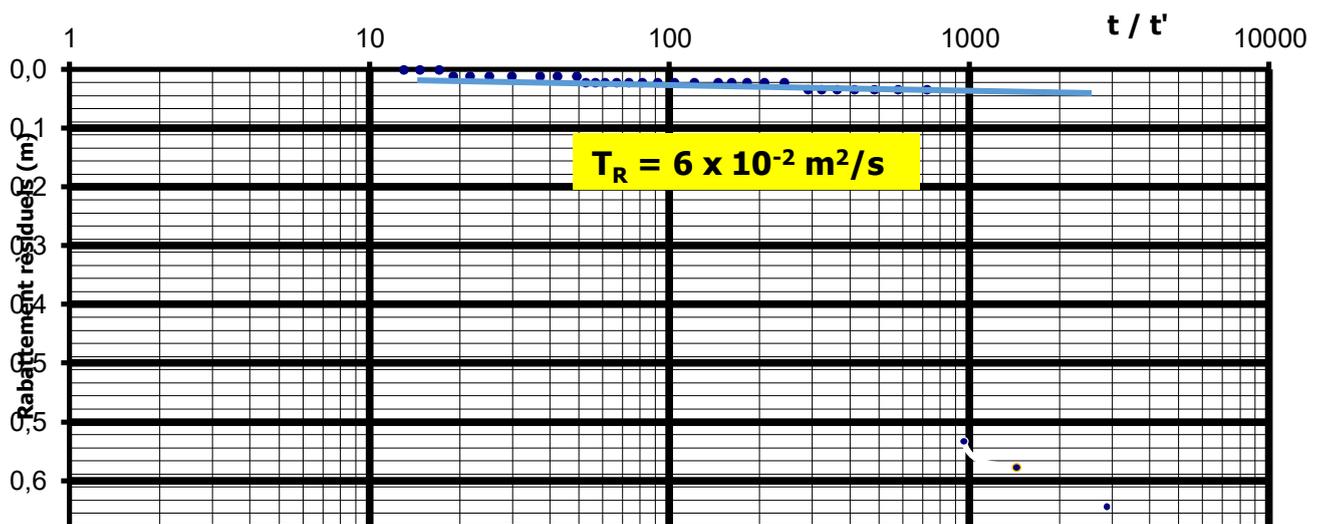


Figure 34: courbe de remontée d'essai de nappe pour F1 à Sinthiana N'Diacry

Le calcul de la transmissivité est surtout utile pour faire une comparaison avec d'autres forages situés dans un environnement hydrogéologique ou une zone géographique semblables. Les transmissivités retenues sont les valeurs moyennes entre celle de la descente et remontée, le tableau ci-après rassemble les résultats de transmissivités calculées et celles-ci retenues

Forage	Transmissivité descente de (m ² /s)	Transmissivité remontée de (m ² /s)	Transmissivité retenue (m ² /s)
Seyal Goubabé	1 x10 ⁻² m ² /s	2x10 ⁻² m ² /s	1.5x10 ⁻² m ² /s
<i>Sinthiana N'Diacry</i>	1 x10 ⁻² m ² /s	3 x10 ⁻² m ² /s	2x10 ⁻² m ² /s

Tableau 10: Transmissivités obtenues

Les deux forages de reconnaissance réalisés dans le cadre de l'alimentation en eau potable de Seyal Guababé et *Sinthiana N'Diacry*, ont été transformés en forages d'exploitation. Ces deux forages d'exploitation peuvent être exploités au régime dressé dans le tableau ci-dessous

Forage	N.S. /sol (m)	Débit exploit. (m ³ /h)	Rabatt. Induit (m)	N.D. / sol (m)	Profondeur équipée (m)	Niveau des crépines (m)	Prof. Pompe (m)	Sécurité pompe (m)
Seyal Guababé	10,18	13	1,77	11,95	88	68-82	22	10,05
Sinthiana N'Diacry	8,53	18	2,27	10,80	42,00	24-42	21	10,20

Tableau 11: Caractéristiques des forages d'eau réalisées

III.2.5 Analyse chimique

L'eau destinée à la consommation humaine doit respecter un certain nombre de paramètres qui définissent sa potabilité. Chaque paramètre ne doit pas dépasser une valeur limite qui est généralement égale à la concentration maximale qui est admise par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Forage		F1 Seyal goubabe	F1 sinthiane N diacry
PH		5.6	6.55
TEMPERATURE °C		23	23
CONDUCTIVITE (µs/cm)		69	75
LIMITE POTABILIE EAU (*)	PH	6.5<PH<8,5	
	COND.	2100<µS/cm	

Tableau 12: les paramètres physico-chimiques des forages

La minéralisation totale d'une eau peut être évaluée par sa conductivité électrique (CE en µS/cm). Les valeurs des conductivités électriques mesurées varient de 69 µS/cm (F1 Seyal goubabe) à 75 µS/cm (F1 Sinthiane N diacry), donc les eaux sont douces.

