



## ÉTUDE DE L'ENVIRONNEMENT GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOPHYSIQUE D'UN SITE DESTINE A L'IMPLANTATION D'UN CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE A ATTIEKOI DANS LE DISTRICT D'ABIDJAN (SUD DE LA COTE D'IVOIRE)

**\*Yao Blaise KOFFI**

*Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE) ; UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM) ; Université Félix Houphouët Boigny; 22 BP 582 Abidjan 22, (Côte d'Ivoire)*

**Kouassi Ernest AHOUSI**

*Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE) ; UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM) ; Université Félix Houphouët Boigny; 22 BP 582 Abidjan 22, (Côte d'Ivoire)*

**Gabriel Etienne AKE**

*Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE) ; UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM) ; Université Félix Houphouët Boigny; 22 BP 582 Abidjan 22, (Côte d'Ivoire)*

**Amani Michel KOUASSI**

*Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB); Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi); BP 1093 Yamoussoukro; (Côte d'Ivoire)*

**Jean BIEMI**

*Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE) ; UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM) ; Université Félix Houphouët Boigny; 22 BP 582 Abidjan 22, (Côte d'Ivoire)*

---

### ABSTRACT

*The several types of data used in this paper are : "geophysical data of four (4) drilling of 200 m depth, piezometric data of four (4) drilling, data from four (4) drilling from 50 to 98 m, the data of permeability test". With this data base, the geological and geophysical studies allowed to discriminate different geological layers on the site of study. Regarding the groundwater aquifers, the hydrogeological analysis was made. The results obtained by these approaches are very satisfactory. Indeed, the results obtained in this study show that the level 5, comprised of clays with power ranging from 22.5 to 42.5 m is highly developed in the area. This clay formation has very low permeability. The depth of ground water varies for 13.84 to 45.37 m, with an average of 30.83*

*m. In addition, the areas which are most vulnerable to pollution are the drillings "F4" and "F1" located in the bottom of the pit, with respectively 13.84 and 30.83 m of water depth. These shallow waters may be contaminated by leachate from the waste and require special attention.*

---

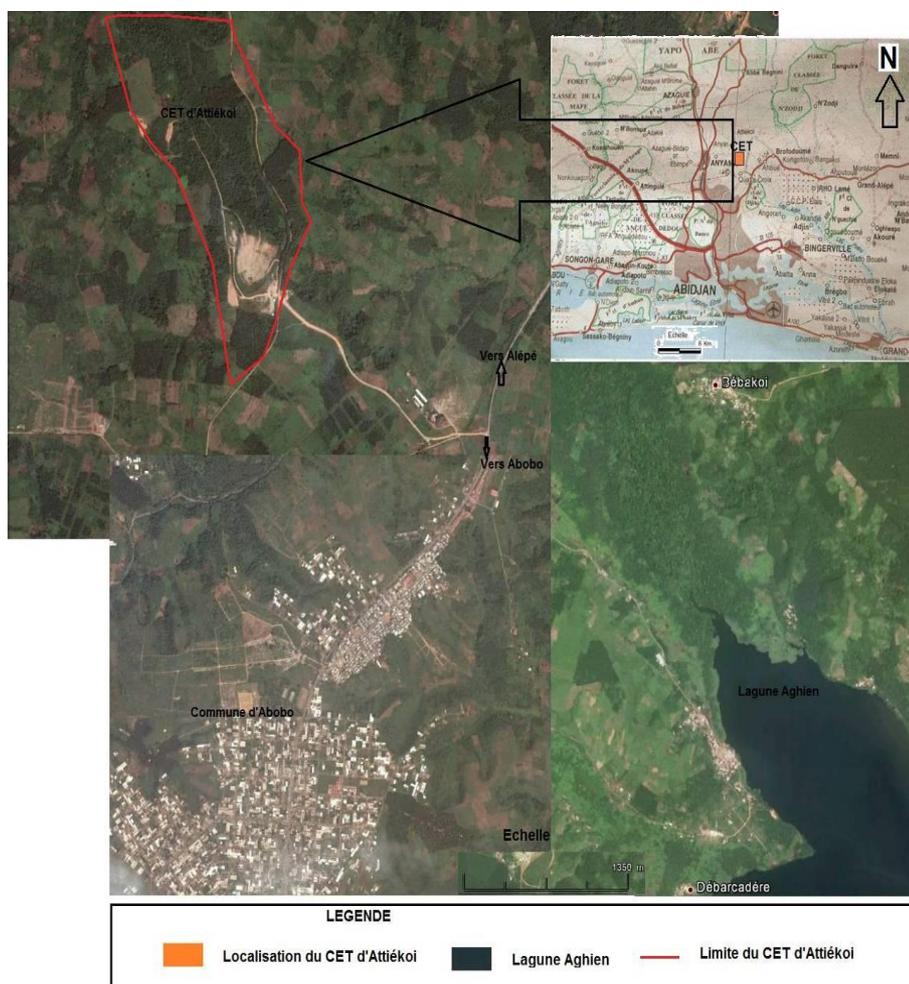
**Keywords:** Sustainable urban development, Pollution of groundwater, Groundwater, Drinking water, Environment, Côte d'Ivoire.

