

ORIGINALE ARTICLE

ETUDES HYDRODYNAMIQUE ET MODELISATION DE L'IMPACT D'EXTRACTION D'EAU DES AQUIFERES DANS LES COMMUNES DE KIMBANSEKE ET N'SELE A KINSHASA (RD CONGO)



HYDRODYNAMIC STUDIES AND MODELING OF THE IMPACT OF WATER EXTRACTION FROM AQUIFERS IN THE COMMUNES OF KIMBANSEKE AND N'SELE IN KINSHASA (DR CONGO)

| Clément N'zau Umba-di-Mbudi ^{1,2*} | et | Merge Dezen Kobotayeye ¹ |

¹ Groupe Géo-Hydro-Energie | Faculté des Sciences et Technologies | Mention Géosciences | B.P. 190 Kinshasa XI | Université de Kinshasa | Kinshasa | R.D. Congo |

² Faculté Polytechnique | Université d'Etat Président Joseph Kasa-Vubu | B.P. 314 | Boma | R.D. Congo |

| DOI: 10.5281/zenodo.15609766 | | Received Mai 23, 2025 | | Accepted May 30, 2025 | | Published June 06, 2025 | | ID Article | Clément-Ref13-5-20ajira240525 |

RESUME

Introduction : Kinshasa, la capitale de la République Démocratique du Congo, une mégapole de plus de 15 millions d'habitants est en stress hydrique suite à des difficultés de la compagnie nationale de distribution d'eaux en milieux urbains REGIDESO de fournir de l'eau potable en quantité et qualité requises, et ce malgré une abondance de ressources en eaux de surface et souterraines. Face à ces difficultés, la population de Kimbanseke et N'sele, tout comme celle des autres communes de Kinshasa s'est tournée vers l'extraction des eaux souterraines. **Objectif :** ce travail se veut une contribution aux connaissances hydrogéologiques notamment par l'identification des aquifères (typologie et géométrie), mesurer les paramètres hydrodynamiques et simuler les écoulements souterrains du secteur étudié pour notamment évaluer l'impact de l'extraction et l'extension du dénoyage des pompes dans les aquifères, provoqué par ces exploitations. **Méthodologie :** Après la revue de littérature, nous avons procédé à une descente sur terrain pour l'exécution des forages d'eau, ensuite nous avons effectué des interprétations et discussion des résultats obtenus par des logiciels hydrogéologiques tels que AQUI TEST Pro et Visual Modflow Flex. **Résultats :** Les logs hydrostratigraphiques de 9 forages réalisés à Kimbanseke et N'sele révèlent des valeurs de conductivités hydrauliques dans l'intervalle $[5,20 \cdot 10^{-7} \text{ m/s} - 1,35 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}]$ et celles de transmissivités dans $[3,02 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} - 7,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}]$. Les écoulements sont orientés depuis les zones de recharge au Sud vers le Nord ou est situé le fleuve Congo. **Discussion :** Les logs lithostratigraphiques de la zone d'étude suggèrent un système aquifère globalement libre et multicouche. En effet, les écoulements souterrains décrits par des isopièzes suivant l'allure de courbes de niveaux vont des zones de recharge collinaires du Sud avec le fleuve Congo comme exutoire. Les rabattements des niveaux d'eau ne sont pas uniformes dans les aquifères, ce qui pourrait indiquer des zones plus affectées par l'exploitation excessive que d'autres. **Conclusion :** Cette étude hydrodynamique et de modélisation d'impact d'extraction d'eau dans les aquifères de la partie Est de Kinshasa doit se poursuivre. En effet, La mise à jour des connaissances hydrogéologiques pour toute la ville-province de Kinshasa est une impérative notamment pour développer un modèle numérique pour une gestion durable des ressources en eau souterraines actuellement très sollicitées.

Mots Clés : Performance, interférence, puits d'extraction, eau souterraine, Limeté-Industrielle.