	F1 Seyal goubabe			F1 sinthiane N' diacry		Unité	Limite potabilité eau (*)
	Paramètres	Résultats		Paramètres	Résultats		
	TDS	34.6		TDS	37.6	mg/l	<1000
	Turbidité	0.85		Turbidité	0.5	NTU	<5
	Dureté	6		Dureté	6.6	°f	20
	TA	0		TA	0	°f	
	TAC	2.5		TAC	3.5	°f	
	SO4	3		SO4	1	mg/l	250
	Calcium	10.42		Calcium	43.03	mg/l	270
	Magnésium	8.26		Magnésium	22	mg/l	50
	Sodium	7		Sodium	7	mg/l	200
	Potassium	3		Potassium	4	mg/l	12
	Chlorures	7.1		Chlorures	14.2	mg/l	270
	Sulfates	3		Sulfates	1	mg/l	50
	Fer	0.00		Fer	0.00	mg/l	< 0.3
	Ammonium	0.00		Ammonium	0.00	mg/l	0.50
	Bicarbonates	30.5		Bicarbonates	42.7	mg/l	250
	Nitrate	1.76		NO3	1.92	mg/l	50

Tableau 13: Résultats des analyses chimiques

Les résultats analysés ne montrent aucune anomalie selon les normes de l’OMS pour l’eau potable.

Le diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper est un outil qui permet de voir la distribution des ratios d’ions majeurs (Cations et anions) dans un échantillon d’eau (figure.30). Il permet ainsi de déterminer les types d’eau des différents échantillons et l’évolution de leur faciès dans le temps. Un échantillon d’eau est classé en fonction de sa composition chimique qui est basée sur la proportion de l’ion qui représente plus de 50 pourcent du total des cations ou des anions en milliéquivalent. Dans un échantillon si la concentration d’aucun ion ne dépasse 50%, du total des cations ou des anions, l’échantillon est classé comme mixte.

La représentation de données chimiques sur le Diagramme de Piper (figure) montre deux types de faciès :

- Le forage F1 Seyal goubabe a un faciès bicarbonaté calcique à mixte
- Le Forage F1 sinthiane N’diacy a un faciès bicarbonaté calcique

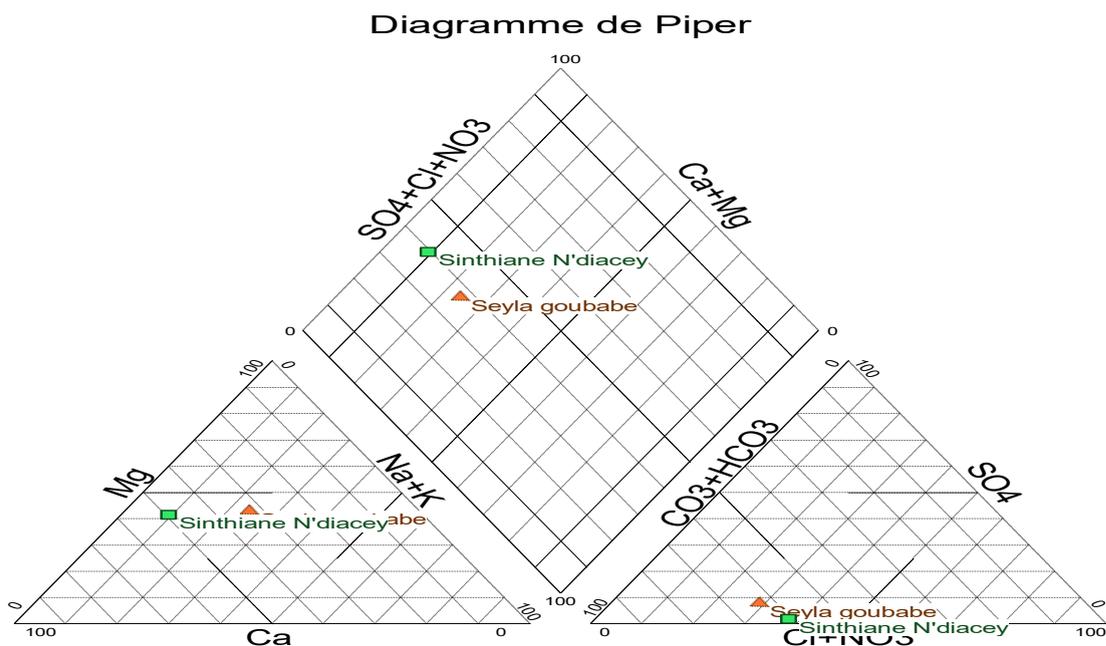


Figure 35:Diagramme Piper des faciès chimiques des eaux

Conclusion Générale et Recommandation

Administrativement, la zone d'étude située dans la région du Brakna est comprise entre les latitudes 16°12' et 18°40' Nord et les longitudes 12°20' et 15°00' Ouest. 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.

La zone d'étude est située dans le bassin sédimentaire côtier mauritanien. La série lithologique essentiellement formée de séries grés-argileuses et calcaires, s'échelonne du Crétacé supérieur (Maastrichtien, Paléocène, Eocène et Continental Terminal) au Quaternaire (Tafaritien et Nouakchottien).

