

Modèle conceptuel de l'aquifère du Continental Terminal d'Abidjan

AUGUSTE K. KOUASSI¹, FRANCIS W. KOUASSI¹, JULES O. M. MANGOUA² & ISSIAKA SAVANE¹

1 Laboratoire Géosciences et Environnement, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université NANGUI ABROGOUA, 02 BP 801 Abidjan 02

kouameauguste@yahoo.fr

2 UFR en Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa Côte d'Ivoire

Résumé L'objectif de ce travail est de mettre en place un modèle conceptuel actualisé de l'aquifère du Continental Terminal d'Abidjan. A l'aide d'un GPS différentiel, une campagne de nivellement des points topographiques, des piézomètres et de certaines surfaces des cours d'eau a été effectuée. Les modèles conceptuels Est-Ouest et Nord-Sud mis en place montrent que le Continental Terminal est un aquifère constitué de deux couches principales n3 et n4, respectivement formées de sables grossiers de 90 m d'épaisseur et de sables fins à moyen de 80 m d'épaisseur. L'horizon n4 affleure dans la vallée du Banco et donc rend la nappe d'Abidjan potentiellement vulnérable dans cette zone. La recharge de cette nappe est estimée à 324 mm an⁻¹ en 2006. Les transmissivités et les perméabilités calculées, varient respectivement de 2.77×10^{-2} à $3.37 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ et de 1.1×10^{-3} à $1.2 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$.

Mots clés modèle conceptuel; continental terminal; aquifère; GPS différentiel; nappe d'Abidjan

Conceptual model of Abidjan Continental Terminal aquifer

Abstract The aim of this study is to create an actual conceptual model of the Abidjan Continental Terminal aquifer. Topographic, water table and some river surface data using differential GPS levelling methods were collected. Both an East-West and a North-South conceptual model were implemented to show that the Continental Terminal aquifer is composed of two main beds n3 and n4, respectively made up of 90 m thickness of coarse sands and of fine sands of 80 m of thickness. The n4 bed outcrops into the Banco basin and potentially exposes Abidjan's groundwater to pollution in this area. The groundwater recharge was estimated to be 324 mm year⁻¹ in 2006. Hydrodynamics parameters such as transmissivity and permeability were calculated and range from 2.77×10^{-2} to $3.37 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, and from 1.1×10^{-3} to $1.2 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$, respectively.

Keywords conceptual model; continental terminal; aquifer; differential GPS; Abidjan groundwater

INTRODUCTION

Abidjan, la capitale économique et la plus grande ville de Côte d'Ivoire est située au Sud-Est du pays. Cette agglomération est uniquement alimentée en eau par les eaux souterraines du Continental Terminal également appelées "nappe d'Abidjan" qui représentent 68% de la production d'eau potable nationale (DHH, 2001). Cette ressource capitale est actuellement menacée par la surexploitation et des pollutions multiformes (Jourda *et al.*, 2006; Dongo *et al.*, 2008). Notamment, le déversement de 400 000 litres de déchets toxiques à divers endroits dans le district d'Abidjan en août 2006 a fait 30 000 intoxiqués et une dizaine de mort (Kouamé *et al.*, 2009). Face à cette situation, une meilleure connaissance de la nappe d'Abidjan s'impose. La présente étude a donc pour objectif de reniveler la topographie de la nappe d'Abidjan afin de mettre en place un modèle conceptuel actualisé de l'aquifère du Continental Terminal d'Abidjan et de déterminer quelques paramètres hydrodynamiques. Ce modèle conceptuel servira de base aux modèles hydrodynamiques développés pour les études des risques de contamination de la nappe d'Abidjan.

MATERIEL ET METHODES

La caractérisation de l'aquifère du Continental Terminal a nécessité l'utilisation des interprétations géologiques et hydrogéologiques existantes (Tastet, 1979; Aghui & Biémi, 1984; Jourda, 1987) et l'analyse de 185 fiches géotechniques de forages. Les données piézométriques de l'année 2006 ont servi à la détermination du niveau piézométrique et au calcul de la recharge de la nappe d'Abidjan. Le nivellement au GPS différentiel s'est effectué grâce à deux récepteurs bi-fréquence GPS Ashtech, associés à deux antennes Ashtech. Cinq essais de pompage réalisés en 1999 ont permis d'évaluer la transmissivité et la perméabilité.