## 1. INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, la nappe du Continental Terminal est utilisée par la Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire (SODECI) pour l'Approvisionnement en Eau Potable (AEP) des populations abidjanaises. Mais cette nappe connaît depuis quelques années des problèmes de pollution nitratée dans sa partie Sud (Kouadio *et al.*, 1998; Oga, 1998; Jourda *et al.*, 2006; Kouamé, 2007). Ces problèmes de vulnérabilité à la pollution de la nappe du Continental Terminal sont accentués par l'urbanisation accélérée et incontrôlée du District d'Abidjan. Plusieurs travaux ont tenté d'étudier cette vulnérabilité, notamment ceux de Jourda *et al.* (2003), Jourda *et al.* (2006); Kouamé (2007), sur la gestion et la protection des eaux souterraines urbaines à l'aide d'un système d'information géographique. Ces travaux révèlent que la nappe d'Abidjan présente deux grandes zones de vulnérabilités. Une zone à vulnérabilité "moyenne" située à l'Est et à l'Ouest du District d'Abidjan et une autre à vulnérabilité "forte" située au Sud et au Nord (où est projeté la construction d'un Centre d'Enfouissement Technique (CET)) dans la partie de recharge de la nappe d'Abidjan. Au regard de ces zones de vulnérabilité mise en évidence par ces travaux, est-il possible qu'un CET qui se situe dans la partie Nord d'Abidjan (zone à vulnérabilité forte) contribue à polluer les eaux de la nappe du Continental Terminal. La présente étude vise donc à évaluer l'environnement géologique et hydrogéologique du CET en projet afin de s'assurer que ce milieu pourrait recevoir durablement cet ouvrage d'assainissement.

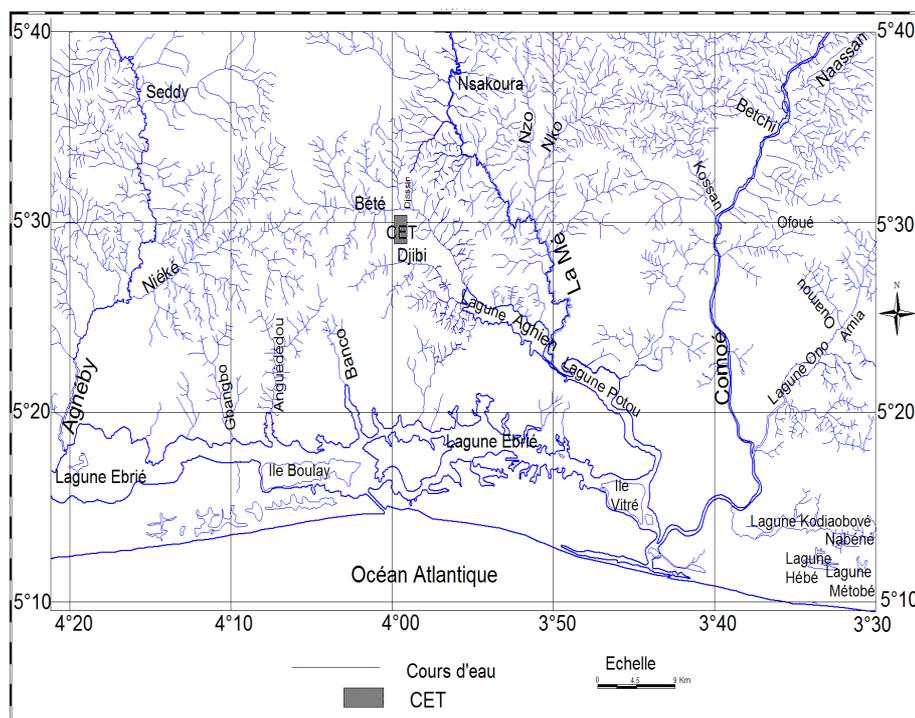
La zone d'étude est située entre les longitudes 3°50 et 4°10 W et les latitudes 5°40 et 5°20 N (Figure 1). Elle couvre une superficie de 113 Hectares et est situé à 25 km d'Abidjan sur l'axe Abidjan - Alépé, précisément à un km avant le corridor d'Ahoué. Cette zone a la forme d'un polygone allongé qui longe la piste qui mène de "Quatre Croix" à Attiékoï. Sur son côté Sud, le site se trouve à 2 km du village de "Quatre Croix" et à 3,2 km à vol d'oiseau de celui d'Ahoué ; et sur son côté Nord, il est à 3,5 km d'Attiékoï. Le site correspond à un haut plateau d'environ 80 à 100 m d'altitude qui domine les vallées fluviales de la Djibi à l'Ouest et de la Bété au Nord-Est.

**Figure-1.** Localisation géographique du CET d'Attiekoi



Cette zone se caractérise par un climat de type équatorial de transition à deux saisons de pluies et deux saisons sèches. Le secteur d'étude appartient à un climat chaud avec des températures moyennes mensuelles supérieures à 20°C. En outre, ce climat est de type humide ; car, les précipitations annuelles dépassent largement les 1200 mm. Cette zone est aussi caractérisée par une pluviométrie inégalement répartie dans le temps et dans l'espace avec : (i) une grande saison pluvieuse de mai à juillet ; (ii) une petite saison pluvieuse en juillet – août ; (iii) une petite saison sèche de septembre à octobre ; (iv) une grande saison sèche de décembre à avril. (Oga, 1998).

L'évapotranspiration potentielle moyenne, calculée pour la période 1990-2012 est de 1518 mm/an contre 1383 mm/an pendant la période 1972-1989 (Sogreah, 1992; Sogreah, 1996). Elle a donc sensiblement augmentée entre 1990 et 2012 ; et cette augmentation est de 0,025 mm/mois, soit 0,3 mm/an. Au niveau hydrologique, la zone d'étude est dominée par les rivières Bété et la Djibi et leurs différents affluents (Figure 2).

**Figure-2.** Réseau Hydrographie immédiat et lointain de la zone d'étude

Les eaux de ces rivières se déversent toutes dans les lagunes Potou et Aghien, situées en aval immédiat du CET d'Attiki ; qui sont elles même, des déversoirs des eaux souterraines. Le site d'implantation du CET d'Attiki est un plateau situé entre les bassins de drainage des rivières Bété et Djibi. Dans le secteur, la ligne de partage des eaux de surface est souvent mal définie au-dessus de la surface plane des hauts plateaux.

