

Estimation de la recharge d'une nappe côtière en zone tropicale humide: Cas de la nappe du Continental Terminal d'Abidjan (Côte d'Ivoire)

[Assessment of coastal groundwater recharge in a humid tropical zone by the method of Thiessen: Case of the Terminal Continental of Abidjan (Côte d'Ivoire)]

YAO Affoué Berthe, KOUAME Kouassi Innocent, KOUASSI Kouamé Auguste, KOFFI Kouadio, GOULA Bi Tié Albert, and SAVANE Issiaka

Laboratoire Géosciences et Environnement,
Université Nangui Abrogoua,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work aims to test the polygons' method of Thiessen, initially used to evaluate the average rainfall for assessing a groundwater recharge. The study concerns the groundwater of Terminal Continental, the main source of water alimentation of Abidjan population. The database is constituted by rainfall (three stations) and piezometric data (ten piezometers). This method has been tested on both cases: in surface for calculating the total recharge and in saturated zone for assessing the true recharge. The results showed that the ground water of Abidjan total recharge is estimated to 252 mm.year⁻¹; the one estimated in saturated zone is equivalent to 158 mm.year⁻¹ in 2006, that is to say 12 pc of the total infiltration. The taking account of "land use" factor in the approach underlined the fact that the quick ongoing urbanization of Abidjan city is reducing the infiltration zones.

KEYWORDS: Piezometric fluctuations, hydrological balance, polygon of Thiessen, Continental Terminal, Côte d'Ivoire.

RESUME: Ce travail vise à tester la méthode des polygones de Thiessen, initialement utilisée pour estimer la pluie moyenne sur un bassin versant dans l'estimation de la recharge d'une nappe d'eau souterraine. L'étude est menée sur la nappe du Continental Terminal, principale source d'approvisionnement en eau potable de la ville d'Abidjan. La base de données est constituée de données pluviométriques (trois stations pluviométriques) et piézométriques (dix piézomètres). Cette méthode a été testée à deux niveaux : en surface pour calculer la recharge potentielle à partir du bilan hydrologique puis dans la zone saturée pour estimer la recharge réelle à partir des fluctuations piézométriques de nappe. Les résultats obtenus montrent que la recharge potentielle de la nappe d'Abidjan est de 252 mm an⁻¹; celle estimée dans la zone saturée vaut 158 mm an⁻¹ en 2006. Ces résultats montrent qu'une bonne partie de l'eau destinée à alimentation des aquifères ne parvient pas à la nappe. L'introduction d'un facteur "taux d'occupation du sol" dans l'approche d'estimation de la recharge proposée dans cette étude, met en évidence le fait que l'urbanisation galopante de la ville d'Abidjan conduit à réduire les zones d'infiltrations des eaux de pluies vers la nappe d'Abidjan.

MOTS-CLEFS: Fluctuations piézométriques, bilan hydrologique, polygone de Thiessen, Continental Terminal, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les eaux souterraines constituent une ressource vitale lorsqu'il s'agit de faire face aux besoins en eau douce des collectivités. Abidjan, la capitale économique de la Côte d'Ivoire est uniquement alimentée par les eaux souterraines du Continental Terminal qui représentent 68% de la production d'eau potable nationale [1]. Cette ressource capitale est actuellement menacée par la surexploitation et la pollution [2], [3]. Actuellement, environ 388 000 m³/j des eaux de la nappe d'Abidjan sont exploités pour satisfaire les besoins en eau potable des populations [4]. Ces nombreuses sollicitations de l'eau et les impacts de la péjoration climatique ont pour conséquence de diminuer la réserve d'eau disponible [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12]. Face aux risques de pénurie d'eau, une estimation précise de la recharge de cette nappe est extrêmement importante pour une gestion adéquate. Dans cette optique, plusieurs études ont été réalisées sur la nappe d'Abidjan [5], [13], [14], [15], [16], en vue de déterminer son potentiel d'exploitation et d'estimer sa recharge. Parmi ces études, les travaux des références [13] et [14], portant sur l'évaluation quantitative ont présenté deux méthodes d'estimation de la recharge de la nappe d'Abidjan, à savoir le bilan hydrologique de référence [17], et la méthode de Fourier. Ces études ont montré que la méthode de Fourier qui permet d'estimer la recharge effective donnait de meilleurs résultats. Cependant, les exigences qu'imposent l'utilisation de cette méthode, le fait qu'elle ne prenne pas en compte le taux d'occupation du sol, et que la nappe soit très influencée par les champs de captage, ne facilitent plus son utilisation. En effet, le phénomène d'infiltration des eaux vers les nappes dépend de la pente des terrains, de la zone non saturée, de la nature et de la couverture du sol [18]. Ainsi, l'augmentation des sols nus et des zones urbanisées contribue à une baisse des infiltrations au détriment du ruissellement [7]. La présente étude a donc pour objectif d'estimer la recharge de la nappe d'Abidjan en tenant compte du facteur "taux d'occupation du sol" et ceci sur l'aire d'influence de chaque piézomètre. L'approche consiste à l'estimation de la recharge potentielle (infiltration totale) et de la recharge effective ou réelle selon le type de données disponibles.

