

MODÉLISATION HYDRODYNAMIQUE DE L'AQUIFÈRE CÔTIER DU BASSIN VERSANT DE LA LOÉMÉ EN RÉPUBLIQUE DU CONGO

Urbain Gampio MBILOU¹, Médard NGOUALA MABONZO^{2*},
Hugues Bruno GOMA BOUMBA²
et Marie Joseph SAMBA – KIMBATA²

¹ Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université
Marien Ngouabi, BP 69 Brazzaville, République du Congo

² Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines,
Université Marien Ngouabi, BP 69 Brazzaville, République du Congo

* Correspondance, e-mail : medngouala@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le bassin versant de la Loémé est situé au Sud - Ouest de la République du Congo. C'est un bassin côtier d'une superficie de 5693 km² où l'on identifie un aquifère complexe dont la méconnaissance de l'hydrodynamique rend délicate toute prévision sur l'impact de son exploitation. L'objectif de cette étude est de réaliser un modèle hydrodynamique de l'aquifère côtier du bassin versant de la Loémé et subséquentement d'explorer ses interactions entre les différents paramètres dans le système hydrologique. Ainsi, un modèle conceptuel de la zone d'étude a été construit en analysant les données du secteur étudié et, les conditions hydrogéologiques ont été simulées en utilisant le logiciel Argis.9. Les paramètres hydrogéologiques ont été calibrés manuellement sur la base des niveaux d'eau mesurés successivement lors des campagnes d'échantillonnages durant toute la période d'étude. La piézométrie simulée par le modèle hydrodynamique calibré, est en accord avec les niveaux statiques obtenus. Ce modèle hydrodynamique montre que l'environnement géologique influence les différents paramètres hydrogéologiques du bassin versant de la Loémé.

Mots-clés : *aquifère, bassin, Congo, hydrogéologie, hydrodynamique, Loémé.*

ABSTRACT

Modelling hydrodynamic of coastal basin aquifer of Loémé in the Republic of Congo

The Watershed Loémé is located South - West of the Republic of Congo. It is a coastal basin with an area of 5693 km² where one identifies a complex aquifer whose ignorance of hydrodynamics makes difficult any prediction on the impact of its operations. The objective of this study is to provide a hydrodynamic model of the aquifer catchment of Loémé and subsequently explore interactions between the different parameters in the hydrological system. Thus, a conceptual model of the study area was constructed by analyzing the data of the study area and hydrogeological conditions were simulated using the software Argis.9. The hydrogeological parameters were calibrated manually based on water levels measured successively during samplings throughout the study period. Piezometry simulated by the calibrated hydrodynamic model, is consistent with static levels obtained. This hydrodynamic model shows that the geological environment influences the different hydrogeological settings Watershed Loémé.

Keywords : *aquifer, Pool, Congo, hydrogeology, hydrodynamics, Loémé.*

I - INTRODUCTION

Depuis quelques années, les techniques informatiques ont bouleversé non seulement nos possibilités d'expression cartographique, mais aussi notre conception même de la gestion des données [1]. En effet les systèmes d'Informations Géographiques (SIG) présentent des avantages précieux car ils sont capables à la fois de mémoriser la totalité de l'information disponible et de faciliter la manipulation et l'interprétation des données. La République du Congo dont la richesse en ressources en eau est évidente ne s'est pas encore dotée d'un inventaire complet de son potentiel en eau de surface et/ou souterrain [2, 3] et ne maîtrise pas suffisamment le fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique de ses aquifères. L'aquifère côtier du bassin versant de la Loémé est un réservoir d'eaux revêtant d'une grande importance dans le bassin sédimentaire côtier de la République du Congo à cause des usages de l'eau et des volumes en présence. En effet, ces eaux sont utilisées comme eaux de boisson pour les populations riveraines puis dans les activités agricole et d'élevage. Toutefois, il n'existe pas de connaissances suffisantes sur la qualité des eaux, en vue d'en apprécier la potabilité et évaluer les impacts pouvant résulter notamment de l'anthropisme ou des changements globaux. L'analyse des données révèle une grande diversité des

situations piézométriques et montre la coexistence de niveaux piézométriques et statiques. D'où l'intérêt d'entreprendre un modélisation à l'échelle kilométriques pour traduire les grands traits du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère et des écoulements afin de mieux cerner la diversité des ressources et des usages de l'eau dans le bassin versant de la Loémé.

II – PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant de la Loémé est situé dans le Sud-Ouest de la République du Congo, entre les latitudes Sud 4° et 5° et les longitudes Est 11° 54' et 12° 40' (*Figure 1*). Ce bassin fait partie de deux unités orographiques que constitue la façade maritime du Congo : la chaîne du Mayombe et la plaine côtière.

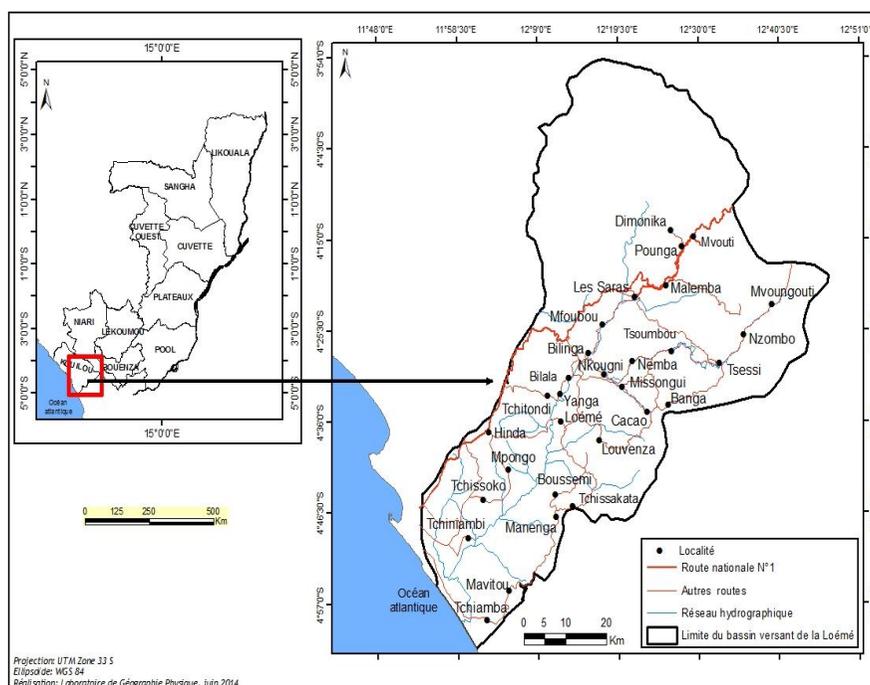


Figure 1 : Limitation du bassin versant de la Loémé

Du point de vue géologique, le bassin versant de la Loémé est entièrement constitué de formations de soubassement ayant été l'objet de plusieurs orogénèses appartenant à l'âge précambrien. Ses sols sont rangés dans la catégorie des sols ferralitiques. Ce bassin est couvert par une mosaïque forêt - savane avec une prédominance de la forêt (65 % de couverture) et la savane (35 %). Son climat est du type tropical humide caractérisé par une alternance de

saisons : une saison chaude et pluvieuse qui s'étend d'octobre à mai et une saison sèche et fraîche de juin à septembre durant laquelle les arbres subissent un stress hydrique saisonnier [5].

III – MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le fond de carte servant de référence pour le modèle est obtenu par numérisation de la carte géologique au 1 / 500.000 de 1969 [6]. La première étape de la modélisation est la construction de la structure du maillage qui discrétise le système en mailles carrées en respectant la forme de la couche. L'extension du domaine modélisé est présentée sur la **Figure 2**. Les limites du domaine correspondent pratiquement aux limites physiques du bassin versant de la Loémé. Pour la discrétisation spatiale, l'étude est consacrée plus exactement à un domaine souterrain d'une superficie de 5693 km² de la zone, avec un maillage carré uniforme de 5 km de long sur 5 km de large (**Figure 2**). L'ensemble du domaine modélisé est découpé en 5400 mailles carrées.