Nivellement topographique

Une campagne de nivellement au GPS différentiel s'est effectuée en avril 2008 portant sur 59 points d'acquisitions. La station de référence (base) qui effectue des mesures en continu a été installée à l'Université NANGUI ABROGOUA (UNA). L'acquisition de données par le GPS mobile utilisé en mode statique rapide, sur les piézomètres, les cours d'eaux et les points topographiques s'est effectuée dans un rayon de 30 km environ autour de la base. Le réseau de ligne de bases formé par les stations "fixes" et "mobiles" a été traité au laboratoire avec une précision de 5 cm grâce au logiciel Trimble Geomatics Office (TGO). L'essentiel de la méthodologie de traitement se résume aux calculs des lignes de base. L'indicateur de précision lors du traitement des lignes de bases est la valeur de l'écart moyen quadratique (RMS) définie par l'équation (1):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R^2} \quad (1)$$

n , le nombre de points de levé;

$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_c - X_m)_i$ représente la différence entre la position calculée (X_c) et la position mesurée (X_m) sur le terrain.

Mise en place du modèle conceptuel de l'aquifère du Continental Terminal d'Abidjan

La mise en place du modèle conceptuel de la nappe d'Abidjan a nécessité l'établissement des profils Nord-Sud et Est-Ouest, ensuite la réalisation des cartes lithologiques et enfin la conception d'un modèle de couches du Continental Terminal.

Dans le souci d'établir des coupes Nord-Sud (NS) et Est-Ouest (EO), lors de la campagne GPS, des mesures ont été faites tous les 500 m environ à longitude ou à latitude constante selon la direction NS ou EO. Ainsi, à l'aide des coordonnées (XYZ) des points acquis, une carte d'isovaleurs est établie à l'aide des logiciels Mapinfo et Vertical Mapper. Une section selon la direction souhaitée est alors effectuée sur la carte obtenue. Les données de la distance de coupe en fonction de l'altitude absolue recueillies permettent enfin de faire le profil. La coupe NS a été réalisée à la longitude de 4°00 O et celle de la direction EO a été faite à la latitude 5°25 N.

Pour la réalisation des cartes lithologiques du Continental Terminal, 185 coupes de forages ont été sélectionnées et analysées. Les formations géologiques rencontrées dans l'ensemble des forages ont été identifiées et respectivement encodées de 1 à 6 (sable grossier = 1, sable moyen = 2, sable fin = 3, sable argileux = 4, argile sableuse = 5 et argile = 6). Ensuite chaque forage a été divisé en deux zones à savoir la zone saturée et la zone non saturée et une formation géologique dominante est attribuée à chaque zone en fonction de l'épaisseur de la formation examinée et du nombre de fois qu'apparaît cette formation. Enfin la répartition spatiale des formations géologiques rencontrées dans chaque zone est réalisée à partir des coordonnées de chaque forage et des codes des formations dominantes.

Concernant la conception du modèle de couches du Continental Terminal; une fois que la formation dominante de la zone saturée et de la zone non saturée est déterminée, le modèle de couche se construit en assemblant dans un même schéma le profil topographique, le niveau piézométrique, le profil du toit des crépines et la profondeur du toit du socle (Kouassi *et al.*, 2010).

Estimation de la recharge

Une estimation précise de la recharge des nappes est extrêmement importante pour une gestion appropriée des aquifères. La recharge réelle annuelle de 2006 de la nappe d'Abidjan est estimée par la méthode de Water Table Fluctuation (WTF) à partir des données piézométriques conformément à l'équation (2) (Healy & Cook, 2002).

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (2)$$

Où R est la recharge réelle, S_y est la porosité efficace dans le cas d'une nappe libre, h est la hauteur piézométrique et t est le temps.

Détermination de la transmissivité et du coefficient de perméabilité

La transmissivité et la perméabilité sont des paramètres fondamentaux dans la caractérisation d'un aquifère. Ainsi, cinq essais de pompage de longue durée réalisés d'août 1999 à février 2000, ont permis d'évaluer des transmissivités locales de la nappe du Continental Terminal. Les résultats de ces essais sont interprétés à l'aide de la méthode de remontée de Theis (Theis, 1935; Mabillot, 1980; Lasm, 2000). Le coefficient de perméabilité K est déduit de la transmissivité par l'expression (3) suivante:

$$T = K \cdot e \Rightarrow K = \frac{T}{e} \quad (3)$$

Avec T = transmissivité; K = coefficient de perméabilité et e = épaisseur de l'aquifère.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats de la campagne GPS