1.1 LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La nappe du Continental Terminal, communément appelée nappe d'Abidjan est située au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Elle est comprise entre les Latitudes 5°28' et 5°58' N et les Longitudes 3°75' et 4°35' W et s'étend sur une superficie d'environ 1215 Km². Elle est drainée par de nombreux cours d'eau (fig. 1). Ses limites physiques sont constituées par le contact socle cristallin-bassin sédimentaire au Nord dans l'agglomération d'Anyama, la lagune Ebrié au Sud, la rivière Mé et la lagune Potou à l'Est et les cours d'eau de l'Agnéby et du Niéké à l'Ouest.

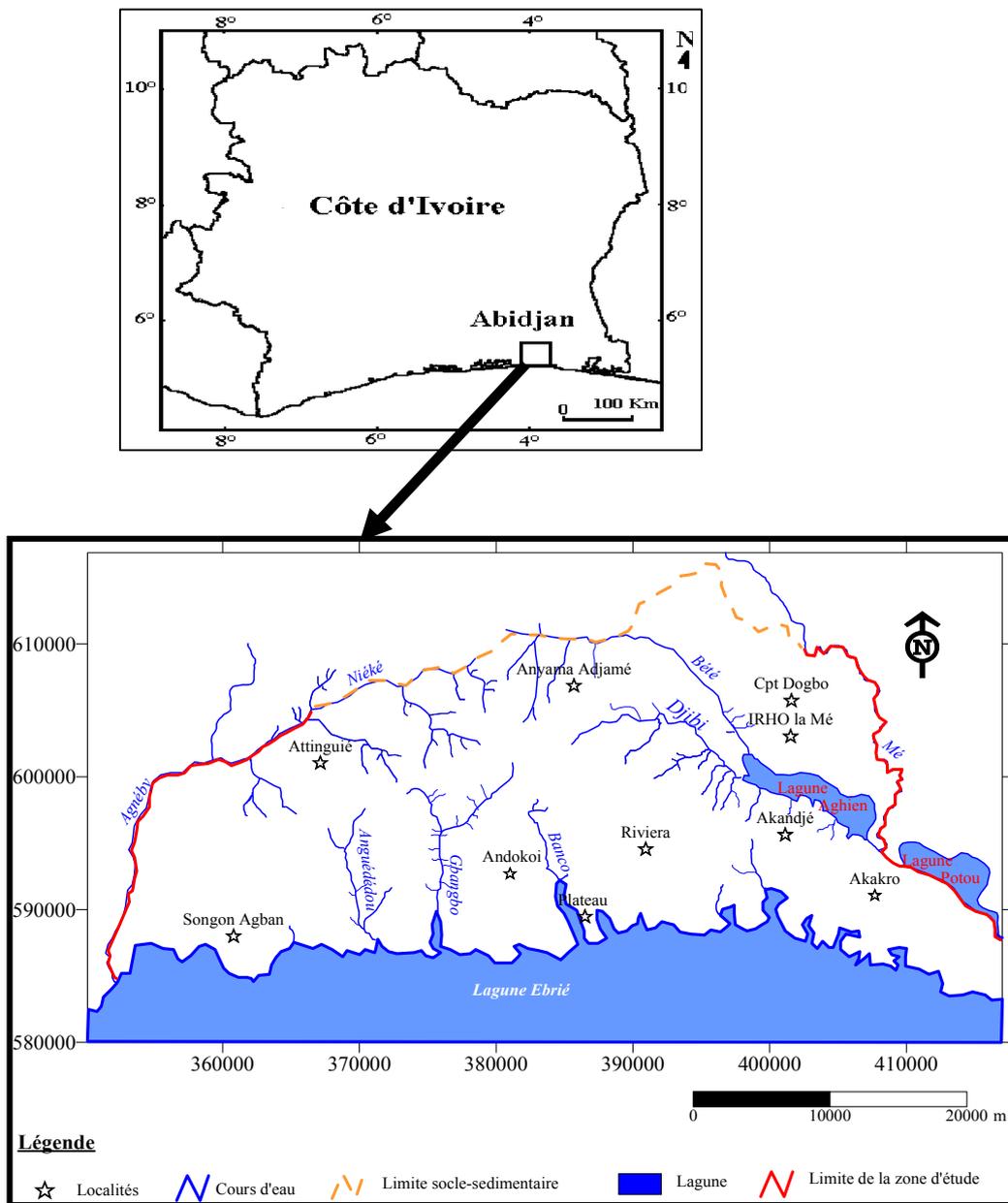


Fig. 1 : Localisation de la zone d'étude

La région est sous l'influence du climat équatorial de transition marqué par quatre saisons dans le cycle annuel ([19], [20]): une grande saison des pluies de mars à juin suivie d'une petite saison sèche entre juillet et août ; une petite saison pluvieuse intervient dans le mois de septembre pour prendre fin au mois de novembre et une grande saison sèche de novembre à février (fig. 2). La pluie moyenne annuelle enregistrée dans le district d'Abidjan varie de 1477 mm à la station d'Irho Lamé à 1566 mm à la station d'Adiopodoumé sur la période 1986-2006.