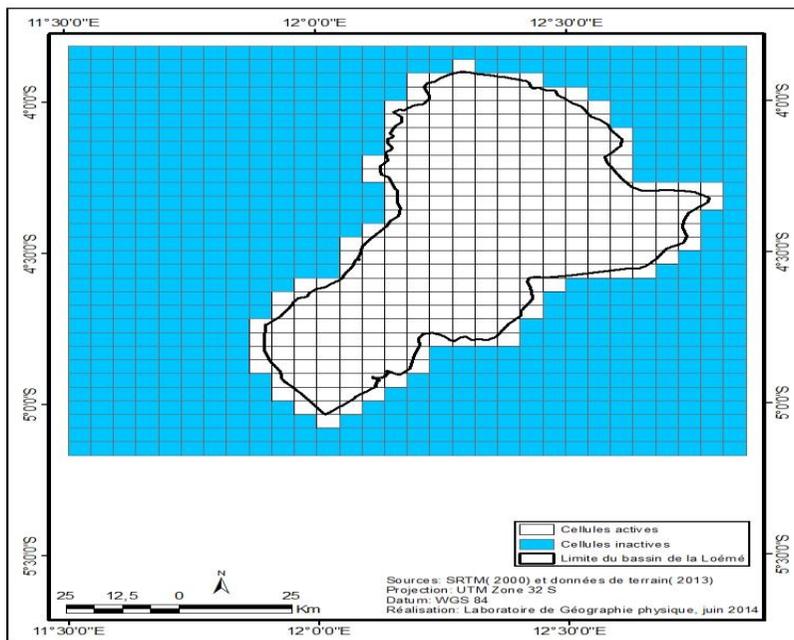


Figure 2 : Maillage de la zone d'étude

La productivité en eau souterraine est fortement conditionnée par la nature, la cohésion et la structure de la roche dans laquelle cette eau est stockée et circule. Dans le but de la détermination de la qualité des différentes

formations géologique du remplissage sableux ; alluvial et la reconnaissance de la nature du substratum, une synthèse prenant en compte les données des différents ouvrages dans ce bassin. La géométrie du réservoir définit la couche contenue entre le toit et le mur. Elle est caractérisée par la nature géologique et l'épaisseur de l'aquifère. Ces deux paramètres conditionnent la transmissivité et par conséquent le sens de l'écoulement.

IV - RÉSULTATS

Le calage du modèle a été relativement difficile, vu l'insuffisance des données dans l'ensemble du bassin versant de la Loémé. Toutefois, après plusieurs passages sur ordinateur (voir une vingtaine de simulations) durant lesquels nous avons calé, l'obtenu des résultats que nous avons jugés satisfaisants en appliquant le test de performance du modèle. Pour apprécier la validité du calage, nous donnerons la priorité aux observations quantifiées : la piézométrie, et la perméabilité qui sont en fait des résultats du calage plus subjectifs dans la mesure où ils sont peu ou pas connus avant la modélisation.

IV-1. Calage de la piézométrie

Dans le calage de la piézométrie du bassin versant de la Loémé, nous avons tenu compte des niveaux piézométriques et des niveaux statiques des différents ouvrages (forages et puits) localisés dans la zone d'étude. Ceux-ci ont été pris en compte pour la compréhension du fonctionnement et la sensibilité de la nappe. Les niveaux obtenus avec le modèle sont représentés sur la **Figure 3**. La piézométrie de la nappe dans ce bassin en régime permanent est satisfaisante (**Figure 3**) et présente les mêmes tendances que le niveau statique observée dans la **Figure**, montre que la direction générale des écoulements est manifestement dirigée du nord vers le sud. L'écoulement général s'effectue vers les zones de dépression. L'examen de cette carte piézométrique rend compte de la zone de piézométrie positive qui correspond probablement à des aires bien alimentées par infiltration et d'une zone dépressive centrée dans la partie aval de cette région avec des limites toujours brutales. Les zones dépressives sont conformes à la réalité autour des pentes (< 10 %), mais partout ailleurs la simulation diverge parfois très fortement des niveaux observés. L'altitude des niveaux s'étage de 240 m, soit une différence de cote égale à 160 m avec des niveaux statiques, selon un trajet reliant les environs de la zone de montagne c'est - à - dire de la chaîne du Mayombe à la zone de savane ou de plaine. Le gradient hydraulique est donc inférieur à 10 % mais les différences des valeurs concernant ce paramètre peuvent être considérables dans cet intervalle (0 – 10 %).

