

UTILISATION DES METHODES GEOPHYSIQUES POUR LA CARACTERISATION HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES DE MADIELA ET DE NDOMBO (GABON)

HYDRO- GEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE MANDIELA AND NDOMBO (GABON) USING GEOPHYSICAL METHODS

Koungourou Matsaya Y.¹, Essouli O.F.¹, Faye A.^{1*}

Résumé :

Le site de cette étude se situe à 45 km de Libreville, et se localise essentiellement autour des agglomérations de N'toum. Dans ce secteur, la Société d'Énergie et d'Eau du Gabon (S.E.E.G.) exploite les eaux de surface pour l'alimentation en eau potable des populations de Libreville et ses environs. Cependant, depuis 18 mois la baisse considérable des débits de la rivière Nzémé et l'augmentation de la population ont occasionné une difficulté d'approvisionnement en eau de cette ville.

Pour répondre aux besoins en eau potable des populations, la S.E.E.G. a entrepris des travaux de reconnaissance dans les zones de N'toum, Nkoltang, Méba et Mfoulayong en vue de réaliser ultérieurement des forages d'exploitation. Ceci dans le but de renforcer, du moins pour le court terme, la production de l'usine de traitement de N'toum.

L'utilisation des méthodes géophysiques, a permis de déterminer les sites favorables à l'implantation des sondages dans les grès de Ndombo. Par contre, l'implantation des sondages dans le Madiéla s'est faite en tenant compte de plusieurs paramètres des études antérieures.

Les carottages électriques réalisés au niveau des sondages N'toum 2 (NT2) et N'koltang 1 (NK1) ont permis de mieux définir les séquences lithologiques aussi bien dans le Madiéla calcaire que dans le Madiéla sableux ou gréseux. Ils ont également permis de localiser avec précision les niveaux aquifères contenus dans les séries sédimentaires forées.

Mots clés : Diagraphie, Sondage, dispositif Schlumberger

Abstract :

The study site is located 45 km from Libreville in the vicinity of the settlements of N'toum. In this sector, the Gabonese Energy and Water Company (GEWC) uses surface water for drinking water supply of people in Libreville and its surrounding. However, after 18 months in a substantial decline in flows of the river Nzeme and the growing population had led to difficulties in supplying drinking water the city of Libreville.

To overcome the drinking water needs of urban residents, the GEWC began prospecting potential sites in the areas of N'toum, Nkoltang, Meba and Mfoulayong in order to foreseen drilling operations. This program is aimed to strengthen, at least in the short term, production for the treatment plant of N'toum.

The use of geophysical methods, enable to identify potential sites in the Ndombo sandstones However, prospection in the Madiela sector was implemented by taking into account several other parameters obtained from previous studies..

The electrical loggings achieved in the N'toum 2 (NT2) and N'koltang 1 (NK1) boreholes were used to identify lithologic sequences both in the Madiela limestone and in the sand or sandstone. They also helped to locate sites for drilling operation and aquifer in the sediments series.

Keywords : Logging, Poll, Schlumberger device.

^{1*} Laboratoire d'Hydrologie et Hydrochimie, Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop – Dakar. B.P. 5005 – Dakar – Fann (Sénégal).

Correspondant : Email : abfaye@orange.sn

1 - Introduction

Libreville, capitale du Gabon (nord ouest du pays), compte 578.156 habitants sur 1.383.000 de la population totale du Gabon, soit en pourcentage 41.80%. Elle connaît depuis quelques années des difficultés pour couvrir les besoins en eau potable de sa population. Ces difficultés sont liées à la fois à une augmentation de la population et à la baisse des débits de la rivière Nzemé pendant la saison sèche. Pour répondre aux besoins en eau des populations, la Société d’Energie et d’Eau du Gabon (S.E.E.G.) a pris deux options. La première option consiste à utiliser les eaux souterraines préalablement détectées par l’exploration par les méthodes géophysiques. En effet, cette ressource permettrait non seulement de compenser la baisse de débit de captage d’eau de surface de la région de N’toum mais également de compléter le déficit d’approvisionnement en eau potable de l’usine de production de N’toum. Cette option a pour but de retarder de plusieurs années, l’autre option plus onéreuse, nécessitant des gros investissements qu’occasionnerait la construction d’une nouvelle usine de prise d’eau de surface

additionnelle. Outre ces objectifs globaux, cette étude vise spécifiquement à localiser au mieux les sites d’implantation des sondages mécaniques qui seront ultérieurement transformés en forages hydrauliques et de déterminer les profondeurs des aquifères identifiés dans la zone de N’toum.

2 – Matériel et Méthodes de l’étude
Sondage électrique

La méthode géophysique mise en œuvre est le sondage électrique (dispositif Schlumberger). Cette méthode est simple, économique et les contraintes de résistivité entre les différents terrains sont suffisantes (SAFEGE [1]) (Tableau 1). Elle consiste brièvement à injecter dans le sol un courant continu par l’intermédiaire de deux électrodes A et B dites électrodes de courant et à mesurer la différence de potentiel aux bornes de deux électrodes internes M et N dites électrodes de potentiel (Fig. 1).