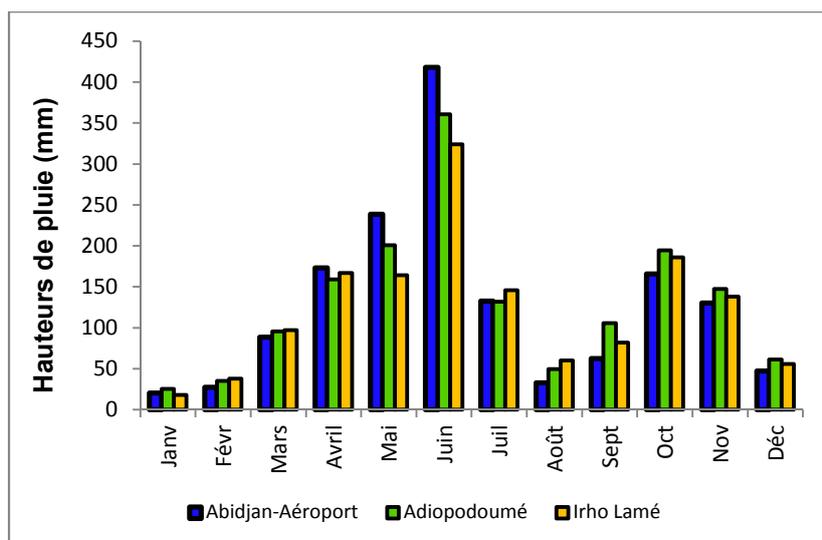


Fig. 2 : Variation de la pluviométrie moyenne mensuelle du District d'Abidjan sur la période 1986-2006

L'aquifère du Continental Terminal correspond à des formations d'âge Mio-pliocène caractérisées par une stratification lenticulaire de sables grossiers, d'argiles bariolées, de grès ferrugineux et de minerais de fer [20]. En surface, le paysage présente une succession de plateaux et de vallées, avec un dénivelé maximal de 120 m. Cet aquifère, selon les études antérieures présente les paramètres hydrauliques suivants ([22], [21], [23]) :

- la transmissivité est comprise entre 0,14 et 0,2 m²/s ;
- le coefficient d'emmagasinement est compris entre 0,05 et 0,2 ;
- le débit est variable suivant les ouvrages, de 7 à 338 m³/s ;
- la perméabilité, de l'ordre de 10⁻³ m/s dans les sables fins grossiers, peut diminuer localement jusqu'à 10⁻⁵ ou 10⁻⁶ m/s, suite à une variation de faciès ;
- le gradient hydraulique est de 0,17% et 0,19% respectivement le long du Banco et du Gbangbo, et s'accroît au Nord sur les hauts plateaux.

Dans l'aquifère à nappe libre, le coefficient d'emmagasinement est égal, en pratique, à la porosité efficace [24]. Les eaux du Continental Terminal se déversent directement dans la lagune ou par l'intermédiaire de plusieurs sources bordières [21].

L'occupation des sols est une information capitale pour l'hydrologie. En effet, la présence ou non de végétation va influencer le bilan hydrique de surface en déterminant les quantités d'eau qui seront interceptées et transpirées par la végétation. Elle influencera aussi la rugosité de la surface et donc le ruissellement [25]. La distribution présentée sur la carte d'occupation du sol (fig. 3) montre que la région est couverte en grande partie par des zones où les cultures sont dominantes. A l'image de la forte croissance démographique dans le district d'Abidjan, l'urbanisation de la ville d'Abidjan s'effectue d'une manière accélérée sans tenir compte de l'environnement.