ABSTRACT

Introduction: Kinshasa, the capital of the Democratic Republic of Congo, a megalopolis of more than 15 million inhabitants, is experiencing water stress due to difficulties experienced by the national urban water distribution company REGIDESO in providing drinking water in the required quantity and quality, despite an abundance of surface and groundwater resources. Faced with these difficulties, the population of Kimbanseke and N'sele, like that of other municipalities in Kinshasa, has turned to groundwater extraction. **Objective:** This work aims to contribute to hydrogeological knowledge, particularly through the identification of aquifers (typology and geometry), measuring hydrodynamic parameters and simulating underground flows in the studied area, in particular to assess the impact of extraction and the extension of pump dewatering in aquifers, caused by these exploitations. **Methodology:** After the literature review, we carried out a field trip to carry out water drilling, then we carried out interpretations and discussions of the results obtained by hydrogeological software such as AQUI TEST Pro and Visual Modflow Flex. **Results:** The hydrostratigraphic logs of 9 boreholes drilled in Kimbanseke and N'sele reveal hydraulic conductivity values in the interval $[5.20 \cdot 10^{-7} \text{ m/s} - 1.35 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}]$ and transmissivity values in $[3.02 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} - 7.01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}]$. The flows are oriented from the recharge zones in the South to the North where the Congo River is located. **Discussion:** The lithostratigraphic logs of the study area suggest a globally unconfined and multi-layered aquifer system. Indeed, the groundwater flows described by isopiezies following the shape of contour lines go from the hilly recharge areas of the South with the Congo River as an outlet. The drawdown of water levels is not uniform in the aquifers, which could indicate areas more affected by excessive exploitation than others. **Conclusion:** This hydrodynamic study and modeling of the impact of water extraction in the aquifers of the eastern part of Kinshasa must continue. Indeed, the updating of hydrogeological knowledge for the entire city-province of Kinshasa is imperative, particularly to develop a numerical model for sustainable management of groundwater resources, which are currently in high demand.

Mots Clés : hydrodynamique, Modélisation, impact, extraction, aquifère, Kinshasa.

1. INTRODUCTION

L'exploitation des eaux souterraines par les forages apporte des modifications hydrodynamiques et hydrochimiques à l'aquifère et dont les conséquences sont très peu connues. On a toujours du mal à déterminer le potentiel maximum que peut produire un aquifère par jour. On ne sait pas visualiser l'extension du dénoyage de l'aquifère provoqué par ces exploitations. La problématique sur l'hydrodynamique et la modélisation de l'impact de l'extraction d'eau des aquifères dans les communes de Kimbanseke et N'Sele à Kinshasa, en République Démocratique du Congo (RDC), révèle des dynamiques complexes influencées par divers facteurs environnementaux, socio-économiques et politiques. La gestion des ressources en eau souterraine est cruciale, particulièrement en milieu urbain, où l'accroissement démographique et les activités économiques exercent une pression significative sur les aquifères. L'extraction excessive des aquifères est un phénomène documenté dans de nombreuses régions du