Sur le plan hydrogéologique, différents types d'aquifères sont rencontrés et exploités dans la zone d'étude pour l'approvisionnement en eau potable des populations. Parmi ceux-ci on peut citer : les aquifères du Continental Terminal, des alluvions du fleuve Sénégal, du Paléocène, et surtout celui de l'Eocène.

Deux forages positifs ont donc été réalisés, dans les sites qui ont été propices lors des études hydrogéologiques et géophysiques, ces ouvrages captent la nappe de Brakna. La géophysique est un outil efficace pour confirmer l'existence d'un système hydrogéologiquement intéressant. Les sondages électriques montrent que la séquence la plus favorable est : SE1 de Seyal Goubabé et SE2 pour Sithiane N'diacry. L'interprétation de la séquence s'est faite avec le logiciel IPI2WIN

Les essais par palier de débits ont permis d'évaluer la productivité des ouvrages (pour F1 Seyal Goubabé $Pr = 13,00 \text{ m}^3/\text{h}$ et pour F1 Sithiane N'diacry $Pr = 18,00 \text{ m}^3/\text{h}$). Les essais de nappe ont permis la détermination des caractéristiques hydrodynamiques du complexe aquifère/ouvrage.

Les transmissivités calculées par la méthode de Jacob, entrent dans la gamme d'une nappe captive ($T = 2.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à Seyal Goubabé et $T = 3.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ à Seyal Goubabé).

Les résultats des analyses pour F1 Seyal goubabe montrent que pH dépasse les normes de l'OMS et F1 sinthiane N'diacry ne montrent aucune anomalie selon les normes de l'OMS pour l'eau potable.

Dans la région du Brakna, les besoins en eaux ne peuvent être assurés que par l'exploitation de nappe d'eau souterraine. Pour satisfaire les besoins en eaux pour l'approvisionnement en eau potable des populations et du bétail, nous formulons les recommandations suivantes:

- Poursuite des recherches géophysiques pour la reconnaissance d'autres aquifères d'eau douce;
- Utilisation des pompes adaptées lors de l'exécution des essais de pompage.
- Contrôle des compteurs d'eau avant et durant l'essai de pompage pour éviter la non fiabilité des mesures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARCHAMBAULT J. (1987). Réflexions sur l'alimentation et l'évaporation des nappes phréatiques en Afrique subsaharienne. *Journal Hydrogéologie*, n°2, pp.69-78.
- BANTON O.; BANGOY L. M.; CHEVALIER S.; HOUENOU P.; LAFRANCE P.; RIVARD C. (1997). Hydrogéologie : Multi science environnementale des eaux souterraines. Presses de l'université du Québec/AUPELF, 460 p.
- BELLION Y. (1991). Le bassin marginal de Mauritanie ou bassin sédimentaire côtier. Dans: Géologie de la Mauritanie. Caruba, R. et Dars, R. (eds). Pages 95-123.
- BOUJO A. et EL Houssein Ould Jiddou. (1983). The Éocène phosphorite deposits of Bofal and Louboira, Mauritania. In: A. J. G. Notholt, R.P. Sheldon and D. F. Davidson (eds). Phosphate deposits of the world. Vol. 2, Phosphate rock resources. Pages 207-213.
- 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 BR GM*, 254 p.
- BRGM (1986). Alimentation en eau potable de Nouakchott : étude pour le renforcement et l'extension du champ captant d'Idini. *Rapport de la SONELEC/Direction hydraulique*, 91 p.
- BURGEAP (2006). Notice de la carte hydrogéologique préliminaire de la Mauritanie au 1/500 000^e, 86 p.
- CARITE D. (1989). Géologie en Mauritanie. Document, *Edition EDISUD*, Paris, 284 p.
- CARUBA R., DARS R. (1991). Géologie de la Mauritanie. *Edition CRDP* Université de Nice Sofia Antipolis, France. 302-313 p. pp. 19-22.
- CASTANY G. (1982). Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition Dunod, Paris, France, 238 p.
- 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.