Connaissant le coefficient géométrique du dispositif (K), on arrive à déterminer la

Tableau 1 : Caractéristiques électriques des différents terrains (SAFEGE [1])

Calcaire de Madiéla	Grès de Gamba	Marne de Kango	Grès de N’Dombo
Moyennement résistant ($50 < \rho < 100 \Omega m$)	Résistant ($\rho > 100 \Omega m$)	Conducteur ($\rho < 50 \Omega m$)	Moyennement résistant ($50 < \rho < 100 \Omega m$)

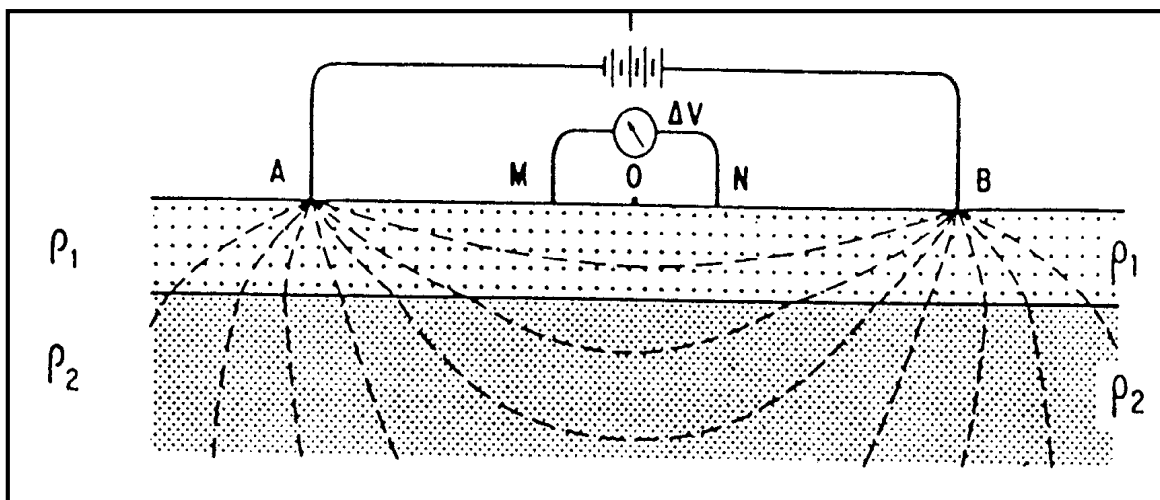


Figure 1: Dispositif Schlumberger (Chapellier [2])

résistivité apparente (ρ_a) des formations géologiques sous-jacentes traversées par le courant, soit :

$$\rho_a = (K * \Delta v) / I$$

Avec : $K = \pi[(AM * AN) / MN]$

V : potentiel entre M et N (soit

$$\Delta v = [(\rho I) / (2\pi)] * [(1/AM) - (1/BM) - (1/AN) + (1/BN)]$$

I : intensité du courant injectée

Pour une profondeur d'investigation donnée, nous pouvons apprécier les variations latérales d'un milieu le long d'une courbe et, par conséquent déterminer les cotes du toit des aquifères et les zones favorables pour l'implantation des ouvrages. Compte tenu des cotes du toit des grès révélés par les sondages de Méba (65 m) et celui de Mfoulayong (61 m), nous avons les sondages électriques avec AB maximum égal à 500 m (lot1) et 600 m (lot 2) dans les grès de Ndombo (Fig.2).

Les diagraphies

Les diagraphies permettent de renseigner sur l'épaisseur et la position du réservoir, de redéfinir au mieux la nature et limites des couches imperméables qui délimitent les réservoirs, de déterminer la qualité chimique globale de l'eau des réservoirs et d'évaluer la possibilité de recharge du réservoir voire sa perméabilité par sa connexion proche ou lointaine de la surface. Le carottier électrique utilisé pour l'enregistrement est Micrologger RG.

Logs électriques

Le log single point ou monoélectrode, mesure la résistance en ohms des formations traversées par le sondage. Il est très utile pour des corrélations géologiques et répond très bien aux changements de lithologie. Cependant, en face des zones cavées, il mesure la résistivité du fluide (Chapellier [3]).