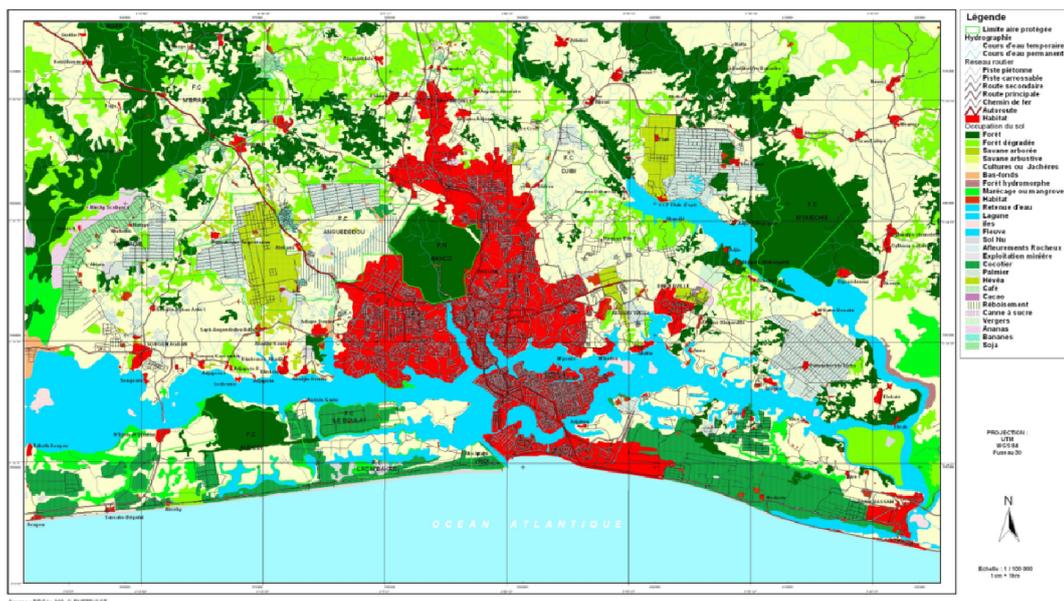


Fig. 3 : Carte de l'occupation du sol d'Abidjan et ses environs

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL

L'estimation de la recharge de la nappe d'Abidjan a nécessité l'utilisation des données climatiques et piézométriques. Les données climatiques sont composées de pluies et de températures mensuelles recueillies à la SODEXAM (Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire et Météorologique) et au CNRA (Centre National de Recherche Agronomique : station d'IRHO-Lamé et d'Adiopodoumé). Les mesures des niveaux d'eau effectuées sur dix piézomètres nous ont permis d'obtenir les données piézométriques sur une période de 12 mois (janvier à décembre 2006). Ces mesures ont été effectuées par une sonde piézométrique lumineuse. La cartographie des piézomètres a été rendue possible grâce aux relevés des coordonnées géographiques de ces piézomètres par un GPS (Global Positioning System).

2.2 MÉTHODES

○ Détermination de la recharge potentielle

La méthode de Thiessen est une méthode classique en hydrologie. Cette méthode, basée sur une segmentation de l'espace, consiste à déterminer, pour chaque station, sa zone d'influence et son coefficient dit « coefficient de Thiessen » qui représente la fraction de surface contrôlée par le poste pluviométrique [26]. Dans cette étude, la méthode de référence [27] est appliquée comme une méthode de détermination de la recharge potentielle ou l'infiltration totale. Le principe consiste à associer à chaque piézomètre une station pluviométrique fictive. Ainsi, on trace des polygones d'influence autour de chaque piézomètre (fig. 4). Manuellement, pour déterminer les aires d'influence des piézomètres on trace une série de segments de droites reliant les piézomètres adjacents puis on élève des perpendiculaires (médiatrices) déterminant des polygones [28]. Les côtés des polygones représentent les limites de l'aire d'influence de chaque piézomètre.

On calcule ensuite la superficie d'infiltration (S_i) au niveau de chaque polygone par l'équation suivante :

$$S_i = A_i \times \tau \quad (1)$$

où :

A_i : superficie du polygone considéré (m^2)

τ : Taux d'urbanisation (%)

L'infiltration sur l'aire d'influence d'un polygone considéré est déterminée selon le principe du bilan hydrologique dont l'équation simplifiée s'écrit comme suite :

$$P = ETR + R + I \quad (2)$$

avec :

P: précipitation moyenne en mm ;

ETR : évapotranspiration réelle en mm ; estimée selon l'organigramme du bilan hydrologique de référence [17] ([15], [10])

R : ruissellement en mm ;

I : Infiltration (mm).

La recharge potentielle sur chaque polygone de référence [27] est donnée par :

$$R_p = \frac{1}{A} \sum (P - (ETR + R)) \times S_i \quad (3)$$

R_p : Recharge potentielle en (m)

A : Superficie du polygone (m^2)

Le coefficient de ruissellement admis au niveau de la ville d'Abidjan est de 7% [29] et de 13% au niveau du bassin versant de la Mé [30].