monde, entraînant une baisse alarmante des niveaux d'eau. Par exemple, Wada et al. Soulignent que dans les régions sujettes au stress hydrique, l'abstraction d'eau souterraine dépasse souvent le taux de recharge, menant à une déplétion continue des ressources en eau souterraine (Wada et al. 2010) [1]. Cette situation est également exacerbée par des pratiques agricoles inefficaces qui augmentent la demande en eau (Fishman et al. 2011) [3]. Les études de Huang et al. (2015) [4] et Joodaki et al. (2013) [5] illustrent comment des dynamiques de fuite exacerbées par l'extraction peuvent contribuer à la déplétion des aquifères en compromettant les niveaux de recharge et la qualité de l'eau. Concernant la répartition géographique de cette déplétion, l'étude de Haacker et al. (2015) [2] révèle que les déclin des niveaux d'eau ne sont pas uniformes dans les aquifères, ce qui pourrait indiquer des zones plus affectées par l'exploitation excessive que d'autres. Dans le cadre de Kimbanseke et N'Sele, ces variations pourraient être critiques pour modéliser l'impact des interventions de gestion des ressources en eau. Les modèles hydrologiques, tels que MODFLOW, sont des outils essentiels pour prédire et analyser les comportements des aquifères en réponse à diverses formes d'extraction (Sharma et al. 2024 ; Ahmad et al. 2016) [6,7]. Ces modèles permettent d'évaluer non seulement les impacts des prélèvements sur les niveaux d'eau, mais aussi de tester différentes stratégies de gestion et leur durabilité à long terme. Par exemple, les travaux de Calderwood et al. (2020) Calderwood et al. (2020) [8] soulignent l'importance de systèmes de surveillance en temps réel pour assurer une gestion optimale et efficace des ressources en eau souterraine. Une approche intégrée de la gestion des aquifères est essentielle. Les recherches de Gleeson et al. Sur la durabilité des aquifères renforcent l'importance d'une gestion proactive face aux défis globaux des ressources en eau (Glisson et al. 2020) [9]. En particulier, l'analyse SWOT mentionnée par Retshedisitswe et Saheed met en lumière les éléments internes et externes qui influencent la durabilité des aquifères, y compris les défis tels que les changements climatiques (Retshedisitswe and Saheed, 2024) [10]. Enfin, il est impératif que les politiques de gestion de l'eau en place à Kinshasa soient conçues non seulement pour réagir à la crise actuelle, mais aussi pour anticiper les impacts futurs des changements environnementaux et des dynamiques socio-économiques sur les aquifères locaux. La recherche représente un outil fondamental pour informer ces politiques, alignant les besoins de la communauté avec les impératifs écologiques. Le présent travail s'est orienté dans le sens susmentionné tout en essayant d'apporter un certain nombre d'éléments quant à l'impact hydrodynamique provoqué par les différentes extractions des forages d'eau. Il s'agit de déterminer le taux maximum par jour d'extraction d'un aquifère dont les données hydrodynamiques sont connues. La classification hydrogéologique des réservoirs suivant la nature des pores, les formations de couverture de Kinshasa caractérisent, un aquifère à perméabilité d'interstice, c'est-à-dire un terrain de perméabilité en petit. Concernant l'alimentation et le drainage, il est avéré que l'alimentation des nappes dépend de l'importance des pluies. Elle se réalise par les eaux météoriques (précipitations). Plusieurs paramètres entrent en jeu dans le processus de recharge des aquifères, notamment la fréquence, la nature et la hauteur des précipitations.