Les données topographiques acquises concernent 59 points (Fig. 1). Sur les 24 piézomètres d'Abidjan, les 19 anciennement nivelés ont été renivelés. La variation ΔH entre les anciennes altitudes et les nouvelles est en moyenne de 4 m. Une telle différence dans la détermination de la cote topographique d'un même piézomètre pourrait être source d'erreur dans l'étude de la dynamique de la nappe. Les 5 autres piézomètres, n'ayant jamais été nivelés l'ont été pour la première fois et il s'agit des piézomètres PZ09, PZ11, PZ12, PZ17 et PZ20 avec les altitudes respectives de 96.04 m, 53.41 m, 53.44 m, 77.81 m et 37.25 m. Le niveau de la lagune Ebrié admis à zéro mètre sur les cartes au 1/5000^e (Kouamé, 2007a) a été estimé à 3.09 m à Godoumé, à 3.14 m à Attécoubé Impôts, à 2.92 m au Plateau Novotel et à 2.91 m à la Riviera Sol Béni.

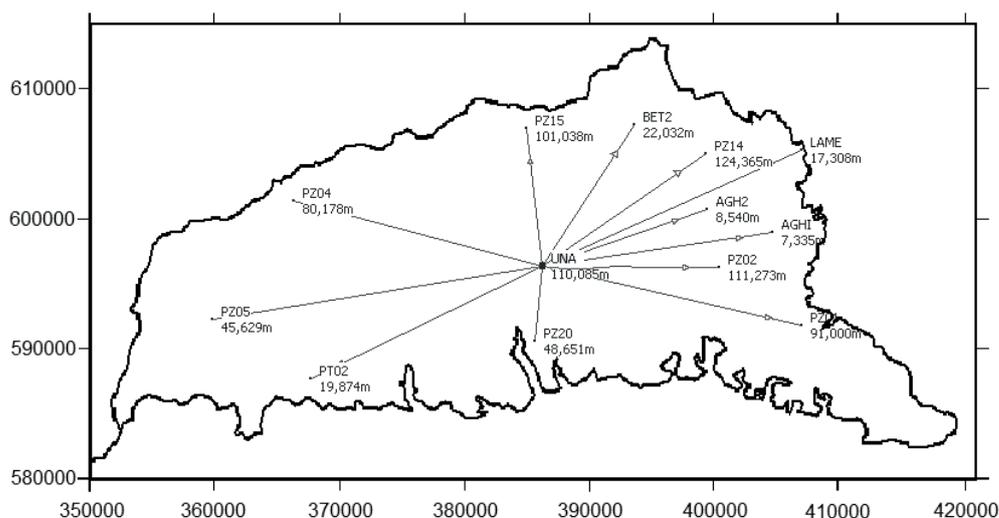


Fig. 1 Représentation spatiale de la base et de quelques points de mesure au GPS différentiel.

Pour la totalité des mesures, la précision (RMS) varie entre 0.008 et 0.059. Seule l'acquisition de "LAME" a une valeur de RMS (0.059) supérieure à celle attendue qui est de 0.05 soit 5 cm (Fig. 1). Les deux récepteurs sont donc situés sur des sites dégagés, à priori exempts de multitrajets. La précision 5.9 cm du point "LAME" pourrait s'expliquer par les difficiles

conditions d'acquisition de ce point réalisé sous un pont avec une dense couverture végétale. Outre ce détail de "LAME", la précision de nos résultats est dans la même gamme de précision que celle de Malet *et al.* (2000) (quelques millimètres) qui ont utilisé les mêmes récepteurs bi-fréquence Ashtech. L'utilisation du GPS pour ce type d'application est alors limitée par des obstacles tels que le relief, la végétation, qui peuvent constituer des masques limitant la visibilité du ciel et créer des multitrajets (Malet *et al.*, 2000).

Modèles conceptuels Est-Ouest et Nord-Sud de l'aquifère du Continental Terminal d'Abidjan

La coupe EO du Continental Terminal part d'Aghien à Attinguié. Elle est longue de 45 km pour une élévation topographique maximale de 75 m (Fig. 2). Le modèle Est-Ouest permet de retenir trois formations majeures de dépôts meubles reposant sur le substratum rocheux sous-jacent: les argiles sableuses, les sables fins à moyens et les sables grossiers. Dans ce modèle, la formation argilo-sableuse superficielle est d'épaisseur variable avec une moyenne de 20 m.