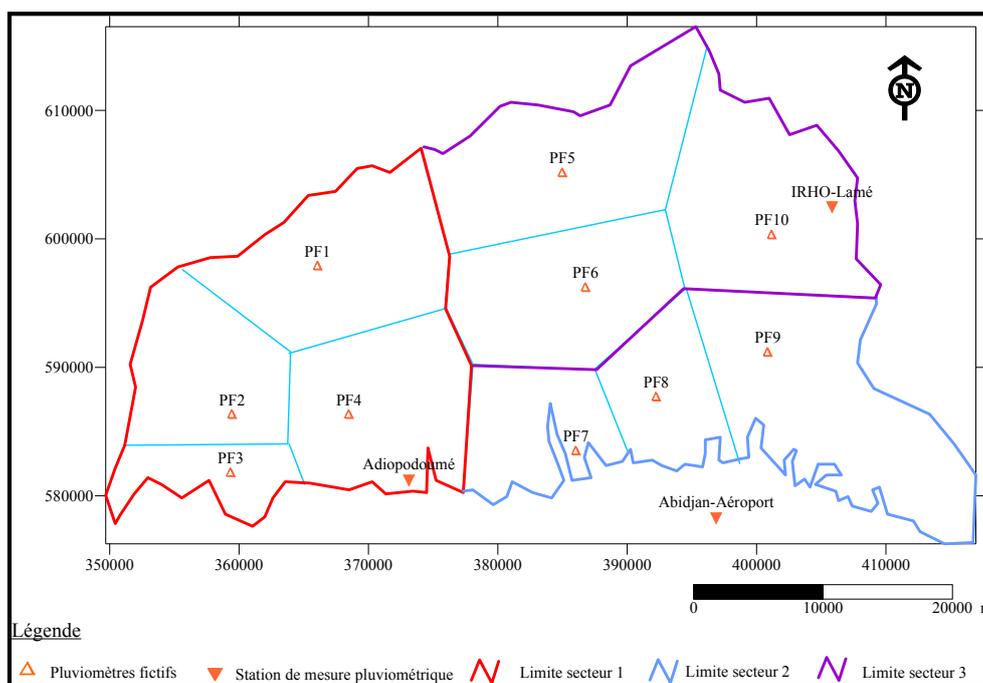


Fig. 4 : Carte de présentation des différents secteurs d'influence des stations pluviométriques

o Détermination de la recharge réelle

La détermination de la recharge réelle ou recharge efficace est basée sur les fluctuations piézométriques de la nappe et nécessite la connaissance du coefficient d'emmagasinement spécifique et des variations du niveau de la nappe au cours du temps. La variation du niveau de la nappe au cours du temps, représentée par la cote piézométrique est déduite de la cote topographique de chaque piézomètre. La cote piézométrique est calculée selon la formule de référence [24] dans le cas d'une nappe libre :

$$H = Z - (P - H_m) \quad (4)$$

avec :

H : Cote piézométrique exprimée en hauteur d'eau (m)

Z : Cote sol ou altitude du terrain naturel (m)

P : Niveau dynamique ou niveau statique (m)

H_m : Hauteur margelle (m)

Une fois les cotes piézométriques connues, la recharge est estimée par la méthode de Water Table Fluctuation (WTF) proposée par référence [31] :

$$R_e = S_y \times \frac{dh}{dt} = S_y \times \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (5)$$

Où R_e est la recharge réelle, S_y est la porosité efficace, h est la hauteur piézométrique et t est le temps.

3 RESULTATS

3.1 RECHARGE POTENTIELLE DE LA NAPPE D'ABIDJAN

L'estimation de la recharge potentielle de la nappe d'Abidjan par polygone de Thiessen montre qu'elle varie de 16 mm an⁻¹ (Plateau CIE) à 504 mm an⁻¹ (Akandjé) (tableau 1). L'analyse du tableau montre que cette recharge est d'autant plus faible que le polygone est fortement urbanisé. En effet, le fort taux d'urbanisation des polygones Plateau CIE (97%) et Zone Est F2 (65%) favorise un accroissement du ruissellement au détriment de l'infiltration. Ainsi, les valeurs les plus élevées sont observées au niveau des polygones Akandjé, Songon M'Braté, Songon Agban et Attinguié localisés pratiquement dans les zones rurales où le taux d'urbanisation est inférieur à 10%. Il est important de souligner que l'importance de la recharge estimée sur chaque polygone est relative à l'intensité des précipitations enregistrées aux différentes stations de mesures pluviométriques associées. La recharge potentielle annuelle de la nappe d'Abidjan est de 252 mm an⁻¹ en 2006.

Tableau 1 : Recharge potentielle de la nappe d'Abidjan en 2006

Piézomètres	Code piézomètre	Aire du polygone (km ²)	Taux d'urbanisation (%)	Superficie d'infiltration (km ²)	Recharge potentielle (mm×an ⁻¹)
Attinguié	PZ4	142,4	3,23	137,80	342
Songon M'Braté	PZ5	106,4	0,77	105,58	351
Songon Agban	PZ6	46,41	4,5	44,32	337
Godoumé	PT2	132,3	7,39	122,52	327
Z Est F2	PZ10	69,52	65,07	24,28	190
Akandjé	PZ2	188,8	7,22	175,17	504
Plateau CIE	PZ21	77,61	97,11	2,24	16
Zone Nord F7	PZ17	131,9	12,09	115,95	149
IRHO	PZ3	158,9	2,13	155,51	166
Anyama Adjamé	PZ15	157	15,92	132,01	142
Recharge moyenne de la nappe (mm×an ⁻¹)					252

3.2 RECHARGE REELLE DE LA NAPPE D'ABIDJAN

La recharge réelle varie d'un piézomètre à l'autre dans une gamme de valeur de 0 à 504 mm an⁻¹ (tableau 2). Ces résultats montrent que la recharge réelle de la nappe est nulle par endroit. Comme on peut le constater, pour les piézomètres de

Songon M'Braté, Z Est F2, IRHO et Anyama Adjaté, les fluctuations piézométriques de l'année 2006 sont négatives ; ce qui signifie qu'il n'y a pas eu de recharge à ces points. Les amplitudes piézométriques annuelles sont faibles dans l'ensemble et varient d'un ouvrage à un autre. Les valeurs les plus élevées sont observées dans les piézomètres Z Nord F7 (0,28 m) et Plateau CIE (0,19 m). D'où l'obtention des valeurs de recharge les plus importantes au niveau de ces piézomètres. La recharge efficace moyenne de la nappe d'Abidjan est de 158 mm an⁻¹ en 2006.