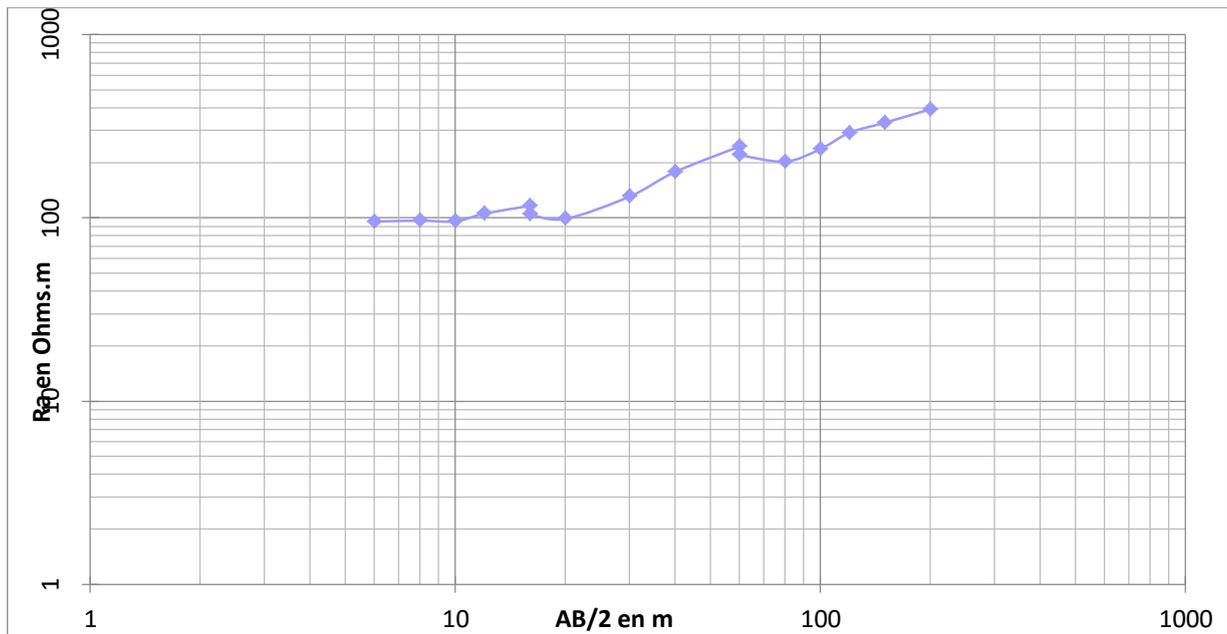
- CONRAD G. et LAPPARTIENT J-R. (1987). Le ‘Continental Terminal’, sa place dans l’évolution géodynamique du bassin sénégalo-mauritanien durant le Cénozoïque : *Journal of African Earth Sciences*, 6, 45-60.
- DEMASSIEUX L. (1989). Les fondements de l’hydraulique. Evolution et gestion des ressources en eaux, 29 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.
- DOUMOUYA I (1988). Synthèse des propriétés de recevoir des éocroûtes et de faciès sédimentologique de l’aquifère maastrichtien : établissement d’un outil d’équivalence. Thèse de 3ème cycle U.C.A.D, Dakar, 123p.
- ELOUARD P. (1962). Étude géologique et hydrogéologique des formations sédimentaires du Guebla mauritanien et de vallée du Sénégal. *Mémoire BRGM*, 102p.
- ELOUARD P., FAURE H. et HEBRARD L. (1969). Quaternaire du littoral mauritanien entre Nouakchott et Port-Etienne (18-21 latitudes Nord). *Bull. Assoc. Sénég. et Quat. Ouest Africa*, 50, 29-49.
- FETTER C. W. (1994). Applied hydrogeology. Prentice Hall Inc., New Jersey (USA), 691 p.
- FORKASIEWICZ J. (1978) - Essai de puits et par paliers de débit. Analyse et interprétation des données. *Rapport BR GM*, 28-31 p.
- HYDROCONSEIL MAURITANIE, 2019 : Rapport global 50 localités. 5 WILAYA.
- KIRCHMER J. C. (1983). Quality control in water analyses. *Environmental Science and Technology*, 17 (4), pp 178-181.
- ILLY P. (1973). Etude hydrogéologique et géologique de la vallée du fleuve Sénégal. *Thèse de doctorat ès Sciences*, Univ. Avignon (France). 263 p.
- LAPPARTIENT J-R. (1985). Le ‘Continental terminal’ et le Pléistocène ancien du bassin sénégalo-mauritanien : stratigraphie, sédimentation, diagenèse, altérations. Reconstitution des paléorivages au travers de cuirasses. *Thèse Sciences*, Marseille.
- LIGER J. L. (1980). Structure profonde du bassin côtier sénégalo-mauritanien. Interprétation de données gravimétriques et magnétiques. *Travaux des Laboratoires des Sciences de la Terre*
- Office national de météorologie, 2019 : (Service régional du Guidimakha), données climatologiques.
- SNIM, 2017 : Direction de Recherche Géologique, Service Géophysique.