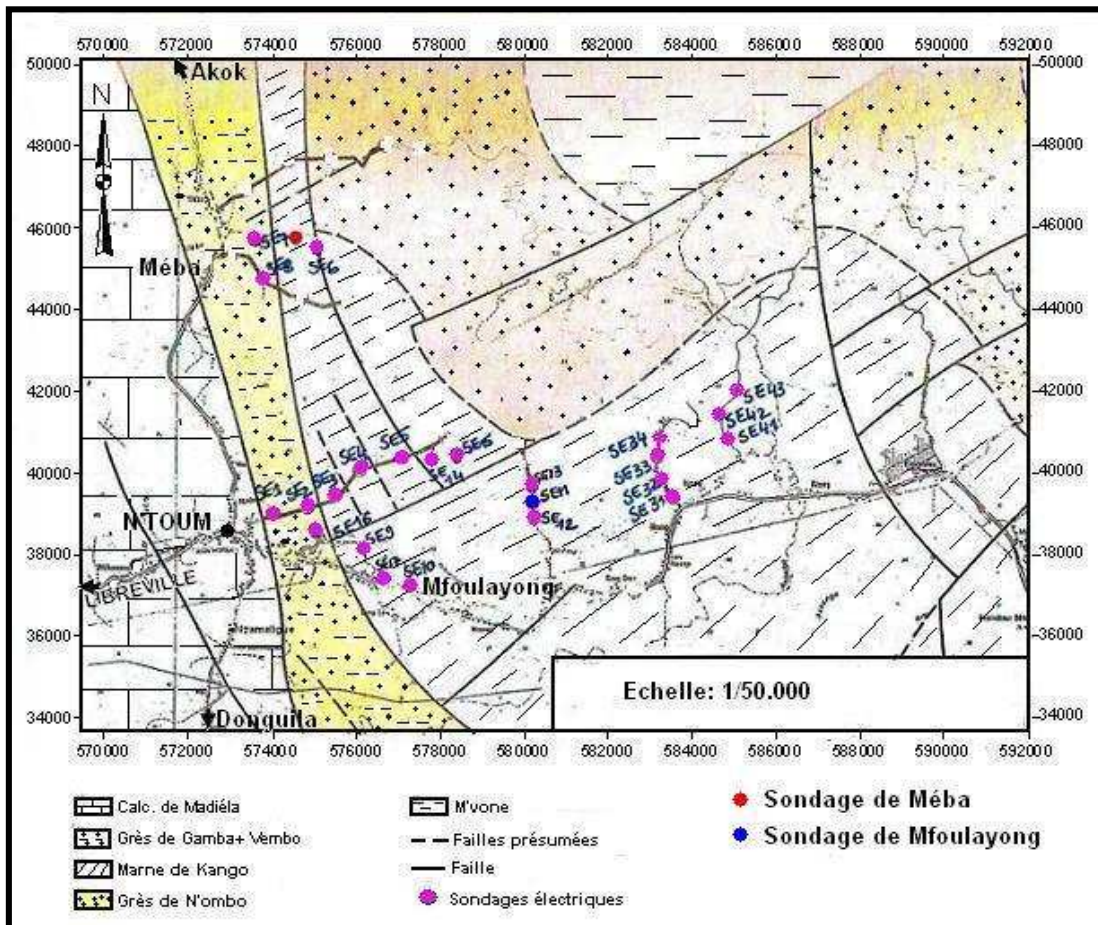


Figure 2 : Carte de localisation des sondages électriques (SAFEGE [1]).

Le log de la polarisation spontanée, enregistre les différences de potentiel électrique dues à des causes naturelles dans les sondages. Le potentiel qui en résulte au droit des couches poreuses et perméables est appelé polarisation spontanée (P.S.). Le potentiel lu en face des argiles varie généralement peu avec la profondeur. On lit la P.S. à partir de ce potentiel qu'on appelle ligne de base des argiles (Chapellier [3]).

La Grande normale et petite normale (dispositif normal), la résistivité (R) d'une substance, de section et de longueur unité, exprime son degré d'opposition au passage du courant électrique. Elle varie avec la porosité et la nature des fluides interstitiels. Deux espacements sont utilisés dans la pratique : la petite normale (ou short normal), N16 (ou AM = 40 cm), mesure essentiellement la résistivité de la zone envahie et la grande normale, N64 (ou AM = 160 cm) qui mesure la résistivité de la zone non envahie par le filtrat de boue (Chapellier [3]).

Log gamma ray (log nucléaire)

Il mesure la réponse caractéristique des différentes formations présentant une radioactivité naturelle et traversées par le sondage. Il s'agit donc de corréliser les variations de ces différents logs pour identifier les couches perméables (ou couches réservoirs) et imperméables et de définir au mieux leurs limites (Chapellier [3]).

3 – Présentation Générale de la Région étudiée

Le secteur de Ntoun est situé à 45 km de Libreville, capitale politique du Gabon, aux alentours de la région de N'toum. Il couvre une superficie d'environ 950 km². Il est délimité au nord par le village Méba, à l'ouest par le village Nkoltang, à l'est et au sud par respectivement les villages de M'foulayong et celui de Donguila. Dans ce secteur, les grès de Ndombo (Cd) et les calcaires de N'toum (Cm) s'étendent sur 6 km au Nord de N'toum, de part et d'autre

de la route N'toum - Cocobeach. Au sud et à l'ouest, ils longent sur quelques kilomètres d'une part la route N'toum-Donguila et le village N'koltang sis à 15 km de N'toum et d'autre part, la route N'toum-Kougouleux. (Fig. 3).

La région étudiée est caractérisée par deux saisons humides qui s'observent de janvier à juin et d'octobre à décembre et une saison sèche (juillet à septembre). Les variations interannuelles des précipitations à la station de Libreville-N'toum (1986 à 1993) sont caractérisées par une alternance de périodes des pluies déficitaires de deux à trois ans avec des périodes de pluies excédentaires d'un an (Koungourou Matsaya [4])

La géologie de la région est décrite à partir de la synthèse des travaux du BURGEAP ([5]), de Karlin ([6]) et de la Direction Générale des Mines du Gabon (D.G.M.G.). Pour les besoins de l'étude, la description lithologique se limitera aux séries d'âge Permien à Albien dans la partie nord du bassin intérieur. D'est en ouest et du bas en haut, on observe des séries sédimentaires d'origine continentale ou lagunaire (jusqu'au sommet du Cocobeach inclus) et marine (Fig. 4).

La série de l'Agoula (d'âge Permien), constituée essentiellement de marnes et d'argiles, est caractérisée à sa base par des faciès glaciaires qui sont surmontés par des argiles noires et rouges avec des niveaux gréseux et des dolomies gypseuses. Cette série témoigne d'un environnement de lac en bordure de mer et son épaisseur est très variable de 400 m au nord à 200 m au sud.