Tableau 2 : Recharge réelle de la nappe d'Abidjan en 2006

Piézomètres	Code piézomètre	Fluctuations piézométriques (m)	Porosité efficace	Recharge réelle (mm×an ⁻¹)
Attinguïé	PZ4	0,14	0,15	252
Songon M'Braté	PZ5	-0,52	0,15	0
Songon Agban	PZ6	0,14	0,15	252
Godoumé	PT2	0,04	0,15	72
Z Est F2	PZ10	-1,24	0,15	0
Akandjé	PZ2	0,09	0,15	162
Plateau CIE	PZ21	0,19	0,15	342
Zone Nord F7	PZ17	0,28	0,15	504
IRHO	PZ3	-0,03	0,15	0
Anyama Adjaté	PZ15	-0,40	0,15	0
Recharge moyenne de la nappe (mm×an ⁻¹)				158

3.3 CARTOGRAPHIE DE LA RECHARGE DE LA NAPPE D'ABIDJAN

La répartition spatiale de la recharge potentielle de la nappe d'Abidjan (fig. 5) montre que la recharge est effective sur toute la nappe avec cependant des zones préférentielles suivant le degré d'occupation du sol. En effet, l'analyse de la figure montre que les faibles valeurs de recharge se situent dans les secteurs à fort taux d'occupation du sol (Plateau, Yopougon, Abobo) ; Ce qui signifie que l'urbanisation de la ville contribue à réduire les zones d'infiltration des eaux.