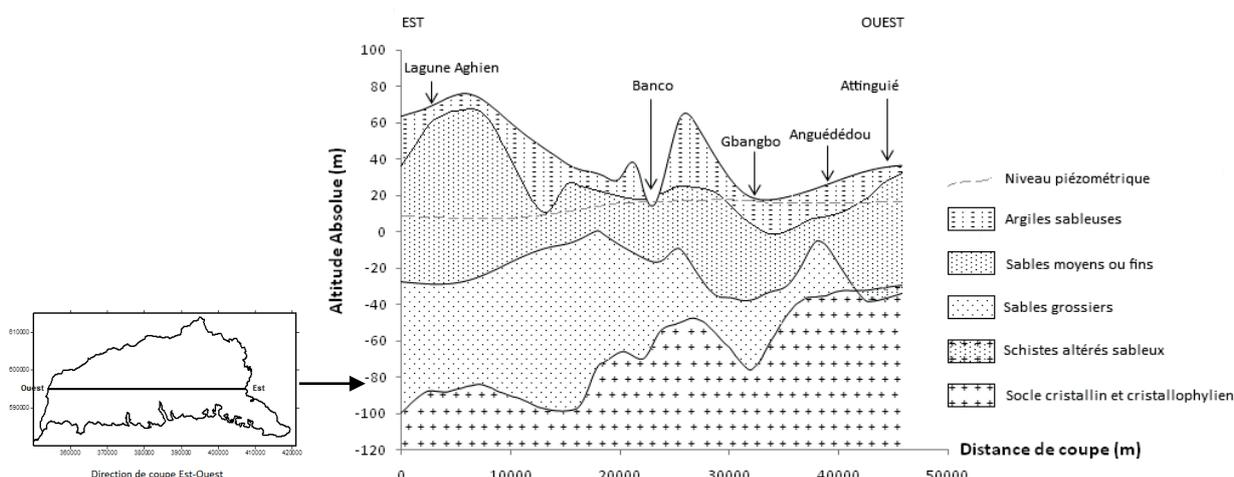


Fig. 2 Modèle conceptuel Est-Ouest du Continental Terminal.

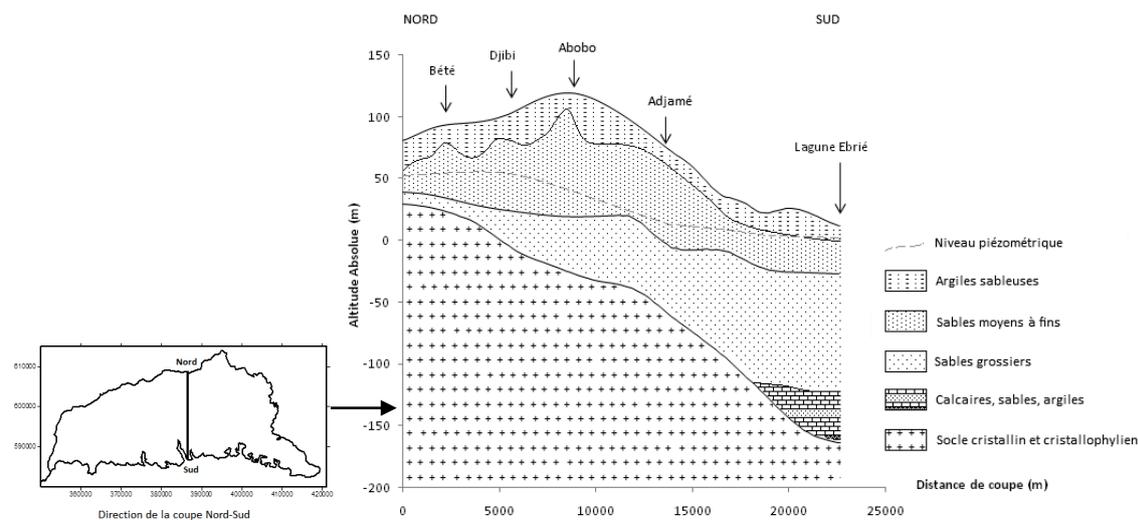


Fig. 3 Modèle conceptuel Nord-Sud du Continental Terminal.