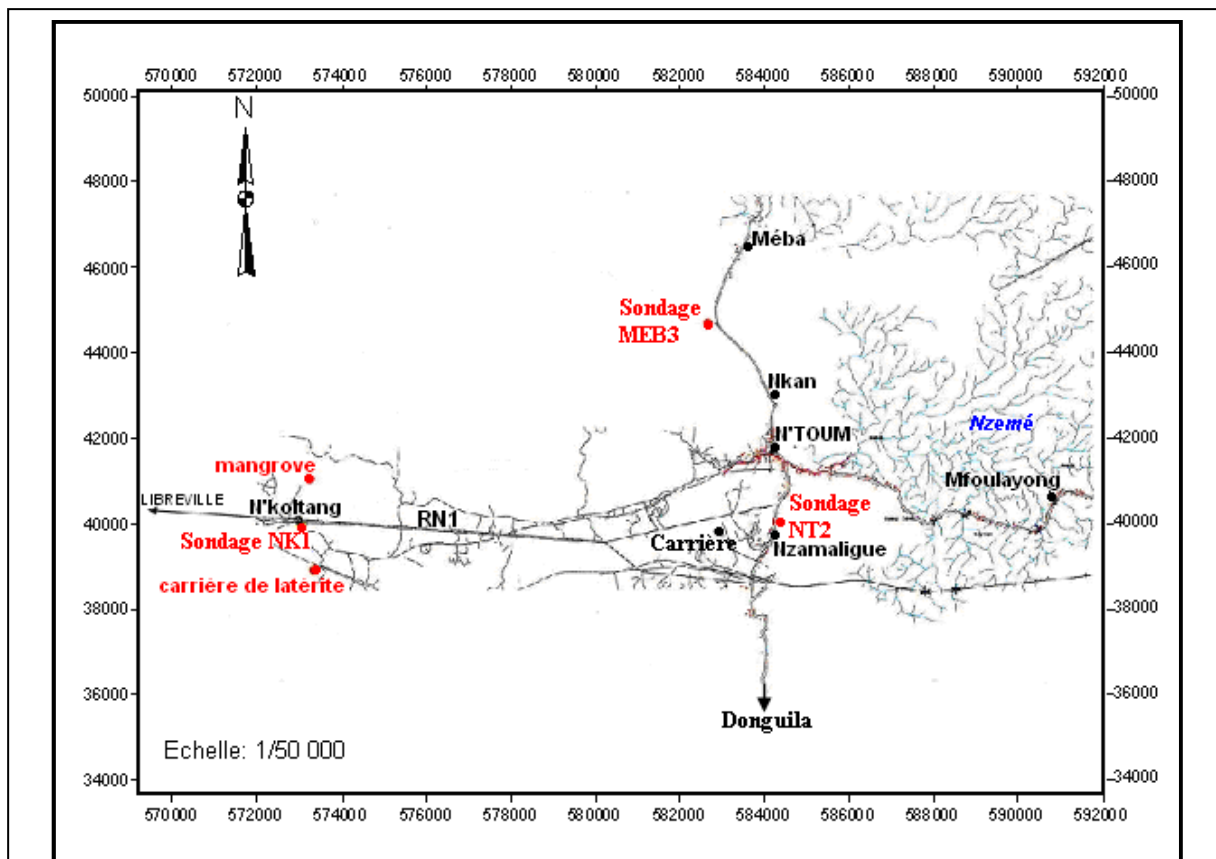


Figure 3 : Carte de localisation géographique de la zone d'étude (Koungourou Matsaya [4]).

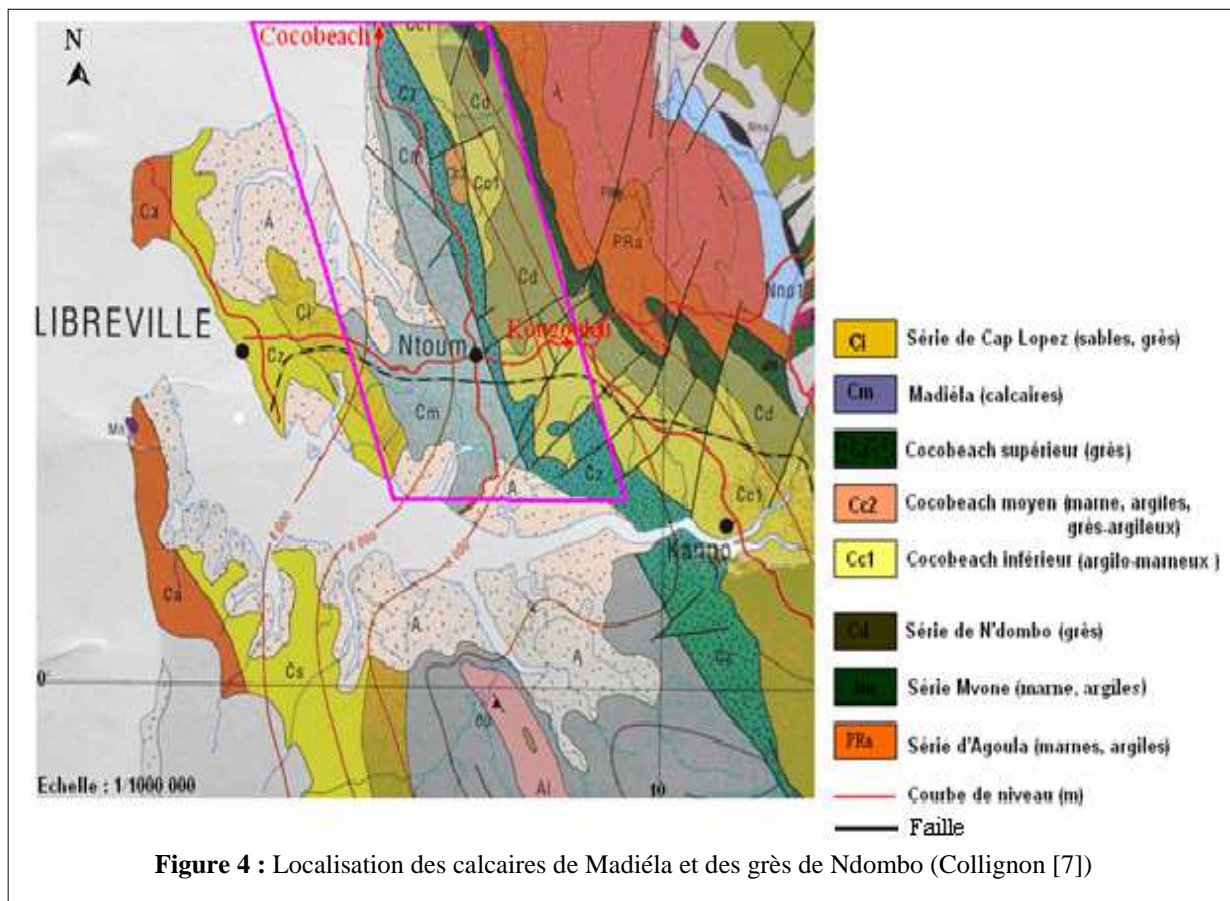


Figure 4 : Localisation des calcaires de Madiéla et des grès de Ndombo (Collignon [7])

La série de M'vone (d'âge Jurassique), homogène dans le bassin oriental, débute par un conglomérat très mince à galets centimétriques de quartz arrondis et à matrice gréseuse grossière. Ce conglomérat repose en concordance angulaire sur les grès bruns de l'Agoula et est surmonté de marnes et argiles violettes ou vertes parfois bitumineux au sommet. Cette série peut être considérablement laminée et son épaisseur varie de 300 m au nord à 200 m au sud.