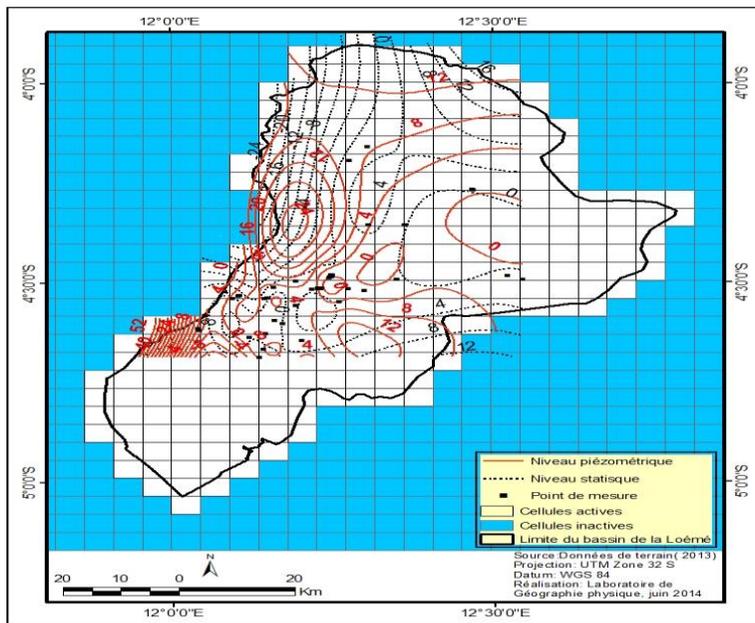


Figure 3 : Comparaison des niveaux piézométrique et statique

L'examen de cette carte piézométrique (**Figure 3**) indique également que les gradients faibles (1,3 à 3,5 %) sont répartis selon un arc de cercle joignant tous les pôles du bassin versant de la Loémé. Ce constat permet de confirmer les bonnes perméabilités, qui traduisent en volumes d'exhaure potentiellement intéressants à l'échelle des besoins requis par certaines collectivités. Compte tenu de la prise en compte des données géologiques, la reconstitution de la piézométrie par le calcul est convenable. La différence entre le niveau piézométrique et le niveau statique permet de tracer la limite de l'artésianisme. Nous ne sommes pas intéressés au tracé de cette limite, mais ce phénomène a été mis en évidence dans les secteurs où l'aquifère côtier est recouvert par les formations géologiques (sable, argile et granite) ayant une porosité variable (argile : 40 - 70 % ; granite : 1 - 5 % et sable : 20 - 30 %).

IV-2. Calage des valeurs de perméabilités

Les perméabilités ajustées sont hétérogènes et varient de $22,14 \cdot 10^{-5}$ à $3,87 \cdot 10^{-1}$ m.s⁻¹. Nous avons travaillé à partir de la position des zones supposées les plus perméables que nous avons conservées au cours du calage. Elles sont représentées (**Figure 4**) en étage de perméabilités correspondant aux cordons du complexe métamorphique du Mayombe à la série alluvionnaire du quaternaire. On remarque, qu'il y a une variation latérale des faciès, de l'amont vers l'aval. Ceci se traduit en terme piézométrique par une variation

du gradient hydraulique dans la carte piézométrique. Cette **Figure** traduisant la répartition des perméabilités dans le domaine à modéliser issue du calage se caractérise par une grande homogénéité puisque les valeurs sont comprises selon les intervalles. La couleur rouge ($K > 8.10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$) symbolise les secteurs de forte perméabilité ; le bleu indique la zone où perméabilité est comprise entre 3.10^{-3} et $7.10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$; le jaune identifie la zone où la perméabilité est faible et la couleur verte traduit la zone où la perméabilité est très faible voire nulle. Cette distribution valide bien la situation géologique du bassin et l'interprétation des données de pompage qui donne la valeur moyenne des transmissivités de $5.10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$.