L'aquifère du Continental Terminal est constitué de sables grossiers (n3) et de sables fins à moyen (n4), avec une épaisseur maximum de 160 m et minimum de 30 m. L'horizon n4 a une épaisseur comprise entre 15 m et 80 m et celle de l'horizon n3 varie entre 15 m et 90 m. Le

Continental Terminal est plus épais à l'Est qu'à l'Ouest et affleure dans la vallée du Banco. Le niveau piézométrique est quasiment stable et a une cote moyenne de 15 m. Il est au-dessus de la surface topographique dans la vallée du Banco et frôle également la surface topographique au niveau du Gbangbo. A l'extrême Ouest on observe une épaisseur de roche en altération à environ -40 m d'altitude. Les roches du substratum rocheux ne sont pas différenciées.

Le modèle Nord-Sud long de 23 km s'est effectué entre Anyama et le rivage nord de la lagune Ebrié au plateau (Fig. 3). La surface topographique présente une seule zone d'élévation d'altitude maximum de 120 m observée au niveau d'Abobo et suivie d'une descente des hauteurs jusqu'aux berges de la lagune Ebrié. Certains détails ayant échappés au plan de coupe EO sont révélés par le modèle conceptuel NS (Fig. 3).

La coupe NS confirme les trois unités stratigraphiques du Continental Terminal précédemment observées dans le modèle EO et révèle également l'existence de l'aquifère du crétacé supérieur. L'épaisseur de l'aquifère du Continental Terminal dans la coupe NS varie entre 30 et 120 m et celle du modèle du Maëstrichtien est de 55 m. La principale direction d'écoulement des eaux est Nord-Sud. Le niveau piézométrique révèle que les charges les plus élevées de la nappe du Continental Terminal avoisinent les 50 m et décroissent par la suite jusqu'à 3 m environ.

L'analyse géomorphologique du bassin sédimentaire révèle que le Continental Terminal est en réalité un seul aquifère mais bicouche. La couche n4 sous-jacente à la terre végétale, est constituée d'un conglomérat de sables moyens et de sables fins. La couche n3 est formée de sables grossiers. Les natures lithologiques de ces deux couches du modèle conceptuel sont conformes à celles proposées par Sogreah (1996) au niveau de la nappe d'Abidjan. Mais la disposition de ces couches est dans l'ordre inverse de celle de Sogreah. La réalisation de nouvelles coupes géologiques ainsi que la compilation des données permettront probablement de différencier ces niveaux aquifères homogènes. La couche n3 sus-jacente au socle dans les modèles conceptuels et le niveau n3 du log-hydrogéologique de Aghui et Biémi (1984) sont identiques, car ils sont tous deux constitués de sables grossiers et ont tous les deux une épaisseur maximale de 90 m. La couche n4 dans les modèles conceptuels est constituée de sable moyen à fin et possède une épaisseur maximale de 80 m. Son équivalent, l'horizon n4 dans le log hydrogéologique d'Aghui et Biémi (1984) est formé de sable argileux et a 70 m d'épaisseur maximale. L'aquifère du Continental Terminal de même que le niveau piézométrique affleurent dans le lit du Banco dans le modèle conceptuel Est-Ouest (Fig.2). Ce résultat justifie la source d'eau pérenne repérée à l'endroit de l'école forestière du Banco et corrobore le profil des sources en escalier établi par Loroux (1978) le long de la rivière Banco. Le sous bassin versant du Banco, en l'absence de la couche argilo sableuse, est alors identifié comme une potentielle zone vulnérable à la pollution de la nappe du Continental Terminal. En effet, selon Bolduc *et al.* (2006), la composition, la texture et l'inégale épaisseur des formations, conditionnent souvent le potentiel de contamination variable de l'eau souterraine. La présence du niveau piézométrique dans le lit du Gbangbo confirme que le Gbangbo tout comme le Banco drainent la nappe. Le bassin sédimentaire dans le modèle conceptuel NS s'approfondit du Nord au Sud tout comme l'avait montré Sogreah en 1996.