## 2. MATÉRIEL, DONNÉES ET MÉTHODES

### 2.1. Matériel et données

Les travaux de terrains ont nécessité comme matériel : (i) une sonde piézométrique avec détecteur de fond ; (ii) un GPS pour la géo-localisation ; (iii) un décimètre et un appareil photo numérique ; (iv) une carte topographique au 1/200 000; (v) un résistivimètre pour l'étude géophysique du site. Plusieurs données ont été nécessaires pour la réalisation de cette étude. Il s'agit des relevés de quatre (4) sondages de géophysique de 200 m de profondeur chacun ; des carottes issus de quatre (4) forages de 50 à 98 m réalisés sur l'ensemble du site d'étude et des essais de perméabilités pour l'étude hydrogéologique, les données des campagnes piézométriques réalisées sur les quatre (4) forages ont été utilisés.

### 2.2. Méthodologie

Cette étude a débuté par une synthèse bibliographique des travaux antérieurs réalisés sur l'ensemble de la zone d'étude suivi d'une description macroscopique des échantillons de roches et des coupes de forages. La campagne piézométrique a été réalisée en avril 2012 sur une période d'une

semaine, ce qui correspond à la période des bases eaux dans la région d'Abidjan. Les données piézométriques mesurées ont permis de déterminer la côte des eaux souterraines. Sur la base des altitudes du bord supérieur du tube PVC du piézomètre, le niveau piézométrique est déterminé en retranchant de cette cote, la profondeur mesurée à l'aide de la sonde piézométrique. L'expression de utilisée est la suivante en considérant uniquement que la nappe est libre [Castany \(1982\)](#):

$$H = Z - h_p \quad (\text{Eq. 1})$$

Avec :

H : niveau piézométrique (hauteur d'eau dans l'ouvrage) (m) ;

Z : côte absolue du terrain naturel (m) ;

$h_p$  : niveau statique (m).

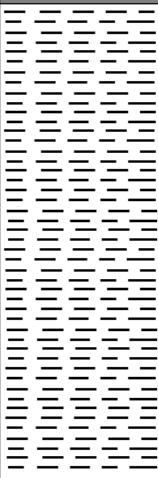
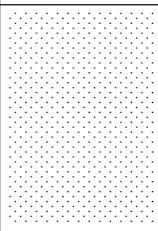
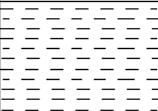
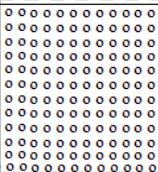
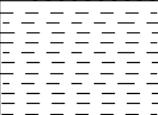
La méthode de géophysique qui a été employée est celle des trainées électriques, utilisant le dispositif linéaire de Schlumberger à quatre électrodes. Dans ce dispositif, les électrodes d'injection (A et B) sont situées aux extrémités de la ligne et les électrodes de potentiel (M et N) au centre. L'injection dans le sol d'un courant continu alimenté par une batterie (70 Ah) reliées en série à un résistivimètre permet de calculer, à partir des mesures d'intensités et de différence de potentiel, la résistivité électrique du sous sol à la verticale du point centrale (O) du dispositif. La combinaison de toutes ces méthodes a permis une meilleure investigation du CET d'Attiekoi en projet par la détermination de ses caractéristiques géologiques et hydrogéologiques.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'analyse des coupes de forages montre que le socle précambrien aux droits de la zone d'étude est totalement absent à l'affleurement. Dans la région, les formations cristallines n'affleurent qu'au Nord-Est de cette zone où on trouve des grès pélitiques provenant d'anciennes méta-arénites feldspathiques d'origine détritique; et des roches volcano-sédimentaires riches en chlorite et amphibole de couleur sombre. Ces dernières étant composées de : (i) schistes tufacés, verts à rouges ou noirs graphiteux et schistes quartzeux ; (ii) métadacites sous forme de lentilles ; (iii) amphibolopyroxénites massifs et noirâtres. Dans le secteur intéressé par l'étude, le Quaternaire existe au pied des hauts plateaux, depuis le Sud des lagunes Potou et Aghien et dans les vallées fluviales des cours d'eau Bété, Djibi et Djassin. Il s'agit de formations de base du Quaternaire d'âge pléistocène qui comprennent : (i) des sables et argiles fluviales à intercalation de niveaux de graviers qui sont des remplissages deltaïques ; (ii) des sables argileux ocres, homogènes, à granulométrie comprise entre 250 et 500  $\mu\text{m}$  qui forment les bas plateaux. Ce sont des bandes massives aux surfaces planes culminant entre 10 et 12 m d'altitude au-dessus des lagunes. Ils sont quelques fois intensément morcelés par de vastes et profondes dépressions. L'Holocène est formé de sables des cordons littoraux marins, des vases et des sables lessivés des dépressions fluviales et lagunaires et les vases des marécages. Dans les formations sédimentaires du secteur d'étude, les coupes géologiques établies sur les 5 forages carottés (2 forages d'eau et 3 piézomètres d'observation), mettent en évidence la présence de 6 niveaux de formations différentes qui sont de haut en bas (Figure 3) : (i) niveau 6 : terre végétale, humifère, légèrement sableuse et noirâtre d'épaisseur 2,5 m ; (ii) niveau 5 : argiles poly-colorées de 42,5 m d'épaisseur communément appelé argiles tigrées ou bariolées ;