La série de N'dombo (d'âge Néocomien "crétacé inférieur") est constituée de grès moyens à grossiers gris-blancs avec des passées rouges et des niveaux peu cimentés et sableux. Ces grès sont compétents et fracturés par des contraintes tectoniques et son épaisseur varie de 200 à 400 m.

La série de Cocobeach (d'âge Néocomien inférieur à l'Aptien inférieur) correspond au comblement d'une vaste fosse d'effondrement et rassemble, entre autres, les formations de N'toum et de Kango. Elle est constituée de dépôts lacustres se terminant par une phase lagunaire à niveaux salifères. On distingue du bas vers le haut : un ensemble inférieur argilo marneux à poissons, très épais et parfois bitumineux ; un ensemble moyen présentant une alternance de marnes feuilletées (argiles et grès argileux avec quelques horizons calcaires) et un ensemble supérieur composé de grès massifs épais (100 à 200 m) dits grès de Gamba, de conglomérats grossiers surmontés des dépôts de marnes micacées et sableux. Cet ensemble est surmonté d'argiles noires (ou argiles de Vemboshales). Ces argiles sont plus ou moins silteuses, gréseuses ou carbonatées, voire salifères (BURGEAP [5])

La série de Madiéla (d'âge Aptien supérieur à Albien) constitue une puissante série carbonatée (essentiellement calcaire) indiquant la première transgression marine au dessus des grès argileux, des marnes gréseuses et noires silicifiées. Cette série s'observe à N'toum

(calcaire de N'toum ou Madiéla inférieur), à N'koltang (calcaire de N'koltang ou Madiéla moyen et supérieur) et dans la localité de Méba (Collignon [7]).

Sur la base de cette description lithologique, quatre faciès géologiques peuvent constituer des réservoirs hydrauliques importants. Il s'agit des sables et grès de Cap Lopez, des calcaires de Madiéla, des grès de Gamba et des grès de N'dombo. Nous nous intéresserons essentiellement aux calcaires de Madiéla et aux grès de N'dombo situés dans le secteur étudié.

Les calcaires de Madiéla (ou aquifère des calcaires de Madiéla) comprennent les calcaires de N'toum, de N'koltang et ceux de Méba (Collignon [7]). Les rares affleurements observés se situent dans le secteur nord de la route N'toum-Donguila. Par contre, dans le secteur sud de la route N'toum-Donguila, la présence des calcaires a été mise en évidence par le sondage minier NT2. Ce sondage a révélé la présence de bancs calcaires à partir de 4,25 m. A N'koltang, les affleurements s'observent au niveau de la mangrove (Karlin [6]).

Au sud-ouest, à l'ouest et au nord de N'toum, les coupes des sondages miniers 105, 102 et 103 (Fig. 5) révèlent la présence des calcaires respectivement à 6,35 m, 4 m et 14,8 m. Ces sondages mettent également en évidence la présence des traces de fissuration et de cavernes de 18 à 19,2 m semblables aux conduites karstiques visibles dans la carrière à ciel ouvert de N'toum. Ces cavernes et conduites karstiques constituent des lieux privilégiés d'accumulation et de circulation des eaux souterraines. Cet aquifère présente un taux d'alimentation extrêmement élevé (taux de recharge annuel environ 600 mm.an⁻¹). Cette recharge est essentiellement liée à un drainage de plusieurs bassins versants voisins (BURGEAP [5]).