Annexes

Annexe I

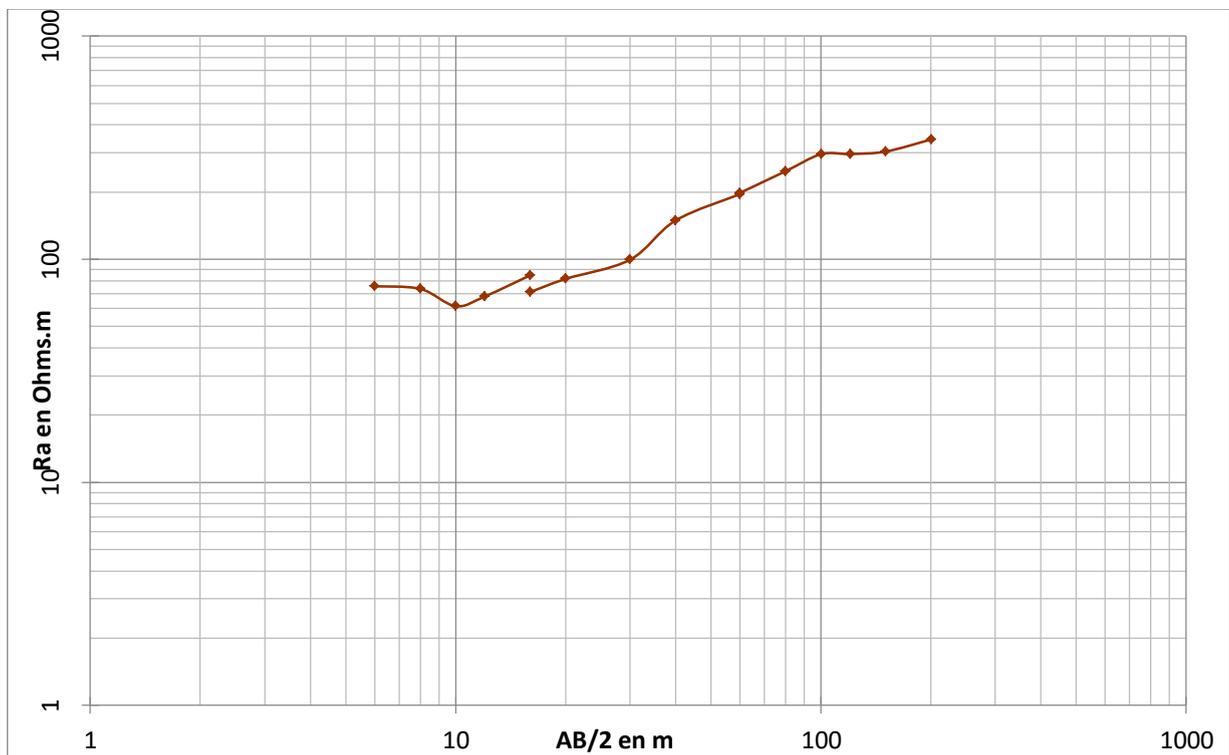
Les positions et les caractéristiques des profils de sondages électriques effectués à SEYAL Goubabé et Sithiane N'diacry

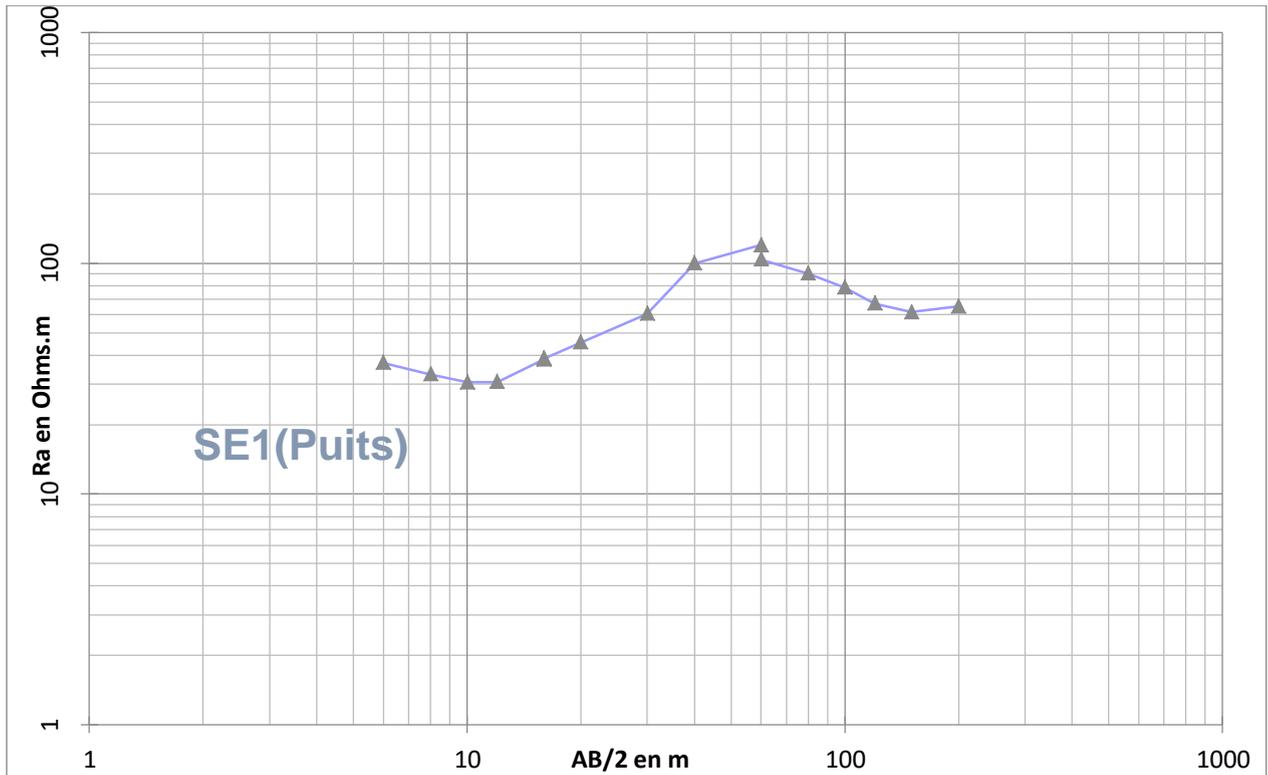
MN/2	AB/2	K	DV/I	DV/I	Ra (.....)	
0.3	1					
	1.5					
	2					
	3					
	4					
	6					
	8					
1	6				90.40	
	8				106.10	
	10				92.80	
	12				93.10	
	16				102.60	
	20					
4	16				107.90	
	20				115.20	
	30				138.40	
	40				180.10	
	60				205.40	
	80					
10	60				223.60	
	80				243.80	
	100				264.00	
	120				283.70	
	150				316.50	
	200				326.30	
40	200					
	250					
	300					