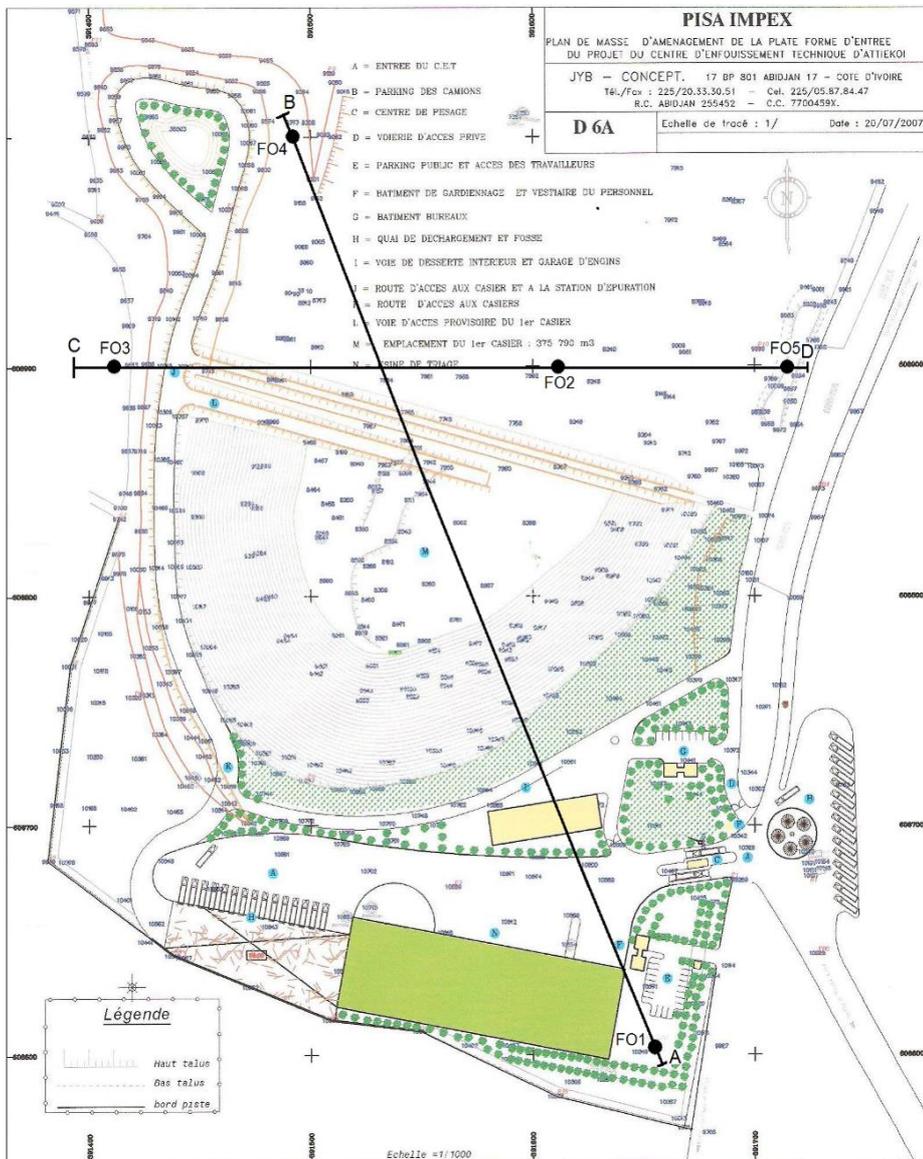
et qui contiennent des concrétions de fer et des débris de cuirasses latéritiques dans la partie supérieure ; (iii) Niveau 4 : sables à grains fins (20 m d'épaisseur) contenant des débris de quartz anguleux et quelques rares passées argileuses ; (iv) Niveau 3 : argiles fines (10 m d'épaisseur) de couleur blanchâtre et portant les traces du pluvio-lessivage; (v) Niveau 2 : sables de granulométrie grossière et riches en débris de quartz anguleux. Ce niveau présente 15 m d'épaisseur; (vi) Niveau 1 : argiles fines de couleur verdâtre sur 8 m ; mais non entièrement traversées par le forage n°1 le plus profond.

**Figure-2.** Coupe litho-stratigraphique du forage n°1 du CET d'Attiekoi

Nature des terrains	Puissance (m)	Coupe	Profondeur (m)
Sols humifères	2,5		2,5
Argiles bariolées + Concrétions et débris de Cuirasse latéritique dans la partie supérieure	42,5		45
Sables fins	20		Aquifère 65
Argiles fines, lessivées, blanchâtres	10		75
Sables grossiers	15		Aquifère 90
Argiles verdâtres, fines	8		98