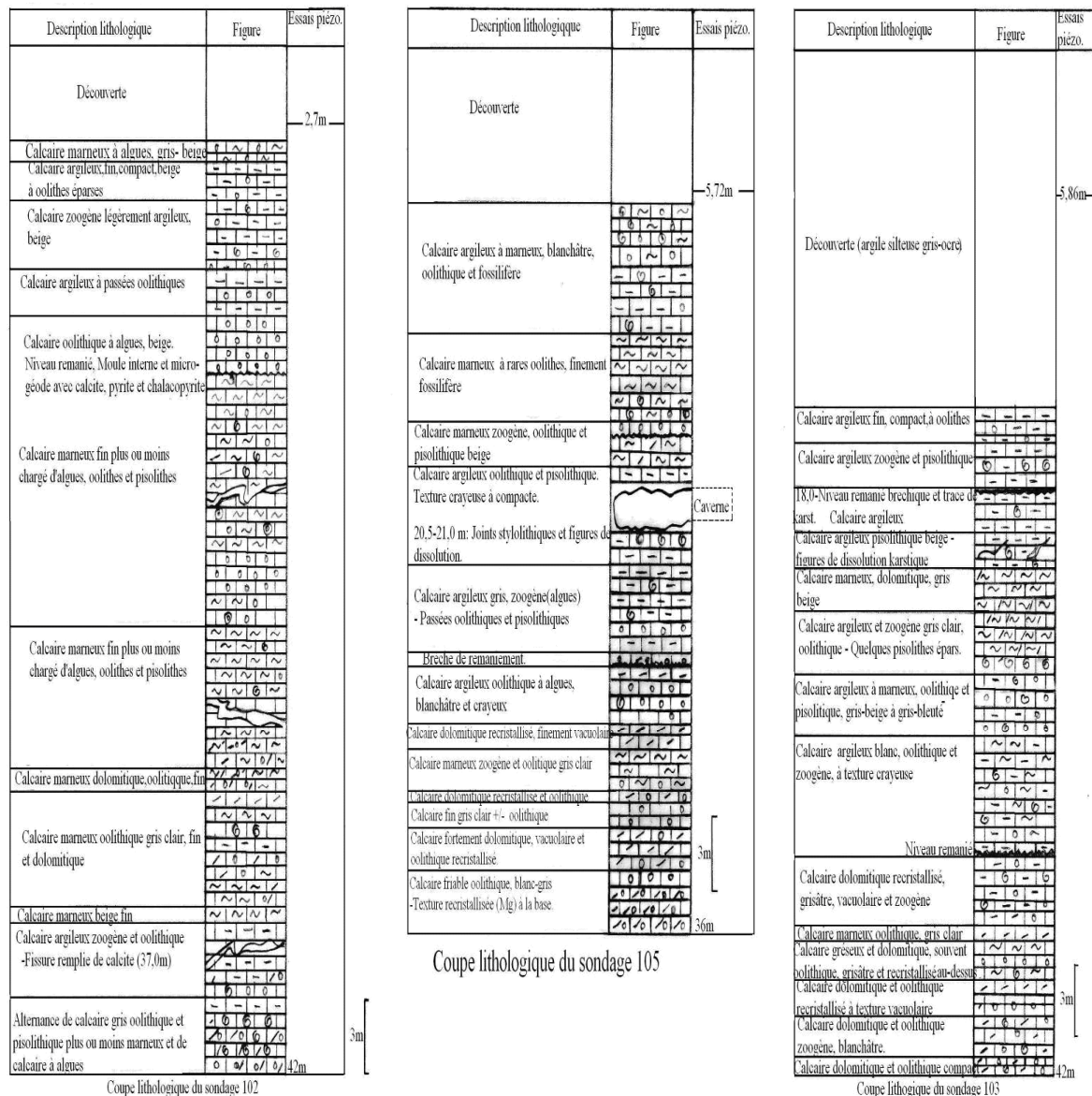


Figure 5: Coupes lithologiques des sondages 102, 103 et 105 (Karlin [6])

Le toit de l’aquifère des calcaires de Madiéla, est représenté par la série de cap Lopez d’âge Cénomanién. Cette série est constituée d’un faciès sablo-gréseux versicolore se confondant avec la partie marneuse de la série calcaire de Madiéla (Karlin [6]).

Le mur de l’aquifère des calcaires de Madiéla correspond à la série des Vemboshales. Cette série présente au sommet un niveau salifère. Ce niveau salifère pourrait, s’il est en contact avec un niveau réservoir, entraîner une contamination de la nappe.

Les grès de la série de Ndombo (ou aquifère des grès de N’dombo) couvrent une superficie d’environ 150 km² et se présentent sous forme d’une bande orientée NO-SE et affleurent à moins de 4 km à l’est de Méba. Dans la zone d’affleurement, les sables et les grès de N’dombo renferment une nappe artésienne qui se manifeste en toute saison par des écoulements d’eau claire. A l’est de Méba et au Nord de Mfoulayong, deux anciens ouvrages réalisés en 1983, situent le toit des grès à une profondeur de 65 m à Méba et 61 m à Mfoulayong.

Le toit de l'aquifère des grès de Ndombo correspond à la série de Kango (Cocobeach inférieur, essentiellement marneux) et son mur est représenté par la série de M'vone. Cette série est constituée de marnes et d'argiles violettes ou vertes parfois bitumineuses au sommet.

En ce qui concerne les paramètres hydrodynamiques, les travaux de SAFEGE ([1]) ont conduit à des transmissivités de l'ordre de $10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (à Mfoulayong) et $10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (à Méba) pour des productivités respectives de 4000 et 1500 $\text{m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$. Cependant le coefficient d'emmagasinement n'avait pas été déterminé pour manque d'ouvrage d'observation (puits ou piézomètre).

4 – Résultats et Discussions

Les sondages électriques

Dans l'ensemble des sondages électriques réalisés, seuls les sondages électriques 12, 16, 32 et 33 montrent le toit des grès révélées par les sondages de Méba et de Mfoulayong un corps électriquement résistant (Tableau 2).

Tableau 2 : Cotes relatives du toit de l'aquifère des grès de N'dombo (Koungourou Matsaya [4])

S.E	Unité électrique (ohm.m)	Profondeur (m)	Caractéristiques électriques des terrains suivant l'échelle utilisée par SAFEGE (1983)
16	264,98	59,00	Résistant ($\rho > 100\Omega \cdot \text{m}$)
12	133,35	60,12	Résistant ($\rho > 100\Omega \cdot \text{m}$)
32	69,16	64,59	moyennement résistant ($50 < \rho < 100\Omega \cdot \text{m}$)
33	67,15	61,00	moyennement résistant ($50 < \rho < 100\Omega \cdot \text{m}$)

Du sondage 16 au sondage 33 (d'ouest en est de Mfoulayong), on a une forte diminution de la résistivité des grès et une faible variation de la cote du toit des grès. Or la résistivité des grès est d'autant plus

faible qu'ils sont perméables. Donc, l'est de Mfoulayong constitue la zone favorable pour l'implantation des sondages.

Les autres sondages électriques présentent soit une faible profondeur d'investigation soit, une forte dispersion des points autour de la courbe électrique obtenue. Les causes à l'origine de ces perturbations peuvent être liées à l'existence de terrains à résistivité élevée au voisinage des électrodes d'injection ce qui, induit un mauvais passage du courant et à la présence des hétérogénéités locales au niveau des couches qui perturbent les mesures. Par défaut d'une étude géophysique, les sondages dans la série des calcaires de Madiéla ont été implantés en tenant compte des paramètres suivants : proximité des affleurements des calcaires et des anciens sondages mécaniques ; repérage avec une fine résolution les positions des failles principales sur le terrain. Ainsi, nous avons implanté des sondages dans le secteur nord de la route N'toum-Donguila ; au sud de la route nationale 1 (au niveau de Nkoltang) et à l'ouest de Méba (à environ 4 km de Ntoum) (Fig. 6).