MN/2	AB/2	K	DV/I	DV/I	Ra (.....)
0.3	1				
	1.5				
	2				
	3				
	4				
	6				
	8				
	1	6			
8					73.60
10					61.60
12					68.00
16					84.70
20					
4	16				71.20
	20				81.60
	30				99.40
	40				149.10
	60				195.50
	80				
10	60				198.20

	80				247.90
	100				295.50
	120				296.10
	150				303.50
	200				343.80
	250				
40	200				
	250				
	300				





Annexe II : les données des essais de pompage

Village : Seyal
 Goubabé
 Forage : F1
 Village : Seyal Guababé N°9

Essai de puits : F1

26 / 11/ 2019 à 07 h 00

Date du début du pompage : mn
 Niveau statique initial : 11.18 m / R
 Repère = R = Tubage (tête de forage) : 1 m / sol

1er Palier :

Remontée 1er palier :

Temps (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabatement (m)	Débit (m ³ /h)
0	11.18	0.00	
5	11.57	0.39	3.75

Temps remontée (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabatement résiduel (m)
0	11.58	0.40
5	11.18	0.00

10	11.57	0.39	
15	11.58	0.40	3.75
20	11.58	0.40	
25	11.58	0.40	3.75
30	11.58	0.40	
35	11.58	0.40	3.75
40	11.58	0.40	
45	11.58	0.40	3.75
50	11.58	0.40	
55	11.58	0.40	3.75
60	11.58	0.40	3.75
		Débit moyen (m ³ /h)	3.75

10	11.18	0.00
15	11.18	0.00
20	11.18	0.00
25	11.18	0.00
30	11.18	0.00
35	11.18	0.00
40	11.18	0.00
45	11.18	0.00
50	11.18	0.00
55	11.18	0.00
60	11.18	0.00

2ème Palier :

Temps (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement (m)	Débit (m ³ /h)
0	11.18	0.00	
5	11.96	0.78	7.5
10	11.96	0.78	
15	11.96	0.78	7.5
20	11.96	0.78	
25	11.96	0.78	7.5
30	11.96	0.78	
35	11.96	0.78	7.5
40	11.96	0.78	
45	11.96	0.78	7.5
50	11.96	0.78	
55	11.96	0.78	7.5
60	11.96	0.78	7.5
		Débit moyen (m ³ /h)	7.5

Remontée 2ème palier

:

Temps remontée (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement résiduel (m)
0	11.96	0.78
5	11.19	0.01
10	11.19	0.01
15	11.19	0.01
20	11.19	0.01
25	11.19	0.01
30	11.19	0.01
35	11.19	0.01
40	11.19	0.01
45	11.19	0.01
50	11.19	0.01
55	11.19	0.01
60	11.19	0.01

Village Seyal Guababé N°9

Essai de puits
(suite) : F1

3ème Palier :

Temps (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement (m)	Débit (m ³ /h)
0	11.19	0.00	
5	12.37	1.18	11.25
10	12.38	1.19	
15	12.38	1.19	11.25
20	12.38	1.19	
25	12.38	1.19	11.25
30	12.38	1.19	
35	12.38	1.19	11.25
40	12.38	1.19	
45	12.38	1.19	11.25
50	12.38	1.19	
55	12.38	1.19	11.25
60	12.38	1.19	11.25
		Débit moyen (m ³ /h)	11.25

4ème Palier :

Temps (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement (m)	Débit (m ³ /h)
0	11.18	0.00	15
5	12.87	1.69	15
10	12.88	1.70	
15	12.88	1.70	15
20	12.88	1.70	
25	12.88	1.70	
30	12.88	1.70	15
35	12.88	1.70	
40	12.88	1.70	
45	12.88	1.70	15

Remontée 3ème palier

:

Temps remontée (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement résiduel (m)
0	12.38	1.20
5	11.19	0.01
10	11.19	0.01
15	11.19	0.01
20	11.19	0.01
25	11.19	0.01
30	11.19	0.01
35	11.19	0.01
40	11.18	0.00
45	11.18	0.00
50	11.18	0.00
55	11.18	0.00
60	11.18	0.00