2. MATÉRIELS AND MÉTHODES

2.1 Présentation de la zone d'étude

La Zone d'étude se trouve dans les communes de N'sele et Kimbanseke à l'Est de la ville Province de Kinshasa en République Démocratique du Congo, précisément dans les quartiers Bel-Air, Dic, Kikimi, Kindobo, Bahumbu, Ngamaba, Nkama, Ntwo/Ngamayo et Lokali/Sicotra. Au total 9 forages ont été réalisés dans la zone d'étude (figure 1).

2.2 Matériels utilisés

Pour la réalisation de cette étude, les forages ont été réalisé mécaniquement suivis des essais de pompage avec du matériel et méthodes d'interprétation classiques suivant Kruseman et de Ridder (2001) [11]. Les logiciels utilisés sont Aquifer Test Pro et Visual Modflow, respectivement pour l'interprétation des essais de pompage et le calcul les paramètres hydrodynamiques, et pour la modélisation des écoulements souterrains.

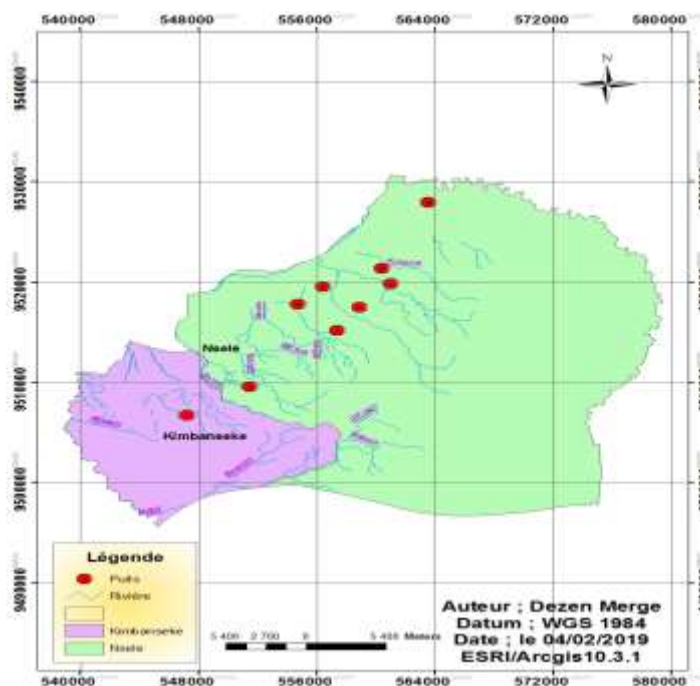


Figure 1 : carte de localisation des forages d'eau

2.3. Approche Méthodologique

Après la revue de la littérature, nous avons procédé à une descente sur terrain pour l'exécution des forages d'eau, ensuite nous avons effectué des interprétations et discussion des résultats obtenus par des logiciels hydrogéologique et cartographique appropriés. Le choix du site de forage est une partie cruciale du processus visant à fournir un approvisionnement sûr et fiable en eaux souterraines. Dans un contexte hydrogéologique difficile avec peu de forages d'eau antérieurs à notre étude, mais la présence d'aquifères multicouches, il s'avère intéressant de réaliser des forages de prospection pour s'assurer de la présence de l'eau souterraine en quantité et de qualité appréciables, de connaître la nature du système hydrogéologique de la zone étudiée.

3. RÉSULTATS

3.1 Paramètres hydrodynamiques

Tableau 1 : Résultats de paramètres hydrodynamiques.

Forages	T (m ² /s)	K (m/s)	Q (m ³ /h)	Aquifères correspondants
Bel air	9,08.10 ⁻⁵	5,80.10 ⁻⁷	13,30	Grès tendre rougeâtre
Dic	5,11.10 ⁻⁴	8,93.10 ⁻⁶	54,05	Grès tendre rougeâtre
Kikimi	3,85.10 ⁻⁵	5,20.10 ⁻⁷	24,45	Grès tendre brun
Kindobo	3,85.10 ⁻⁴	5,99.10 ⁻⁶	40,60	Grès tendre rougeâtre
Bahumbu II	7,01.10 ⁻⁴	1,35.10 ⁻⁵	54,05	Grès tendre blanchâtre et grès tendre rouge
Ngamaba	8,19.10 ⁻⁵	2,29.10 ⁻⁶	19,95	Grès tendre brun pale
Nkama	3,02.10 ⁻⁵	5,04.10 ⁻⁶	46,27	Grès tendre brun
Ntwo/Nga mayo	7,94.10 ⁻⁵	1,32.10 ⁻⁶	31,83	Grès tendre brun contenant du quartz grossier et grès de l'Inkisi
Lokali	2,04.10 ⁻⁴	3,78.10 ⁻⁶	54,63	Grès tendre brun

L'analyse des paramètres hydrodynamiques réalisée sur neuf forages de la zone d'étude révèle une hétérogénéité significative des caractéristiques hydrauliques des aquifères gréseux (Tableau 1). Les valeurs de transmissivité (T) s'étendent sur plus de deux ordres de grandeur, variant de 3,02×10⁻⁵ m²/s (forage de Nkama) à 7,01×10⁻⁴ m²/s (forage de Bahumbu II), avec une valeur moyenne de 2,34×10⁻⁴ m²/s. Cette variabilité importante témoigne de l'hétérogénéité lithologique et structurale des formations gréseuses de la région.

La conductivité hydraulique (K) présente également une distribution hétérogène, avec des valeurs comprises entre 5,04×10⁻⁶ m/s (Nkama) et 1,35×10⁻⁵ m/s (Bahumbu II). Les valeurs les plus faibles, inférieures à 10⁻⁶ m/s, caractérisent les forages de Bel air (5,80×10⁻⁷ m/s), Kikimi (5,20×10⁻⁷ m/s) et Ntwo/Ngamayo (1,32×10⁻⁶ m/s), suggérant des formations peu perméables. À l'inverse, les conductivités hydrauliques les plus élevées sont observées à

Bahumbu II ($1,35 \times 10^{-5}$ m/s), Dic ($8,93 \times 10^{-6}$ m/s) et Kindobo ($5,99 \times 10^{-6}$ m/s), indiquant des conditions de perméabilité plus favorables.