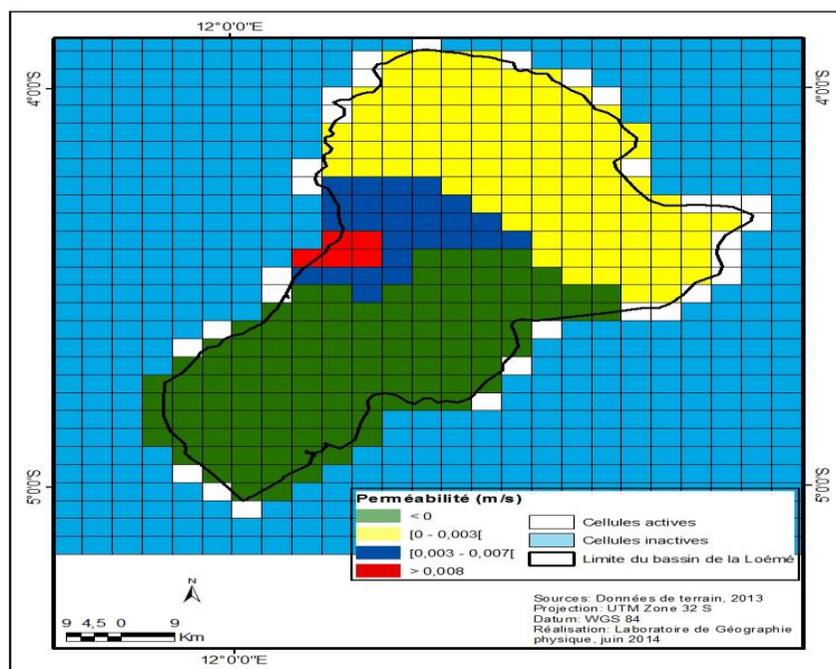


Figure 4 : Spatialisation des perméabilités calées

En comparaison avec les valeurs connues de terrain, les zones de perméabilité moyenne obtenues correspondent bien avec les formations géologiques du milieu. Ces données ont été calibrées, jusqu'à obtenir une valeur moyenne nette de $13,29.10^{-5} \text{ m/s}$, nous avons conservé la variabilité de la conductivité hydraulique en utilisant le calage de la piézométrie observée. Une variabilité de la transmissivité évoluant dans le même sens que la perméabilité, a été observée. En prenant la valeur moyenne de la perméabilité obtenue au cours du calage, une transmissivité moyenne a été estimée à environ $5.10^{-3} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ pour une épaisseur moyenne de l'aquifère de 30 m.

IV-3. Estimation de la recharge dans le système d'aquifère du bassin versant de la Loémé

Une estimation précise de la recharge des nappes est indispensable pour une gestion optimale des ressources en eaux souterraines. Plusieurs méthodes ont été mises au point en bassins sédimentaires côtiers pour son évaluation, méthodes conduisant à des résultats très disparates compte tenu de la variabilité des propriétés des milieux et de la conception même des outils d'évaluation utilisés [2, 7]. On admet généralement que l'alimentation des aquifères s'effectue suivant trois mécanismes : par infiltration directe des précipitations aux aires perméables, par percolation latérale à partir des berges des cours d'eau, et à travers la contribution d'eau en provenance d'autres aquifères [4, 8]. Mais dans le cas le plus général, l'alimentation des réservoirs aquifères est subordonnée à l'infiltration efficace des précipitations pour les aquifères à nappe libre, c'est-à-dire la part de la pluie qui échappe à l'évapotranspiration et au ruissellement [9]. Comme le souligne [9], une connaissance plus fine et plus rigoureuse de l'infiltration efficace implique une formulation analytique des transferts d'eau dans la zone non saturée. Le but de notre travail n'est pas de passer en revue les différentes méthodes traitant de la question mais d'appliquer certaines d'entre elles qui s'adaptent à notre contexte. Nous disposons des données de précipitations (entrée) ainsi que des chroniques de débits en un exutoire (sortie) ainsi qu'une chronique plus ou moins élaborée de suivi piézométrique et nous cherchons à « estimer la fonction de transfert qui les relie ». L'hypothèse d'une drainance entre les aquifères conformément au schéma de fonctionnement énoncé dans les chapitres précédents a été respectée. Cette surface a été placée sur une zone très étendue considérant, d'un point de vue totalement subjectif et par commodité, qu'à partir des courbes isopièzes. Dans ces conditions, l'estimation de la recharge est fixée sur des valeurs comprises entre 45 et 68,34 mm.an⁻¹ environ. La zone d'infiltration efficace a été définie au niveau de Bilinga. La recharge nette de l'aquifère est en moyenne autour de 31,88 mm.an⁻¹.

IV-4. Conditions de flux dans le bassin versant de la Loémé

Le modèle apporte une vision en trois dimensions de l'aquifère et des écoulements. Ainsi il est possible de tracer le champ des gradients hydrauliques sur une coupe de part et d'autre de l'axe de drainage et de suivre les lignes de courant dans toute l'épaisseur du système (*Figure 5*). Ces lignes s'enfoncent sur les bordures, circulent d'autant plus profondément qu'elles proviennent de loin, convergent vers l'axe de drainage où elles remontent et rejoignent les aquifères superficiels.