Remontée 4ème palier

:

Temps remontée (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement résiduel (m)
0	12.88	1.70
5	11.19	0.01
10	11.19	0.01
15	11.18	0.00
20	11.18	0.00
25	11.18	0.00
30	11.18	0.00
35	11.18	0.00
40	11.18	0.00
45	11.18	0.00

50	12.88	1.70	
55	12.88	1.70	15
60	12.88	1.70	15
Débit moyen (m ³ /h)			15.0

50	11.18	0.00
55	11.18	0.00
60	11.18	0.00

Village

: Sinthiana N'Diacry

Essai de puits : F1

03 / 12 / 2019 à 07

Date du début du pompage : h 00 mn

Niveau statique initial : 9.04 m / R

Repère = R = Tubage (tête de forage) : 0.5 m / sol

1er Palier :

Temps (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement (m)	Débit (m ³ /h)
0	9.04	0.00	
5	9.51	0.47	4.5
10	9.51	0.47	
15	9.52	0.48	4.5
20	9.52	0.48	
25	9.52	0.48	4.5
30	9.52	0.48	
35	9.52	0.48	4.5
40	9.52	0.48	
45	9.52	0.48	4.5
50	9.52	0.48	
55	9.52	0.48	4.5
60	9.52	0.48	4.5
Débit moyen (m ³ /h)			4.5

Remontée 1er palier :

Temps remontée (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement résiduel (m)
0	9.52	0.48
5	9.03	0.00
10	9.03	0.00
15	9.03	0.00
20	9.03	0.00
25	9.03	0.00
30	9.03	0.00
35	9.03	0.00
40	9.03	0.00
45	9.03	0.00
50	9.03	0.00
55	9.03	0.00
60	9.03	0.00

2ème Palier :

Temps (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement (m)	Débit (m ³ /h)
0	9.03	0.00	
5	10.11	1.08	9
10	10.11	1.08	
15	10.11	1.08	9
20	10.11	1.08	
25	10.11	1.08	9
30	10.11	1.08	
35	10.11	1.08	9
40	10.11	1.08	
45	10.11	1.08	9
50	10.11	1.08	
55	10.11	1.08	9
60	10.11	1.08	9
		Débit moyen (m ³ /h)	9.0

Village Sinthiana N'Diacry N°11

Essai de puits
(suite) : F1

3ème Palier :

Temps (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement (m)	Débit (m ³ /h)
0	9.03	0.00	
5	10.68	1.65	13.5
10	10.69	1.66	
15	10.7	1.67	13.5
20	10.7	1.67	
25	10.7	1.67	13.5
30	10.7	1.67	
35	10.7	1.67	13.5
40	10.7	1.67	
45	10.7	1.67	13.5
50	10.7	1.67	

Remontée 2ème palier

:

Temps remontée (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement résiduel (m)
0	10.11	1.08
5	9.03	0.00
10	9.03	0.00
15	9.03	0.00
20	9.03	0.00
25	9.03	0.00
30	9.03	0.00
35	9.03	0.00
40	9.03	0.00
45	9.03	0.00
50	9.03	0.00
55	9.03	0.00
60	9.03	0.00

Remontée 3ème palier

:

Temps remontée (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement résiduel (m)
0	10.7	1.67
5	9.03	0.00
10	9.03	0.00
15	9.03	0.00
20	9.03	0.00
25	9.03	0.00
30	9.03	0.00
35	9.03	0.00
40	9.03	0.00
45	9.03	0.00
50	9.03	0.00

55	10.7	1.67	13.5
60	10.7	1.67	13.5
		Débit moyen (m ³ /h)	13.5

55	9.03	0.00
60	9.03	0.00

4ème Palier :

Remontée 4ème palier

:

Temps (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement (m)	Débit (m ³ /h)
0	9.03	0.00	
5	11.24	2.21	18
10	11.25	2.22	
15	11.25	2.22	18
20	11.25	2.22	
25	11.25	2.22	18
30	11.25	2.22	15
35	11.25	2.22	18
40	11.25	2.22	
45	11.25	2.22	18
50	11.25	2.22	
55	11.25	2.22	18
60	11.25	2.22	18
		Débit moyen (m ³ /h)	18.0

Temps remontée (mn)	Niveau Dynamique / R (m)	Rabattement résiduel (m)
0	11.25	2.22
5	9.03	0.00
10	9.03	0.00
15	9.03	0.00
20	9.03	0.00
25	9.03	0.00
30	9.03	0.00
35	9.03	0.00
40	9.03	0.00
45	9.03	0.00
50	9.03	0.00
55	9.03	0.00
60	9.03	0.00

Village : Seyal Guababé N°9

Essai de nappe : F1

Date du début de la descente : 26 /11 / 2019 à 15 heures 00 minutes

Niveau statique initial : 11.18 m / R

Repère = R = Tubage (tête de forage) : 1 m / sol

Heure	Temps t (min)	Niveau dynamique / R (m)	Rabattement (m)	Débit (m ³ /h)
15 h 00	0	11.18	0.00	15
	0.5	12.82	1.64	15