Recharge de la nappe du Continental Terminal

La recharge moyenne au cours de l'année 2006 de la nappe d'Abidjan est estimée à 324 mm an⁻¹. Elle est supérieure aux valeurs de 247.4 et 266 mm.an⁻¹ trouvées respectivement par Kouamé (2007b) et Ahoussi (2008) avec la méthode de Thornwaite sur la même nappe d'Abidjan pour la période 1963–2000. Toutefois, cette recharge s'inscrit dans l'intervalle des recharges de 33 à 453 mm.an⁻¹ défini par Soro *et al.* (2006) aux piézomètres d'Abidjan par la méthode de Fourier sur la période 1992–1993. La méthode de Thornwaite est une méthode empirique qui utilise une durée d'ensoleillement de 12 heures sur 24 et n'est applicable que sur les mois de 30 jours. Ces résultats historiques, doivent donc être pris avec beaucoup de réserves. La recharge estimée par WTF représente 19.24% de la pluie totale de 2006 alors qu'en général la recharge n'excède pas les 30% de la pluie totale. Ce résultat concorde avec celui de Toto *et al.* (2009) qui ont estimé que la recharge dans la zone côtière de la Mamora occidentale au Maroc varie de 19 à 26% de la pluie efficace.

Transmissivités et perméabilités du Continental Terminal

Les valeurs de transmissivités trouvées diffèrent d'un point à un autre. La transmissivité la plus élevée est de $3.37 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ et la plus faible de $2.77 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Ces valeurs de transmissivités ont été respectivement déterminées aux forages Zone Nord 12 et Zone Nord 14. Pour ce qui est des perméabilités en ces mêmes points, elles varient dans la gamme de 10^{-2} à 10^{-3} m s^{-1} . La valeur la plus élevée est de $1.2 \times 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$ au forage Zone Nord 12 et la plus faible de $1.1 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ au forage Zone Nord 14. Les valeurs de transmissivités et de perméabilités locales du Continental Terminal déterminées concernent l'horizon n3 en s'appuyant sur la position des forages et la profondeur captée. Selon Mabillot (1980) un aquifère est très intéressant à exploiter si sa transmissivité est au moins égale à $150 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1} \text{ m}^{-1}$ soit $1.74 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. L'exploitation est encore valable pour des valeurs comprises entre 15 et $150 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1} \text{ m}^{-1}$, mais au-dessous de $15 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1} \text{ m}^{-1}$, le forage ne peut guère servir qu'alimenter une toute petite ferme ou pour un usage domestique. L'ordre de grandeur des transmissivités calculées oscillant entre 10^{-2} et 10^{-1} , montre que n3 est un excellent aquifère, comparativement à la référence de 10^{-3} de Mabillot. Cela est vérifié par les débits moyens des forages des neuf champs captant SODECI qui sont de $6000 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$, à l'exception de ceux d'Anonkoua Kouté dont les débits sont de $3600 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$ (Kouassi, 2005).

CONCLUSION

Le renouvellement topographique de la nappe d'Abidjan par le GPS différentiel a permis de corriger avec une précision de 5 cm les élévations de 19 piézomètres et le niveau de la lagune Ebrié déterminé en moyenne à 3 m d'altitude. Cinq autres piézomètres ont été nivelés pour la première fois. L'utilisation conjointe des données de la campagne GPS et des données géologiques et hydrogéologiques disponibles, a conduit à la mise en place de deux modèles conceptuels (Est-Ouest et Nord-Sud). Les modèles conceptuels Est-Ouest et Nord-Sud révèlent deux couches principales, n3 et n4 respectivement constituées de sables grossiers et de sables fins à moyen. Les niveaux aquifères n3 et n4 ont des épaisseurs maximales respectives de 90 m et de 80 m. La vallée du Banco a été identifiée comme une zone potentiellement vulnérable à la pollution de la nappe d'Abidjan. La recharge du Continental Terminal est estimée à 324 mm.an^{-1} en 2006. L'analyse des essais de pompage a révélé que les transmissivités varient de 2.77×10^{-2} à $3.37 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ et que les perméabilités sont comprises entre 1.1×10^{-3} et $1.2 \times 10^{-2} \text{ ms}^{-1}$. Ces résultats montrent que Continental Terminal est un aquifère excellent, hétérogène et vulnérable par endroit qu'il convient de protéger.