Les diagraphies

Les valeurs des logs diagraphiques comprises entre les profondeurs 0 et 21 m à N'Toum 2 (NT2) et 0 à 25 m à N'koltang 1 (NK1), pourraient refléter uniquement les caractéristiques des fluides de foration. En outre, pour l'interprétation, nous n'utiliserons pas la P.S compte tenu de ses mauvaises variations qui reflètent "l'effet de la dérive". Nous débuterons notre interprétation au-delà de ces valeurs et signalons par ailleurs que dans les différents sondages, la diagraphie a été réalisée à trou nu (Fig. 7).

Ainsi, sur 177 et 162 m de profondeur, respectivement foré à NT2 (a) et à NK1 (b), on a une épaisseur cumulée nette de 48 et 44 m constituée des réservoirs épais. Ces réservoirs s'observent de 29 à 38 m, 44 à 54 m et de 70 à 87 m à NK1. Cependant, le fait

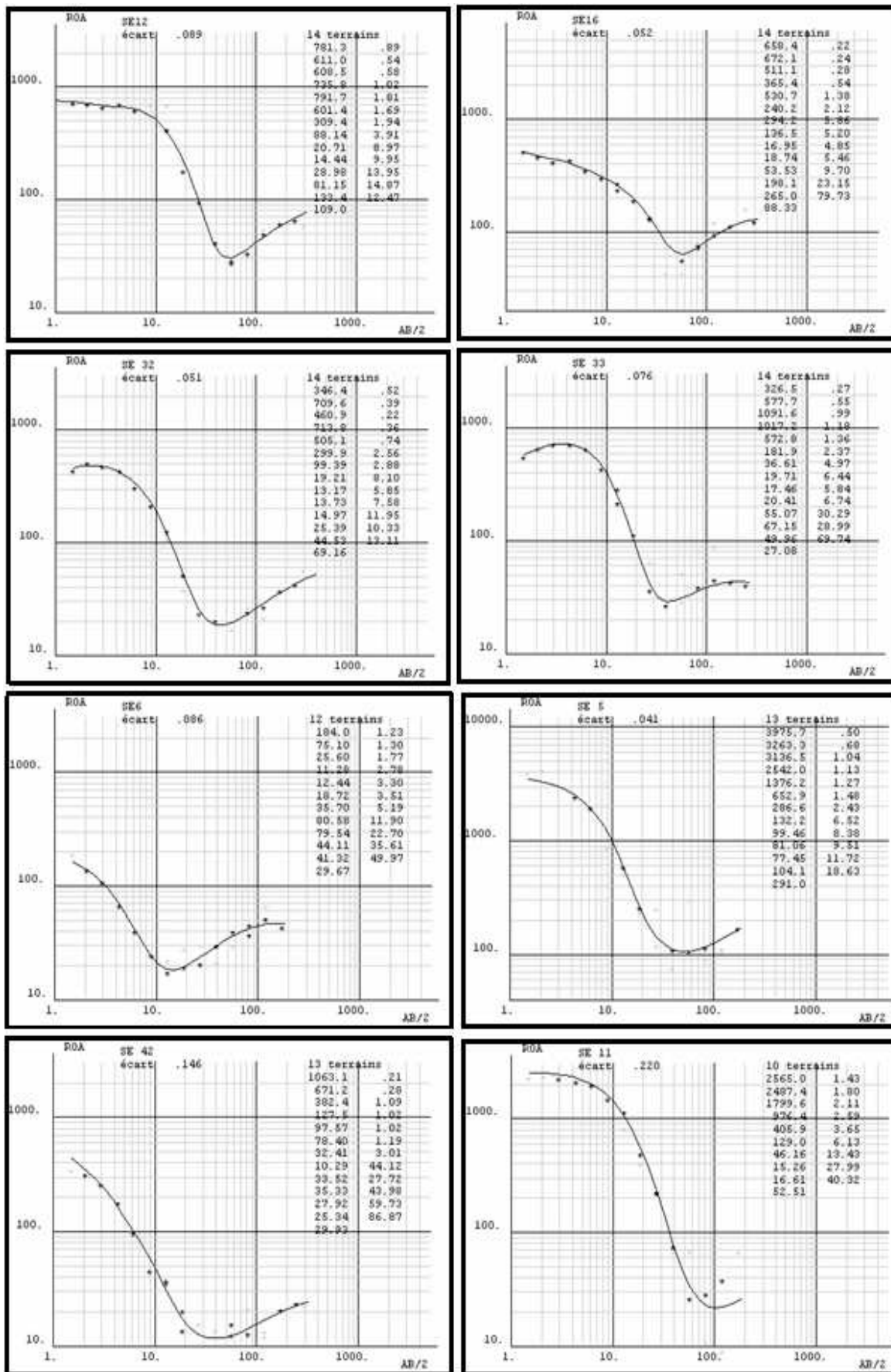


Figure 6 : Courbes des sondages électriques (Koungourou Matsaya [2])

que la courbe de la grande normale soit au dessus de celle de la petite normale sur les 72 m (de 26 à 98 m), laisse présager qu'on ait une eau peu conductrice lors du pompage et par conséquent peu minéralisée. Par ailleurs, la forme plate de la grande normale à partir de 119 m de profondeur traduirait des venues d'eau salée à partir de cette profondeur.

Au niveau de NT2, ces réservoirs s'observent de 50 à 60 m, 87 à 94 m, 102 à 110 m, 136 à 143 m, 156 à 160 m et de 162 à 168 m. Le long de ce diagramme, la résistivité du filtrat est supérieure à celle de l'eau de formation (courbe de la petite normale au-dessus de celle de la grande normale). Ceci traduirait que l'eau de la formation serait plus conductrice que le filtrat et, par conséquent plus minéralisée.