	1	12.84	1.66	
	1.5	12.85	1.67	
	2	12.86	1.68	15
	2.5	12.87	1.69	
	3	12.88	1.70	15
	3.5	12.88	1.70	
	4	12.88	1.70	15
	4.5	12.88	1.70	
	5	12.88	1.70	15
	6	12.88	1.70	
	7	12.88	1.70	
	8	12.88	1.70	15
	9	12.88	1.70	
	10	12.88	1.70	15
	12	12.88	1.70	
	14	12.88	1.70	
	16	12.88	1.70	
	18	12.88	1.70	
	20	12.88	1.70	15
	22	12.88	1.70	
	24	12.88	1.70	
	26	12.88	1.70	15
	28	12.88	1.70	
	30	12.88	1.70	15
	35	12.88	1.70	
	40	12.88	1.70	15
	50	12.88	1.70	
	1 h 00	12.89	1.71	15
	1 h 10	12.89	1.71	
	2 h 20	12.89	1.71	
	1 h 30	12.89	1.71	15
	1 h 45	12.89	1.71	15
	2 h 00	12.89	1.71	15
	2 h 15	12.89	1.71	
	2 h 30	12.89	1.71	
	2 h 45	12.89	1.71	
	3 h 00	12.90	1.72	15

	3 h 30	12.90	1.72	
	4 h 00	12.90	1.72	
	4 h 30	12.91	1.73	
	5 h 00	12.92	1.74	15
	6 h 00	12.92	1.74	
	7 h 00	12.93	1.75	
	8 h 00	12.93	1.75	15
	9 h 00	12.93	1.75	
	10 h 00	12.93	1.75	15
	11h 00	12.93	1.75	
	12 h 00	12.93	1.75	
	13h00	12.93	1.75	
	14h00	12.93	1.75	15
	15h00	12.93	1.75	
	16h00	12.94	1.76	15
	17h00	12.94	1.76	
	18h00	12.95	1.77	15
	19h00	12.95	1.77	
	20h00	12.95	1.77	15
	21h00	12.95	1.77	
	22h00	12.95	1.77	15
	23h00	12.95	1.77	
	24h00	12.95	1.77	15
			Débit moyen	15.0

Village : Sinthiana N'Diacry N°11

Essai de nappe

:

F1

Date du début de la descente : 03 /12 / 2019 à 16 heures 00 minutes

Niveau statique initial : 9.03 m / R

Repère = R = Tubage (tête de forage) : 0.5 m / sol

Heure	Temps (min)	Niveau dynamique / R (m)	Rabattement (m)	Débit (m ³ /h)
16 h 00	0	9.03	0.00	
	0.5	11.25	2.22	18
	1	11.29	2.26	18
	1.5	11.29	2.26	
	2	11.29	2.26	18
	2.5	11.29	2.26	
	3	11.29	2.26	18
	3.5	11.29	2.26	
	4	11.29	2.26	18
	4.5	11.29	2.26	
	5	11.29	2.26	18
	6	11.29	2.26	
	7	11.29	2.26	
	8	11.29	2.26	18
	9	11.29	2.26	
	10	11.29	2.26	18
	12	11.29	2.26	
	14	11.29	2.26	
	16	11.29	2.26	18
	18	11.29	2.26	
	20	11.29	2.26	18
	22	11.29	2.26	
	24	11.29	2.26	
	26	11.29	2.26	18
	28	11.29	2.26	
	30	11.29	2.26	18
	35	11.29	2.26	
	40	11.29	2.26	

	50	11.29	2.26	18
	1 h 00	11.29	2.26	18
	1 h 10	11.29	2.26	
	1 h 20	11.29	2.26	
	1 h 30	11.29	2.26	18
	1 h 45	11.30	2.27	18
	2 h 00	11.30	2.27	
	2 h 15	11.30	2.27	
	2 h 30	11.30	2.27	18
	2 h 45	11.30	2.27	
	3 h 00	11.30	2.27	18
	3 h 30	11.30	2.27	
	4 h 00	11.30	2.27	18
	4 h 30	11.30	2.27	
	5 h 00	11.30	2.27	18
	6 h 00	11.30	2.27	
	7 h 00	11.30	2.27	
	8 h 00	11.30	2.27	18
	9 h 00	11.30	2.27	
	10 h 00	11.30	2.27	18
	11 h 00	11.30	2.27	
	12 h 00	11.30	2.27	18
	13h00	11.30	2.27	
	14h00	11.30	2.27	18
	15h00	11.30	2.27	
	16h00	11.30	2.27	18
	17h00	11.30	2.27	
	18h00	11.30	2.27	18
	19h00	11.30	2.27	
	20h00	11.30	2.27	18
	21h00	11.30	2.27	
	22h00	11.30	2.27	18
	23h00	11.30	2.27	
	24h00	11.30	2.27	18
			Débit moyen	18.0