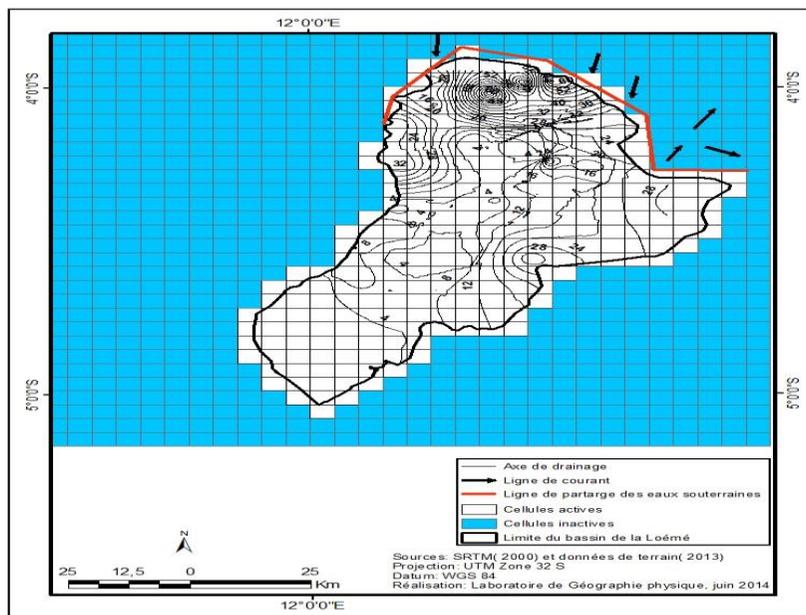


Figure 5 : Représentation des lignes de flux nul dans le bassin de la Loémé

L'observation de cette carte montre qu'il existe des lignes de partage des eaux souterraines dans l'axe de drainage ou des écoulements du bassin jusqu'au niveau de la confluence de l'océan atlantique. Cette limite représente une condition de flux nul pour l'ensemble de la partie aval de l'aquifère côtier du bassin versant de la Loémé. Elle est représentée sous forme de cellules inactives qui n'interviennent pas dans les calculs.

V - DISCUSSION

La modélisation hydrodynamique de la nappe du bassin versant de la Loémé est réalisée à partir de l'ensemble des résultats déduits de l'observation et de son interprétation. Les résultats fournis par le modèle en régime permanent sont cohérents avec les observations et, le bilan des flux est équilibré. Dans le domaine modélisé, le niveau piézométrique se superpose au niveau statique à partir des observations. Dans ce secteur, les points de mesure piézométrique sont moins nombreux et les isopièzes interpolées sont donc une bonne estimation de la piézométrie réelle. Par ailleurs ce secteur correspond à la zone de convergence des flux vers les différentes formations de la partie aval de ce bassin et la remontée des lignes de courant. Cette zone est donc très influencée par les drains de surface qui constituent un exutoire important et un élément prépondérant du modèle. Dans l'ensemble du bassin versant de

la Loémé, les valeurs des perméabilités diffèrent selon des formations géologiques. Cela pourrait traduire l'existence d'une alimentation à travers la limite du domaine, c'est-à-dire d'un flux en provenance de la chaîne du Mayombe, qui n'a pas été pris en compte. Les résultats ne sont toutefois pas aberrants ce qui laisse penser que ce flux n'est pas prépondérant. A l'absence de toute quantification possible, il était envisageable de procéder par calage mais c'était alors s'éloigner de la démarche choisie qui consiste à n'utiliser que les composants du système révélés par l'étude de l'hydrologie souterraine. La différence pourrait être due en partie à une observation erronée de la piézométrie, l'erreur venant de la difficulté à trouver des points de mesure bien représentatifs de l'aquifère dans son ensemble. Beaucoup d'ouvrages sont influencés directement par les nappes superficielles. Dans ce cas, le niveau de l'eau dans les puits est supérieur à la charge dans le système d'aquifère. Par ailleurs ce secteur correspond également à une zone de recharge. La méthode choisie dans notre étude diffère de la démarche de modélisation hydrogéologique qui consiste à faire varier un ou plusieurs paramètres du modèle de façon à ajuster (caler) les résultats calculés aux observations (généralement la piézométrie). Dans cette étude, tous les paramètres du modèle sont implémentés a priori.