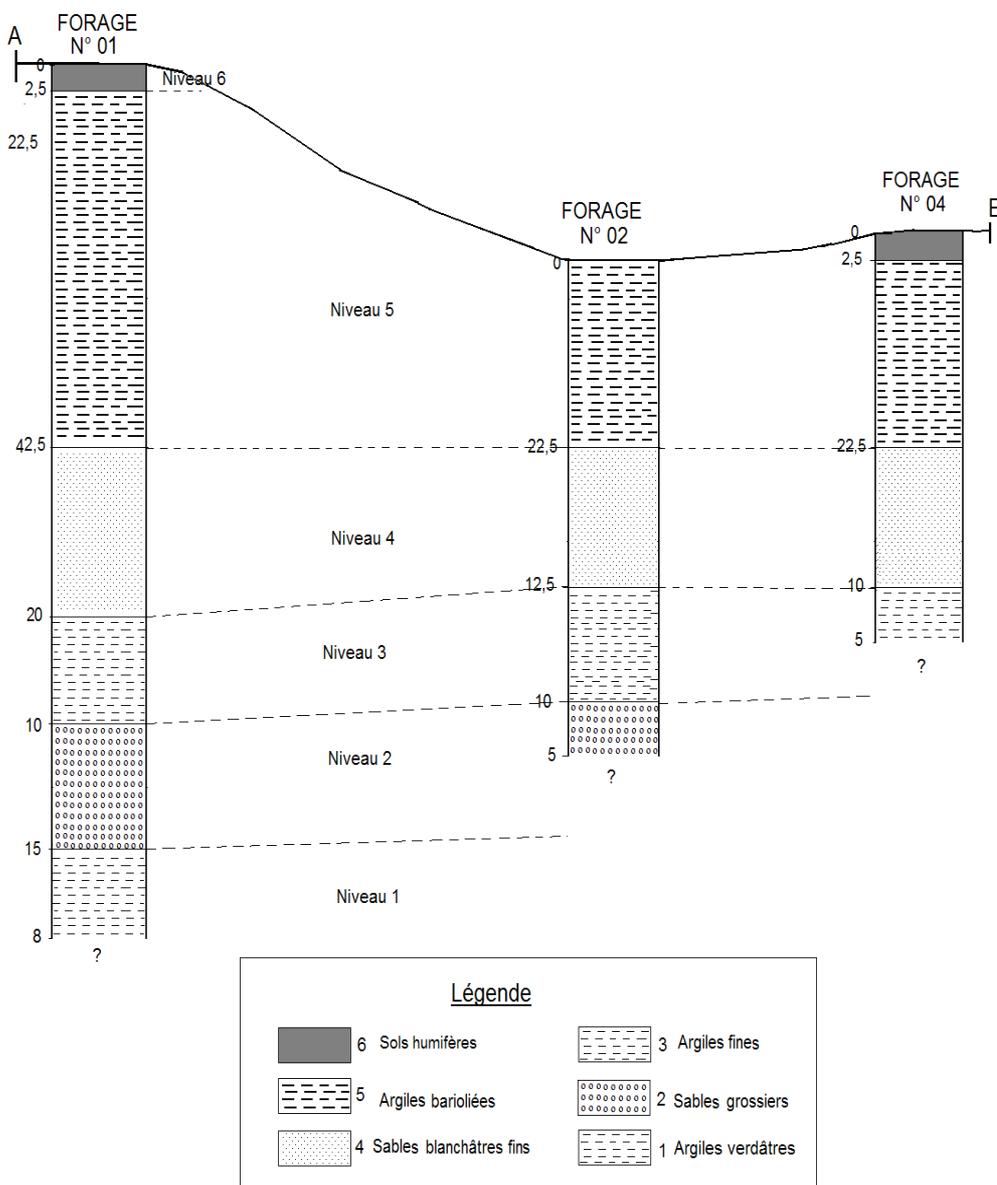
Sur les 2 profils de corrélation litho-stratigraphique réalisés dans le secteur d'étude avec les différentes coupes géologiques obtenues sur ces 5 ouvrages, on constate que l'épaisseur des différents niveaux de formation précités varie dans l'espace. Par exemple, sur le profil AB passant par les forages 1, 2 et 3 (Figures 4 et 5), ces variations d'épaisseur donnent respectivement: (i) 42,5 ; 22,5 ; 22,5 m pour le niveau 5 formé d'argiles bariolées; (ii) 20 ; 12,5 et 10 m pour le niveau 4 formé de sables fins; (iii) 10 ; 10 et 5 m (mais non entièrement traversé par le forage 3) pour le niveau 3 formé d'argiles blanchâtres.

**Figure-3.** localisation des profils de corrélation litho-stratigraphiques AB et CD



Rappelons que sur ce profil AB, le niveau 2 (sables grossiers) et le niveau 1 (argiles verdâtres) n'ont pas été entièrement traversés par les forages 2 et 3.

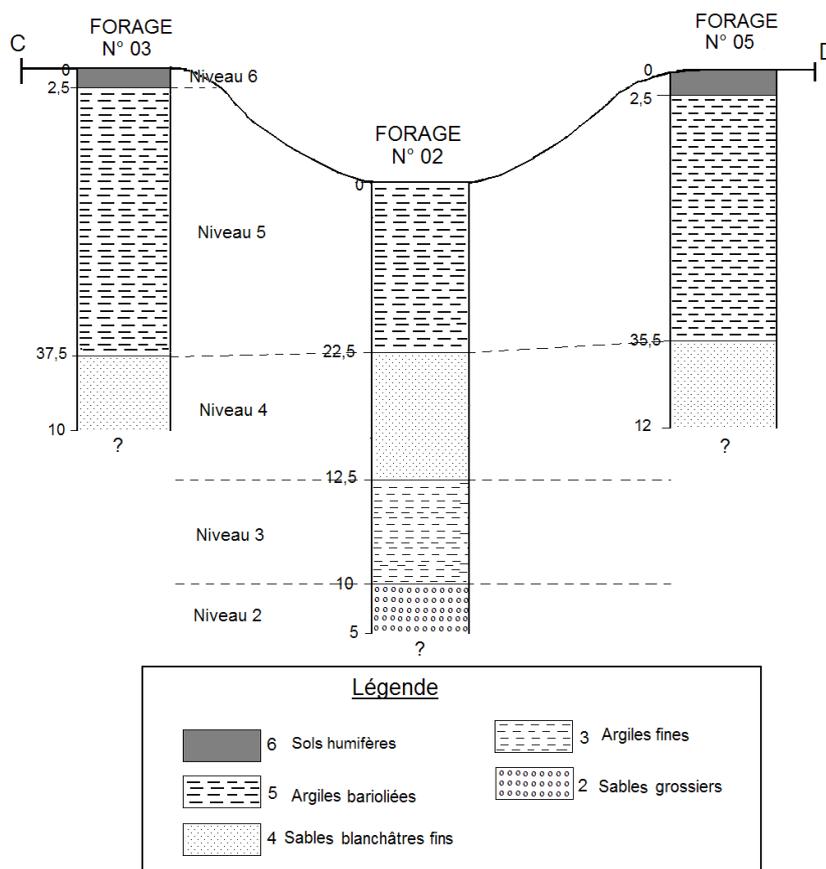
**Figure-4.** Profil de corrélation litho-stratigraphique suivant la coupe AB du CET d'Attikiékoï