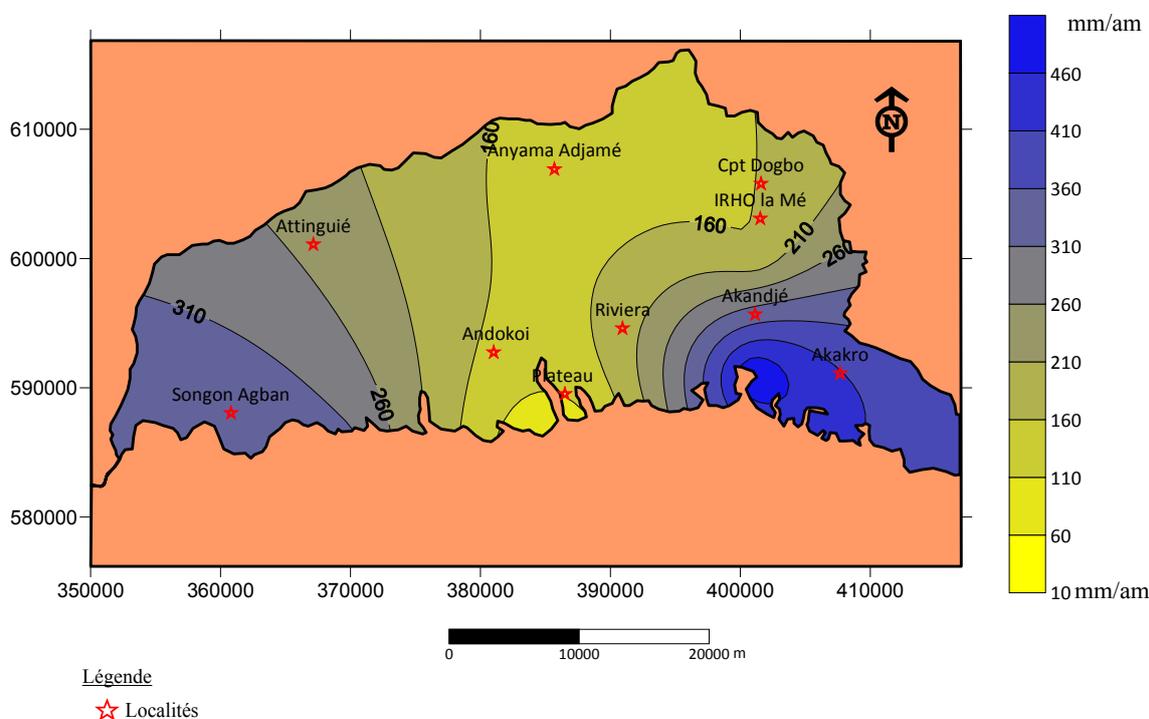


Fig.5 : Carte de la recharge potentielle de la nappe d'Abidjan en 2006

4 DISCUSSION

Les résultats obtenus dans cette étude montrent une variabilité spatiale de la recharge de la nappe d'Abidjan. L'application de la méthode de Thiessen en surface et dans la zone saturée fait ressortir l'impact de l'urbanisation de la ville d'Abidjan sur l'alimentation de la nappe. En effet, il existe une plus forte infiltration en zone couverte et une plus faible infiltration en zone dénudée (fort taux d'occupation) où le ruissellement est important. Ces résultats sont en accord avec ceux de référence [7] qui indiquaient que l'évolution de l'habitat contribue à réduire les zones d'infiltration des eaux. La recharge potentielle annuelle de la nappe d'Abidjan est estimée à 252 mm an^{-1} en 2006. Ce résultat se rapproche des valeurs trouvées par les références [7] et [10] avec la méthode de Thornthwaite. Ces valeurs sont respectivement de 247,4 et 266 mm an^{-1} pour la période 1963-2000. En somme, il faut noter que la prise en compte du taux d'urbanisation fait ressortir une hétérogénéité dans la distribution spatiale des valeurs de la recharge de la nappe d'Abidjan. Concernant la recharge réelle, les valeurs varient d'un piézomètre à l'autre avec des valeurs nulles par endroit. Ces résultats s'accordent avec ceux obtenus par référence [32]. En effet, l'estimation de la recharge par la méthode WTF est basée sur le principe qu'une élévation de niveau d'eau dans une nappe libre en condition naturelle est causée par la recharge. Or, les fluctuations piézométriques de la nappe sont fortement influencées par l'exploitation de la nappe pour les usages domestiques ([1], [7]). Il faut noter que la plupart des piézomètres sont situés dans des champs captant SODECI et subissent les effets du pompage de l'eau. C'est le cas des piézomètres Z Est F2 et Anyama Adjamé et Plateau CIE. Pourtant, la recharge du piézomètre Plateau CIE est importante. Cette situation serait liée au fait que les champs captant du Plateau ne sont plus exploités du fait de l'intrusion saline [16]. Quelque soit la méthode, l'infiltration maximale de la nappe d'Abidjan est de 504 mm.an^{-1} .

5 CONCLUSION

Cette étude a permis d'estimer deux types de recharge de la nappe d'Abidjan. La recharge potentielle qui est la quantité totale d'eau destinée à l'alimentation des réserves du sol et à alimentation des aquifères et la recharge réelle qui est la quantité d'eau qui atteint effectivement la nappe. Le découpage de la surface de la nappe en polygone de Thiessen a permis d'estimer la recharge de façon locale. La recharge potentielle de la nappe en 2006 varie de 16 à 504 mm an^{-1} d'un polygone à l'autre; ce qui conduit à une recharge moyenne potentielle de 252 mm an^{-1} . Cette recharge est nettement plus faible dans les zones dénudées et fortement urbanisées où le ruissellement est plus important. Quant à la recharge réelle, elle varie de 0 à 504 mm an^{-1} d'un piézomètre à l'autre ; la recharge moyenne annuelle étant de 158 mm an^{-1} . Il faut souligner que la méthode d'estimation de la recharge réelle est basée sur les données piézométriques de la nappe. Les valeurs nulles obtenues à certains endroits pourraient être dues à l'exploitation intensive de la nappe à partir des nombreux forages implantés dans la région. Une densification du nombre de piézomètres contribuerait à mieux restituer la part d'eau infiltrée.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement les responsables de la Direction des Normes, Réglementation et de la qualité (DNRQ) (ex. Hydrologie), structure sous tutelle de la Direction Générale des Infrastructures de l'Hydraulique Humaine (DGIHH) à Abidjan, initiateurs de cette étude.