Les débits d'exploitation (Q) varient considérablement entre les différents ouvrages, s'échelonnant de 13,30 m³/h (Bel air) à 54,63 m³/h (Lokali). Trois forages présentent des débits particulièrement élevés, supérieurs à 50 m³/h : Dic (54,05 m³/h), Bahumbu II (54,05 m³/h) et Lokali (54,63 m³/h). Ces valeurs contrastent avec les débits plus modestes observés à Bel air (13,30 m³/h), Ngamaba (19,95 m³/h) et Kikimi (24,45 m³/h).

L'analyse lithologique révèle une prédominance des grès tendres de diverses colorations. Les grès tendres rougeâtres constituent l'aquifère principal pour quatre forages (Bel air, Dic, Kindobo et partiellement Bahumbu II), tandis que les grès tendres bruns caractérisent trois sites (Kikimi, Nkama et Lokali). Le forage de Bahumbu II présente la particularité de capter un aquifère composite associant grès tendres blanchâtres et rouges. Le site de Ntwo/Ngamayo se distingue par la présence de grès tendres bruns enrichis en quartz grossier et l'association avec les grès de l'Inkisi.

Une corrélation positive est observée entre les valeurs de transmissivité et de conductivité hydraulique ($r = 0,72$, $p < 0,05$), suggérant que les variations de transmissivité sont principalement contrôlées par les propriétés intrinsèques de perméabilité des formations plutôt que par les variations d'épaisseur saturée. Les débits d'exploitation montrent une corrélation modérée avec la transmissivité ($r = 0,58$, $p < 0,10$), indiquant que d'autres facteurs, tels que les conditions de pompage et l'efficacité des ouvrages, influencent également les performances hydrauliques.

Ces résultats mettent en évidence la complexité hydrogéologique de la zone d'étude et soulignent l'importance d'une caractérisation détaillée des paramètres hydrauliques pour l'optimisation de l'exploitation des ressources en eau souterraine dans ce contexte géologique gréseux.

3.2. Coupe technique synthétique de neuf forages

La figure 2 ci-dessus représente la coupe lithostratigraphique et de complétions techniques typiques de 9 forages d'eau réalisés dans la zone d'étude et dont les données lithologiques sont reprises dans la section qui suit. Cette figure présente une coupe lithologique détaillée associée à la configuration technique d'un forage annulaire d'une profondeur totale de 118,56 mètres, avec un niveau statique établi à 26,31 mètres de profondeur.

Succession lithologique :

La colonne stratigraphique révèle une séquence sédimentaire complexe caractérisée par l'alternance de formations argilo-sableuses et gréseuses. De la surface vers la profondeur, on observe :

- **0-4,00 m** : Formations superficielles constituées de sable fin humifère surmontant du sable fin jaunâtre, témoignant de l'altération pédologique des horizons de surface.
- **4,00-23,00 m** : Horizon argileux sableux jaune d'une épaisseur remarquable de 19 mètres, suggérant un environnement de dépôt de faible énergie.
- **23,00-27,00 m** : Intercalation de sable fin kaolineux associé à de l'argile tourbeuse de couleur grise, indiquant des conditions de dépôt réductrices.
- **27,00-50,00 m** : Épais niveau de sable moyen kaolineux (23 mètres d'épaisseur), représentant la zone de fluctuation de la nappe phréatique.
- **50,00-64,00 m** : Sable grossier blanchâtre transitant vers un sable moyen blanc, marquant un changement dans les conditions hydrodynamiques de dépôt.
- **64,00-76,00 m** : Formation de grès polymorphe, témoignant d'une phase de cimentation des sédiments sableux.
- **76,00-81,00 m** : Sable fin blanchâtre intercalé dans la séquence gréseuse.
- **81,00-101,00 m** : Grès tendre blanchâtre d'une épaisseur de 20 mètres, constituant l'aquifère principal du système.
- **101,00-118,56 m** : Grès tendre rouge en base de coupe, probablement associé à des conditions d'oxydation lors de la diagenèse.

• Configuration technique

L'aménagement du forage comprend un tubage de surface cimenté sur les 53 premiers mètres, assurant l'étanchéité de la partie supérieure de l'ouvrage. La section découverte s'étend de 53 à 118,56 mètres de profondeur, permettant la captation des aquifères gréseux. Plusieurs niveaux de crépinage sont identifiés dans la zone aquifère, avec des

indications de transmissivité (T) et de conductivité hydraulique (C) mesurées à différentes profondeurs, notamment à 67,86 m, 100,79 m, 114,94 m et 118,86 m.