De la même façon, sur le profil CD (Figure 6) passant par les forages 3, 2 et 5, on note également une variation importante de l'épaisseur des formations qui caractérise ces différents niveaux : (i) 37,5 ; 22,5 et 35,5 m pour le niveau 5 formé d'argiles bariolées ; (ii) 10 ; 12,5 et 12 m (non entièrement traversé par le forage 5) pour le niveau 4 formé de sables fins. Comme on le constate, le niveau 5 formé d'argiles bariolées est très développé dans le secteur ; puisque sa puissance varie de 22,5 à 42,5 m sur le site du CET d'Attikiékoï. Or, c'est sur ce niveau 5 que sont construits les différents casiers devant recevoir les déchets. Les travaux de [Naoidine \(1999\)](#), ont démontré de façon théorique qu'une épaisseur d'argile de 10 à 30 cm est acceptable pour avoir une perméabilité moyenne faible. D'après ce même auteur, une couche d'argile plus épaisse, comme c'est le cas dans

la présente étude (22,5 à 42,5 m), est souhaitable afin de tenir compte de la détérioration de ce matériel. Ces travaux ajoutent également qu'une perméabilité à long terme de  $10^{-7}$  cm/s peut être atteinte avec une épaisseur de 90 cm d'argile. En effet, une épaisseur de 1,2 à 1,5 m fournira une couche à faible perméabilité de 60 à 90 cm d'épaisseur lorsque les 30 à 60 cm de la partie située plus haut seront dégradée (Bagchi, 1994). En outre, sur le plan lithostratigraphique, on note une alternance remarquable de couches géologiques de nature argileuse et donc imperméable avec des niveaux sableux perméables dans lesquels se développent les aquifères du secteur. Or, il s'agit là d'une disposition géologique naturelle très intéressante pour le projet de CET, parce qu'elle protège déjà naturellement les nappes d'eau souterraine sous-jacentes contre les infiltrations et donc contre la pollution qui proviendrait du lixiviat. En effet, les formations sableuses non saturées qui s'intercalent entre les formations argileuses et les nappes d'eau souterraines constitueraient des systèmes épurateur à l'égard des polluants biologiques (Schlachter, 1981).

Figure-5. Profil de corrélation litho-stratigraphique suivant la coupe CD du CET d'Attiekoi



Le résultat du traitement des données géophysiques collectées sur le terrain est présenté sous forme de graphes (Figures 7 et 8). Ces résultats montrent que pour une investigation géophysique de 200 m de profondeur, la profondeur du toit du socle sur la zone d'étude varie de 130 m à 190 m (Tableau 1).

**Tableau-1.** Récapitulatif de l'épaisseur des altérites mesurés aux droits des sondages 1, 2, 3 et 4 sur le CET d'Attiki

SITE	Coordonnées géographiques	Profondeur d'investigation	Profondeur du Socle
SE1	05°29'24.9"N ; 003°58'43.5"W	200 m	180 m
SE2	05°29'46.9"N ; 003°58'77.4"W	200 m	190 m
SE3	05°29'44.2"N ; 003°58'59.3"W	200 m	130 m
SE4	05°29'19.2"N ; 003°58'40.1"W	200 m	170 m

La géophysique montre également que, sur l'ensemble du site étudié, la couche sédimentaire est suffisamment épaisse (150 m en moyenne) pour constituer des aquifères à même de contribuer considérablement à la recharge des puits et forage. Par ailleurs, ces études géophysiques montrent que le substratum rocheux est suffisamment fracturé (SE1 et SE3) pour pouvoir constituer un aquifère notable pour soutenir la productivité des forages. L'observation des forages (piézomètres) existants indique que le niveau de la nappe est peu profond (site de sondage S3), ce qui témoigne de l'alimentation de celle-ci par les eaux de surface infiltrées.