REFERENCES

- [1] DHH (Direction de l'Hydraulique Humaine)," Hydraulique humaine en Côte d'Ivoire", Ministère des Infrastructures Economiques, Côte d'Ivoire, 2001.
- [2] J. R. P Jourda, K. J. Kouamé, M. B. Saley, B. H. Kouadio, Y. S. Oga, "Contamination of the Abidjan aquifer by sewage: An assessment of extent and strategies for protection", In: Yongxin X, Brent U, eds. *Groundwater pollution in Africa*, Balkema (Grande Bretagne), Taylor & Francis, pp. 291-300, 2006.
- [3] K. Dongo, K. F. Kouamé, B. Koné, "Analyse de la situation de l'environnement sanitaire des quartiers défavorisés dans le tissu urbain de Yopougon à Abidjan, Côte d'Ivoire", *VertigO*, vol. 8, n°3, pp. 1-11, 2008.
- [4] B. F.-E. Ettien, Etude de faisabilité de l'utilisation de la lagune aghien pour l'alimentation en eau potable du district d'Abidjan, *Mémoire de Master spécialisé génie sanitaire et environnement*, 2iE (Ouagadougou) Burkina Faso, 70 p, 2010.
- [5] Y. M.- S. Oga, C. Marlin, L. Dever, "Recharge des nappes du Continental Terminal et du Quaternaire dans la région du Grand Abidjan (Côte d'Ivoire)", Conférence internationale Abidjan'98 sur la Variabilité des Ressources en Eau en Afrique au XXème siècle, *recueil des posters*, pp. 127-130, 1998.
- [6] I. Savané, K. M. Coulibaly, P. Gioan, "Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man", *Sécheresse*, vol. 12, n° 4, pp. 231-237, 2001.
- [7] N. Soro, T. Lasm, B. H. Kouadio, G. Soro, K. E. Ahoussi, "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*, vol. 14, pp. 30-40, 2006.
- [8] B. T. A Goula, I. Savané, B. Konan, V. Fadika, G. B. Kouadio, "Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'zo et N'zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide)", *VertigO*, vol. 1, pp. 1-12, 2006.
- [9] K. E. Kouakou, B. T. A Goula, I. Savané, "Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de surface en zone tropicale humide: Cas du bassin versant transfrontalier de la Comoé (Côte d'Ivoire - Burkina Faso)", *European Journal of Scientific Research*, vol. 16, n° 1, pp. 31-43, 2007.
- [10] K. E. Ahoussi, "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 Doctorat de l'Université de Cocody*, Abidjan (Côte d'Ivoire), 270 p, 2008.
- [11] F. Kanohin, M. B. Saley. et I. Savané, "Impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropicale humide : cas de la région de Daoukro en Côte d'Ivoire". *European Journal of Scientific Research*, vol. 26, n°2, pp. 209-222, 2009.
- [12] A. B.Yao, B. T. A Goula., Z. A. Kouadio, K. E. Kouakou, A. Kane, S. Sambou, "Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide. Cas du bassin versant de la Lobo au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire", *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, vol. 19, pp. 136-157, 2012.
- [13] I. Yacoub, "Analyse de l'évolution qualitative et quantitative des ressources en eaux souterraines du Grand Abidjan, mémoire de DEA en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université d'Abobo-Adjamé, 58 p, 1999.
- [14] L. E. - C. Koutouan, "Caractérisation hydrogéologique de la zone de la décharge Municipale d'Akouédo : Contribution à la mise en place d'un modèle mathématique d'écoulement de la nappe d'Abidjan", mémoire de DEA de l'Université d'Abobo-Adjamé, 62 p, 2005.
- [15] K.I Kouamé, "Pollution psycho-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 Doctorat de l'Université d'Abobo-Adjamé*, Abidjan (Côte d'Ivoire), 205 p, 2007.
- [16] K. A. Kouassi, W. F. Kouassi, B. T. A. Goula, K. I. Kouamé, B. Dibi, I Savané, "Modèle Conceptuel du Bassin Sédimentaire Côtier Ivoirien: Cas de la nappe du Continental Terminal d'Abidjan", *European Journal of Scientific Research*, vol. 44, n° 3, pp. 400-419, 2010.
- [17] C.W. Thornthwaite, "An approach toward a rational classification of climate", *Transaction American Geophysics Union*, vol. 27, pp. 55-99, 1954.
- [18] F. Pasquier, "Hydrodynamique de la nappe du Gäu (cantons de Soleure et Berne)", *Thèse de Doctorat de l'Université Neuchâtel*, Suisse, 142 p, 1986.
- [19] J. P. Tastet, "Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin)", *Thèse de Doctorat d'Etat ès sciences de l'Université de Bordeaux 1*, France, 181 p, 1979.
- [20] S. A. Tapsoba, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (Sud de la Côte d'Ivoire): Hydrochimie, isotopie et indice cationique de vieillissement des eaux souterraines". Thèse de doctorat de l'Université Nationale de Côte d'Ivoire, 200 p, 1995.
- [21] N. Aghui, J. Biémi, "Géologie et Hydrogéologie des nappes de la région d'Abidjan. Risques de contamination" *Ann Un Nat. de Côte d'Ivoire*, Série C, tome 20, pp. 313-317, 1984.

- [22] B. F. E. Loroux, "Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire", *Thèse de Doctorat de 3ème Cycle de l'Université de Bordeaux I*, France, 93 p, 1978.
- [23] J. R. P. Jourda, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région du Grand Abidjan", *Thèse de Doctorat de 3ème Cycle de l'Université de Grenoble*, France, 301 p, 1987.
- [24] G. Castany, "*Principes et méthodes de l'hydrogéologie*", *Dunod*, Université de Paris, France, 237 p, 1998.
- [25] C. Ottlé, S. Léhegarat, M. Zribi, "Application de la télédétection spatiale en hydrologie", *Centre d'étude des Environnements Terrestres et Planétaire*, 14 p, 2004.
- [26] H. Laaroubi, "Etude hydrologique des bassins versants urbains de Rufisque", *Thèse de Doctorat de 3ème cycle de l'Université Cheikh Anta Diop*, Dakar (Sénégal), 308 p, 2007.
- [27] A. H. Thiessen, "Precipitation averages for large areas", *Mon. Weath. Rev.*, vol. 39, n°7, pp. 1082-1084, 1911.
- [28] C. Cosandey, "*Les eaux courantes : géographie et environnement*", Paris, Belin, 239 p, 2003.
- [29] B. H. Kouadio, Quelques aspects de la schématisation hydrogéologique : cas de la nappe d'Abidjan. Mémoire de DEA de l'Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 66 p, 1997.
- [30] N. Soro, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Sud-Est de la Côte d'Ivoire : bassin versant de la Mé", *Thèse de Doctorat 3ème cycle de l'Université de Grenoble 1*, France, 239 p, 1987.
- [31] R. Healy, G. Cook, "Using groundwater levels to estimate recharge", *Hydrogeology Journal*, vol. 10, pp. 91-109, 2002.
- [32] SOGREAH, "Etude de la Gestion et de la Protection de la nappe assurant l'alimentation en eau potable d'Abidjan. Etude sur Modèle Mathématique", *Rapport final synthèse des résultats*, vol. 2, République de Côte d'Ivoire, Ministère des infrastructures économiques, Direction et Contrôles des Grands Travaux (DCGTx), 30 p, 1997.