Les tubages accessoires, représentés en rouge sur la partie droite de la figure, indiquent les zones d'équipement spécialisé du forage, probablement liées aux systèmes de pompage et de monitoring. Cette configuration technique permet une exploitation optimale des ressources en eau souterraine contenues dans les formations gréseuses profondes.

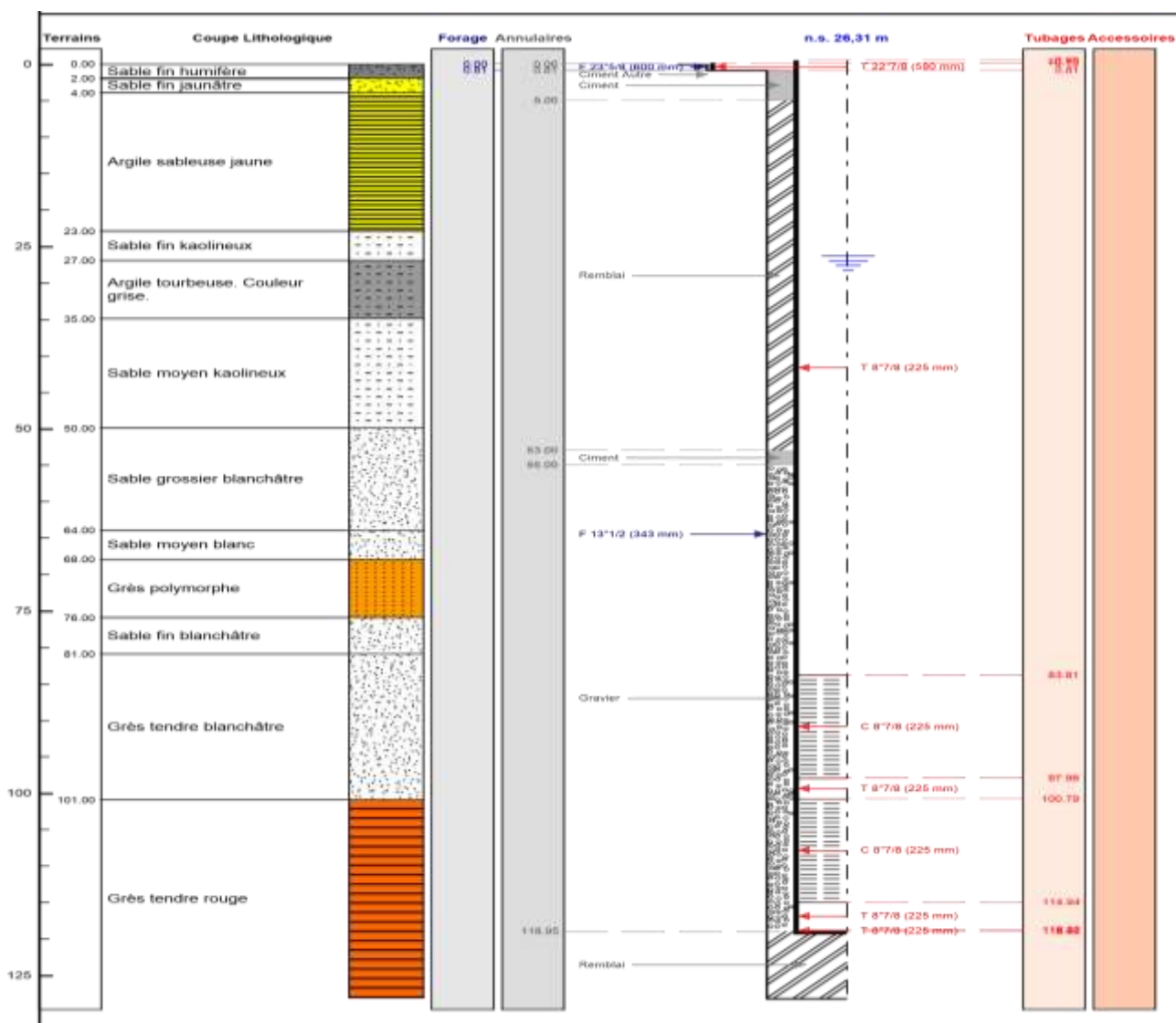


Figure 2 : Coupe lithologique et technique du forage annulaire (N.S. 26,31 m).