**Figure-6.** Courbes de la modélisation des sondages 1 et 2 du CET d'Attiki

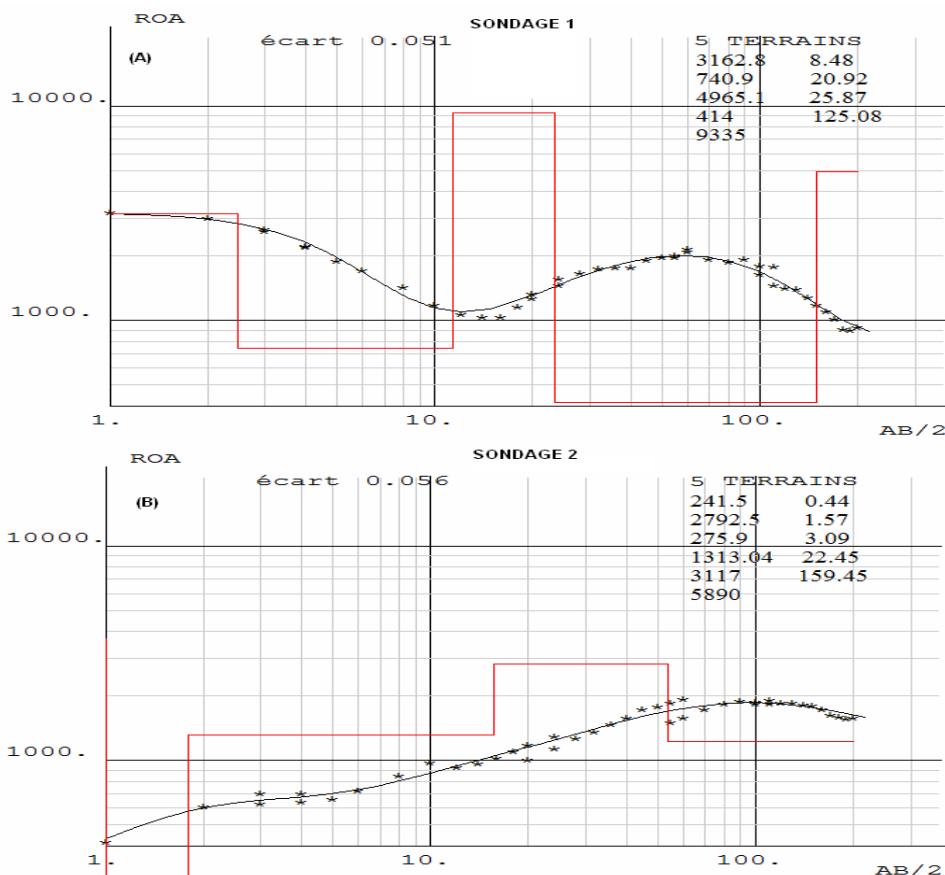
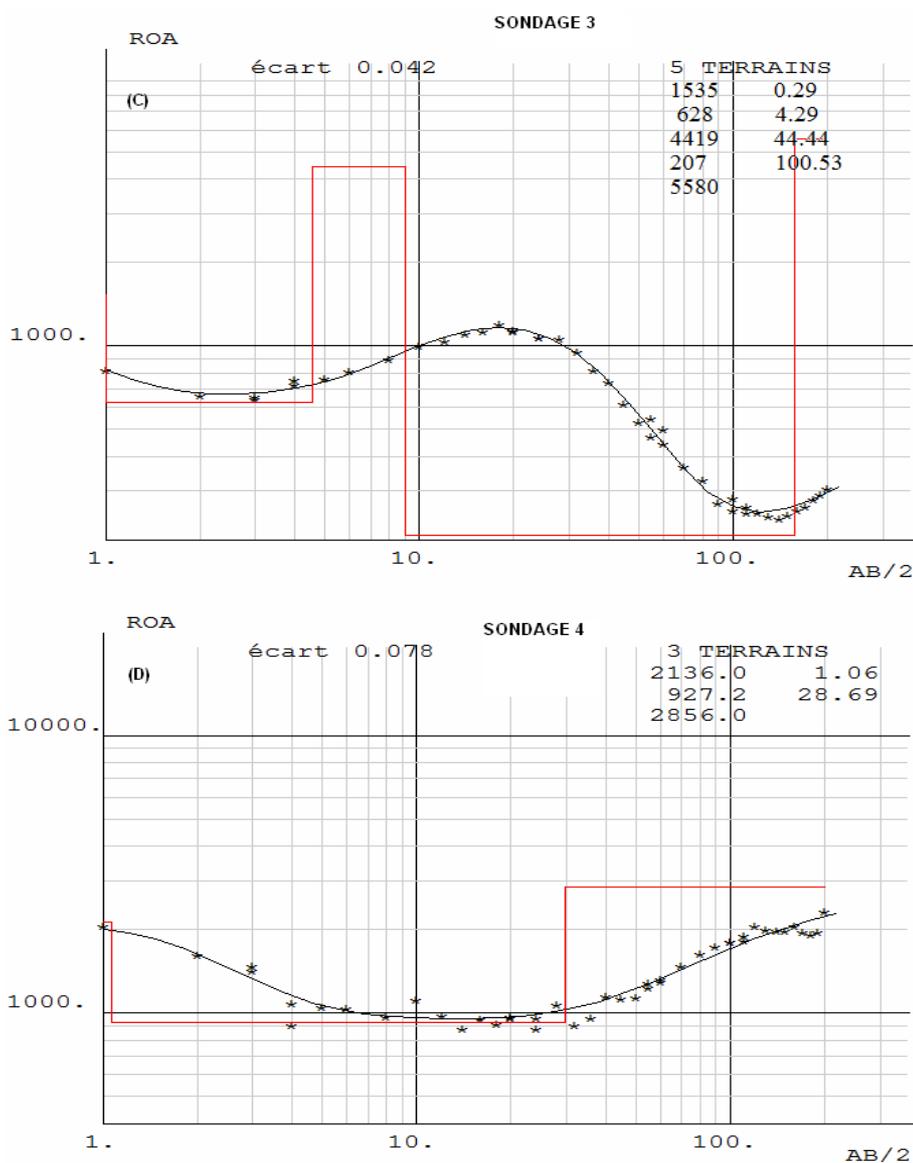
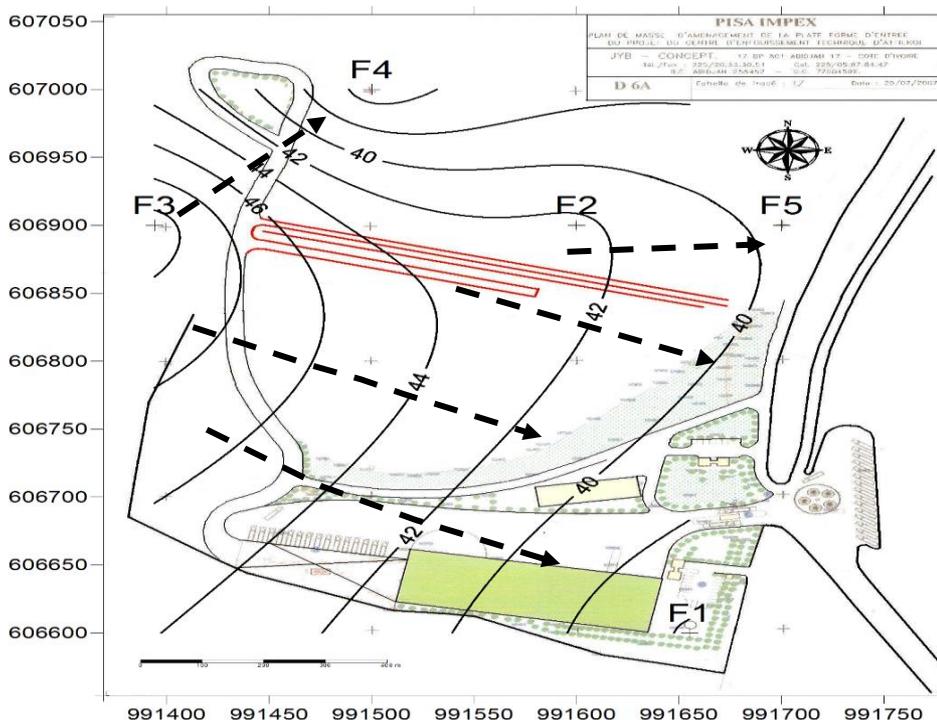