REFERENCES

- Aghui, N. & Biemi J. (1984) Géologie et hydrogéologie des nappes de la région d'Abidjan. Risques de contamination. *Ann. Un. Nat. De Côte d'Ivoire*, série C (Sciences), tome 20, pp 313–347.
- Ahoussi, K. E. (2008) Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse unique de l'université de Cocody, Côte d'Ivoire, 283p.
- Bolduc, S., Larocque, M. & Prichonn, G. (2006) Vulnérabilité de l'eau souterraine à la contamination par les nitrates sur le bassinversant de la rivière Noire (Montérégie, Québec). *Journal of Water Science* 19(2), 87–99.
- Direction de l'hydraulique humaine (DHH) (2001) Hydraulique Humaine en Côte d'Ivoire. Ministère des Infrastructures Economiques, Direction de l'Hydraulique Humaine, Abidjan, 66 p.
- Dongo, K., Kouamé, K. F. & Koné, B. (2008) Analyse de la situation de l'environnement sanitaire des quartiers défavorisés dans le tissu urbain de Yopougon à Abidjan, Côte d'Ivoire. *Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 8 Numéro 3 décembre 2008, mis en ligne le 21 décembre 2008. Consulté le 23 novembre 2009.
- Healy, R. & Cook, G. (2002) Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, 10, 91–109.
- Jourda, J. P., Kouamé, K. J., Saley, M. B., Kouadio, B. H. & Oga, Y. S (2006) Contamination of the Abidjan aquifer by sewage: An assessment of extent and strategies for protection. In: *Groundwater Pollution in Africa* (ed. by X. Yongxin & U. Brent), 291–300.
- Jourda, J. P. (1987) Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région du Grand Abidjan (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université scientifique, technique et médicale de Grenoble, 319 p.
- Kouamé, K. I. (2007a) Pollution physico-chimique des eaux dans la zone de la décharge d'Akouédo et analyse du risque de contamination de la nappe d'Abidjan par un modèle de simulation des écoulements et du transport des polluants. Thèse unique de l'université d'abobo-adjamé, Côte d'Ivoire, 205p.
- Kouamé, K. J. (2007b) 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 l'université de Cocody, Côte d'Ivoire, 229p.

- Kouamé K. J., Jourda J. P., Leblanc Y., Deh S. K., Anani A.T. & Biémi J. (2009) Implication of Hydrogeologic Modeling in the Estimate of Pollutants Transfer Time Towards Groundwater of Abidjan District: Case of Toxic Waste. *European Journal of Scientific Research* 32(1), 6–24.
- Kouassi, K. A. (2005) Influence de la paramétrisation sur le calage des modèles hydrogéologiques: cas d'une partie du secteur nord de la nappe d'Abidjan, DEA, Université d'Abobo-Adjamé, 80p.
- Kouassi, K. A., Kouassi, F. W., Goula, B. T. A., Kouamé, K. I., Dibi B. & Savané I. (2010) Conceptual model of Ivorian sedimentary coastal basin: case of Abidjan Continental Terminal aquifer. *European Journal of Scientific Research* 44(3), 400–419.
- Lasm, T. (2000) Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle: Analyses statistique et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de Côte d'Ivoire (domaine Archéen). Thèse de doctorat unique, Université de Poitiers, 274p.
- Loroux, B. F. E. (1978) Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin sédimentaire côtier de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de Bordeaux I, France, 93p.
- Mabillet, A. (1980) Le forage d'Eau; Guide pratique. Edit'Offset à Saint Etienne (Loire). D.L., 3-1980 – Imprimeur n°943 (FRANCE), 237p.
- Malet, J-P., Hartig S, Calais E., Maquaire O. (2000) Apport du GPS au suivi en continu des mouvements de terrain. Application au glissement-coulée de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence, France). C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes 331, p.175–182.
- SOGREAH: Société Grenobloise d'Etudes et d'Aménagements Hydrauliques (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 et 2, République de Côte d'Ivoire, Ministère des infrastructures Economiques, Directionet Contrôle des Grands Travaux (DGCTX), 22p.
- Soro, N., Lasm, T., Kouadio, B., Soro G. & Ahoussi K. (2006) Variabilité du régime pluviométrique du Sud de la Côte d'Ivoire et son impact sur l'alimentation de la nappe d'Abidjan. *Sud Sciences et Technologies* 14, 30–40.
- Tastet, J. P. (1979) Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin). Thèse de Doctorat d'Etat ès sciences, Université de Bordeaux I, 181 p.
- Theis, C. V. (1935) The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Transactions, American Geophysical Union* 16, 519–524.
- Toto, E. A., Zouhri, L. & Jgounni, A. (2009) Modélisation directe et inverse de l'écoulement souterrain dans les milieux poreux. *Hydrological Sciences Journal* 54(2), 327–337.