VI - CONCLUSION

Malgré les simplifications, les calculs relatifs à la piézométrie et à la perte de charge induite par le fonctionnement hydrodynamique de la nappe dans le bassin fournissent des ordres de grandeur conformes aux observations. Ainsi, il semblerait que les éléments pris en compte dans le modèle (géométrie du domaine, structure multicouche, recharge par la pluie et surface drainante) suffisent à expliquer les phénomènes observés. Le modèle proposé serait imparfait ou incomplet si l'objectif était de simuler divers scénarios d'exploitation de l'aquifère de façon précise, pour permettre des choix de gestion par exemple. Mais l'objectif ici est de comprendre l'hydrologie souterraine du bassin versant de la Loémé. La modélisation n'est pas un but en soi mais un outil pour tester la cohérence des différentes hypothèses issues de l'étude de cet aquifère ; c'est un prétexte à une démarche rationnelle qui oblige à étudier systématiquement tous les aspects du problème (géométrie, lithologie, piézométrie, hydrodynamique) de façon quantitative. Cet exemple ne remet pas en cause l'intérêt de l'étape de calage dans les cas où les observations sont nombreuses et complètes. Il propose une utilisation de la modélisation plus modeste dans ses ambitions mais qui permet d'atteindre un niveau de compréhension global et intégré du système étudié. On peut alors mieux cibler les aspects mal connus. Dans le cas du bassin versant de la

Loémé, la ressource ne semble pas menacée d'un point de vue quantitatif dans l'état actuel des choses. En fait les volumes pompés sont compensés en partie par une infiltration plus importante depuis le système aquifère. Ce dernier n'étant pas vulnérable aux pollutions anthropiques, les pompages ne précarisent pas la qualité des eaux de cet aquifère. Il faut donc engager des recherches dans la compréhension des échanges entre les aquifères généralisé et discontinus, et du transfert de matière de la surface vers l'aquifère précambrien. Cela nécessiterait certainement une modélisation en régime transitoire pour tenir compte de la saisonnalité des phénomènes.

Remerciements

Les Auteurs remercient sincèrement le Laboratoire de Géographie Physique de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines et le Département de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Marien NGOUABI de Brazzaville pour leur aide multiforme.

RÉFÉRENCES

- [1] - A. ABOURIDA, Approche hydrogéologique de la nappe du Haouz (Maroc) par télédétection, isotopie, SIG et modélisation. Thèse Univ. Cadi Ayyad, Maroc, (2007) 146.
- [2] - G. D. MOUKANDI - N'KAYA, Etude hydrogéologique, hydrochimique *in situ* et modélisation hydrodynamique du système aquifère du bassin sédimentaire de la région de Pointe - Noire. Thèse de doctorat. Université Marien Ngouabi, Congo, (2012) 132 p + annexe.
- [3] - Mac Donald MOTT, BCEOM, SOGREAH, ORSTOM, Evaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne, pays de l'Afrique de l'Ouest. Rapport du pays : Congo. Paris, (1991) 30-31 ; 33-34 ; 60-62 ; 74-75.
- [4] - M. J. BOUZIANE et A. LABADI, Les eaux profondes de la région de Biskra (Algérie). European Journal of Scientific Research. ISSN 1450-216X Vol.25 No.4, (2009) pp 526 - 537.
- [5] - M. J. SAMBA-KIMBATA, Rythme bioclimatique et comportement phénologique de la végétation en République du Congo. Ann. Univ. Marien Ngouabi, 3 (2002) 81 - 92.
- [6] - P. DADET, Notice explicative de la carte géologique de la République du Congo Brazzaville au 1/500.000, mémoire du BRGM n°70, Congo Brazzaville, ORSTOM, (1969) 12 - 24.

- [7] - P. BAZIE et B. DIENG, Bilan des transferts verticaux d'eau en zone non saturée sous climat soudano-sahélien : application à l'estimation de la recharge des nappes. *Rev.Sc. Eau*, 8 (2) (1995) 237 - 260.
- [8] - J. F. ARANYOSSY & A. MAMOU, Apport des techniques nucléaires à l'étude des aquifères du Sud tunisien. RAF/8/007. IAEA. Vienne, (1985) 51 p.
- [9] - J. MARGAT, Les eaux fossiles. Afrique contemporaine, N°161 (Spécial) 1^{er} trimestre. Paris, (1992).