Figure-7. Courbes de la modélisation des sondages 3 et 4 du CET d'Attikiékoï



Les observations de terrain confirmées par l'étude géophysique montrent que les couches de couverture du substratum rocheux sont essentiellement constituées de : (i) couvert végétal ; (ii) couches argileuses ; (iii) couches sableuses. Les horizons du substratum rocheux sont surtout composés de schistes, de conglomérat fracturés surmontant le socle sain. La fracturation du socle sain est en relation hydraulique directe avec la zone altérée ce qui garantit la recharge des nappes profondes. L'esquisse de la carte hydrogéologique du CET d'Attikiékoï réalisée montre que (Figure 9) les lignes de courant sont orientées NW et WE. Cela signifie que dans le secteur, les eaux souterraines coulent en direction des lagunes Aghien et Potou. On en déduit que toute pollution éventuelle des eaux souterraines sur le site se dirigerait inévitablement vers ces deux lagunes.

Figure-9. Esquisse piézométrique du site du CET d'Attiékoï



Sur le site d'étude, la profondeur des nappes phréatiques varie de 13,84 m à 45,37 m, soit une moyenne de 30,83 m. Les zones les plus vulnérables à la pollution sont les sites des forages F4 et F1 situés dans le fond de la fosse, avec respectivement 13,84 m et 30,83 m de profondeur d'eau. Ces eaux peu profondes sont susceptibles d'être polluées par les différentes activités anthropiques menées aux alentours du CET en projet.

### CONCLUSION

L'étude géologique et hydrogéologique réalisée permet d'affirmer que la zone d'Attiékoï est favorable à l'implantation d'un CET. Les résultats obtenus montrent bien que le niveau 5 formé d'argiles bariolées avec une épaisseur variant de 22,5 à 42,5 m est très développé dans le secteur et constitue une protection naturelle indéniable contre toute forme de pollution. Il s'agit d'une formation argileuse à coefficient de perméabilité très faible qui surplombe les différents aquifères dans la zone d'Attiékoï. La profondeur des nappes phréatiques varie de 13,84 à 45,37 m, soit une moyenne de 30,83 m. Les zones les plus vulnérables à la pollution sont les sites des forages F4 et F1 situés dans le fond de la fosse, avec respectivement 13,84 m et 30,83 m de profondeur d'eau. Ces eaux peu profondes peuvent être vulnérables à la pollution d'origine anthropique liée aux activités du futur CET et doivent donc faire l'objet d'une attention particulière lors des travaux de terrassement de cette décharge moderne. Dans cette zone, les eaux souterraines coulent en direction des lagunes Aghien et Potou. Cela montre que toute pollution des eaux souterraines sur ce site se dirigerait inévitablement vers ces deux lagunes qui sont liées hydrauliquement.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bagchi, A.D., 1994. Construction, and monitoring of landfills. 2nd Edn., New York, U. S. A: A Wiley-Interscience Publisher.
- Castany, G., 1982. Principes et méthodes de l'hydrogéologie". Bordas, Paris.
- Jourda J. P.; Kouamé K. F.; Soro N.; Kouamé K. J.; Kouadio B. H.; Saley M. B.; Kouamé K. et Ahoussi E., 2003. Gestion et protection des eaux souterraines urbaines : apports d'un système d'information géographique à la réalisation de la carte de vulnérabilité de la nappe du continental terminal au niveau de l'agglomération d'Abidjan. SIG 2003, la Conférence Francophone ESRI, 11 p.
- Jourda J. P., Saley M. B., Djagoua E. V., Kouamé K. J., Biémi J. et Razack M., 2006. Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation". Revue de Télédétection. Vol. 5, n°4, pp. 339-357.
- Kouadio, L., S. Abdoulaye, P. Jourda, L. M. and Rambaud A., 1998. Conséquences de la pollution urbaine sur la distribution d'eau d'alimentation publique à abidjan. Cahiers de l'Association Scientifique Européenne pour l'Eau et la Santé, 3(1): 61-75.
- Kouamé, K.J., 2007. Contribution à la gestion intégrée des ressources en eaux (gire) du district d'abidjan (sud de la côte d'ivoire) : Outils d'aide à la décision pour la prévention et la protection des eaux souterraines contre la pollution. Thèse Unique de Doctorat. Université de Cocody, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières.
- Naoildine, H., 1999. Elimination des déchets aux comores, pré faisabilité de l'enfouissement des déchets dans une décharge contrôlé. rapport université de la réunion, université de l'océan indien: pp: 120.
- Oga, Y., 1998. Ressources en eaux souterraines du grand abidjan : Approches hydrochimiques et isotopiques. Thèse unique, Université de Paris XI Orsay.
- Schlachter, J.-L., 1981. Décharges contrôlées de résidus urbains, surveillance et aménagements. B u l, liaison Labo. P. , 112: 11.
- Sogreah, 1992. Etude de la gestion et de la protection de la nappe assurant l'alimentation en eau potable d'abidjan. Etude sur modèle mathématique", Propositions d'études.
- Sogreah, 1996. Etude de la gestion et de la protection de la nappe assurant l'alimentation en eau potable d'abidjan. Etude sur modèle mathématique", rapport de phase 1 : collecte et synthèse des données. Version définitive: pp: 110.