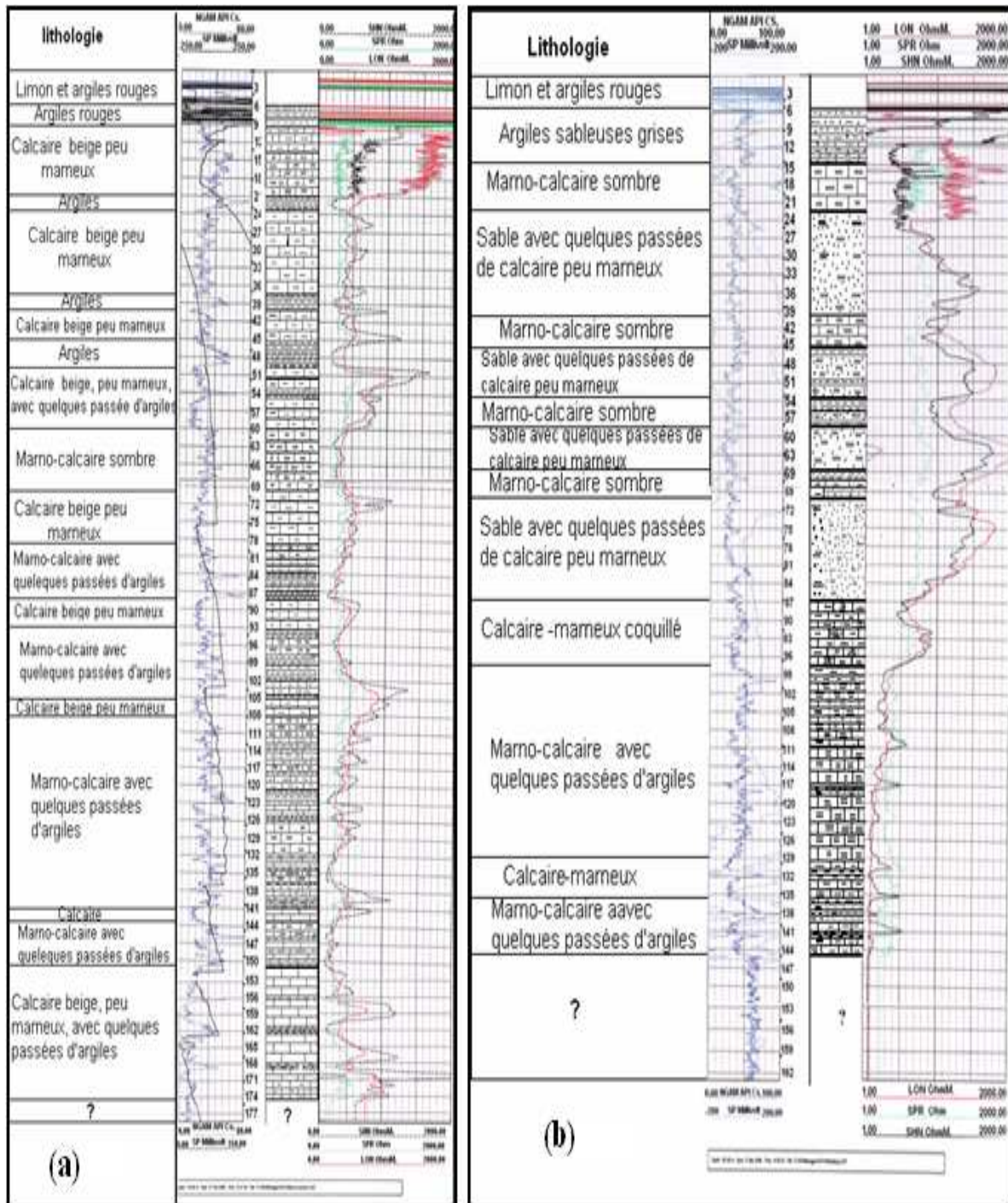


Figure 7 : Diagraphies des sondages NT2 (a) et NK1 (b) (Koungourou Matsaya [4]).

5 - Conclusion

La prospection géophysique par le biais des sondages électriques, mécaniques et diagraphies a révélé que :

- dans les grès de Ndombo, l'Est de Mfoulayong constituerait un site favorable à l'implantation des forages hydrauliques. Par contre dans la zone des calcaires de Madiéla, les secteurs retenus sont le Nord de la route N'toum-Donguila, le Sud de la route nationale 1, au niveau de Nkoltang et à l'Ouest de Méba à 4 km environ de Ntoum.
- dans le secteur nord de la route N'toum - Donguila (sondage NT2), les niveaux aquifères intéressants du point de vue productivité, présenteraient une épaisseur relative de 48 m. Ces niveaux aquifères seraient constitués essentiellement de calcaires peu marneux. Ce pendant, dans le secteur sud de la route nationale 1 (sondage NK1), l'épaisseur moyenne de niveaux aquifères serait de 44 m et le réservoir serait constitué essentiellement des sables de N'toum.

6 – Références Bibliographiques

[1] SAFEGE (1983). Alimentation en eau potable de Libreville. Edition S.E.E.G, 65 p.

[2] Chapellier D. (2001). Prospection électrique de surface. Université de Lausanne/Institut Français du Pétrole, 102 p. Cours online de géophysique.

[3] Chapellier D. (1987). Diagraphies appliquées à l'hydrogéologie. Editions Lavoisier Tec et Doc, Paris, 165 p.

[4] Koungourou Matsaya Y. (2007). Prospection hydrogéologique et suivi de l'exécution des forages pour le renforcement de l'alimentation en eau potable de Libreville. Mém. de D.E.A, Département de Géologie, Univ. CAD, 99 p.

[5] BURGEAP (1999). Etude préliminaire pour la recherche des ressources en eau souterraine ou superficielles destinée à l'AEP de libreville. Edition S.E.E.G, pp. 7 - 26.

[6] Karlin M. (1976). Etude géologique, vol 1.1 et 2.2 texte. Rap. L.C.E. Cimenterie de N'toum, 46 p et 40 p.

[7] Collignon B. (2005). Mobilisation des ressources en eau souterraine pour l'approvisionnement de Libreville, mission du 22 au 28 Mars 2005. Rap. SEURECA Libreville, 18 p.