3.3. Données lithologiques

Les forages ont mis en évidence une succession de terrains argilo-sableux et gréseux de diverses couleurs et des granulométries différentes. La lithostratigraphie de ces forages se présente de la manière suivante de haut en bas :

- **Forages de profondeur importante (> 100 m)** (tableau 2)

Ce tableau regroupe huit forages présentant des profondeurs comprises entre 106,79 m (Ntuo/Ngamayo) et 154,34 m (Kikimi). L'analyse révèle une architecture lithologique remarquablement homogène caractérisée par une zonation verticale en trois unités principales :

Les **formations superficielles** (0-25 m) présentent une constance remarquable avec systématiquement un horizon humifère superficiel (0-2 m) suivi de formations sablo-argileuses jaunâtres à brunes, témoignant de processus pédogénétiques et d'altération uniformes sur l'ensemble de la zone d'étude.

Les **formations intermédiaires** montrent une diversité lithologique notable, alternant entre sables fins kaolineux, sables moyens de diverses colorations et formations silt-argileuses. Cette variabilité traduit des conditions paléoenvironnementales fluctuantes lors du dépôt.

Les **formations profondes** sont systématiquement constituées de grès tendres de colorations variées (brun, rougeâtre, blanchâtre, jaune), représentant les aquifères principaux du système hydrogéologique. Le forage de Ntwo/Ngamayo se distingue par la présence des grès de l'Inkisi, formation géologique de référence régionale.

Tableau 2 : Forages de profondeur importante (> 100 m).

Forage	Profondeur (m)	Formations superficielles (0-25 m)	Formations intermédiaires	Formations profondes (grès)
Sicotra	114,88	Sable fin humifère (0-2 m) + Sable fin argileux jaune (2-19 m)	Sables fins kaolineux et moyens variés (19-77 m)	Grès tendre brun (77-114,5 m) + Grès brun foncé (114,5-114,88 m)
Bel Air	147,91	Sable fin humifère (0-2 m) + Sable fin brun clair (2-23 m)	Sable argileux brun + Silt sableux (23-62 m)	Grès tendre rougeâtre (62-147,91 m)
Ntwo/Ngamayo	106,79	Sable fin humifère (0-2 m) + Sable fin argileux jaunâtre (2-21 m)	Sables fins à moyens variés (21-70 m)	Grès tendre brun (70-87 m) + Grès à quartz grossier (87-105 m) + Grès Inkisi (105-106,79 m)
Nkama	151,00	Sable fin humifère (0-2 m) + Silt jaune sableux (3-25 m)	Sables fins argileux et blancs (25-57 m)	Grès tendre argileux rougeâtre (57-69 m) + Grès blanchâtre (69-91 m) + Grès rougeâtre (91-120 m) + Grès brun (120-151 m)
Ngamaba	123,74	Sable fin humifère (0-1 m) + Sable fin argileux jaunâtre (1-39 m)	Sable fin argileux jaune pâle (39-64 m)	Grès tendre rouge (64-88 m) + Grès tendre brun pâle (88-123,74 m)
Dic	124,23	Sable fin humifère (0-2 m) + Sable fin jaunâtre (2-4 m) + Sable argileux jaune (4-23 m)	Sable fin kaolineux (23-67 m) + Sable fin blanc (67-96 m)	Grès tendre jaune (96-113 m) + Grès tendre rougeâtre (113-124,23 m)
Kikimi	154,34	Sable fin humifère (0-2 m) + Sable silteux jaune (2-9 m)	Sables fins silteux alternés (9-41 m)	Grès tendre blanc kaolineux (41-77 m) + Grès jaune (78-128 m) + Grès brun (128-154,34 m)
Bahumbu II	118,68	Sable fin humifère (0-2 m) + Argile sableuse jaune (4-23 m)	Formations variées avec argile tourbeuse (23-81 m)	Grès tendre blanchâtre (81-101 m) + Grès tendre rouge (101-118,68 m)

• **Forage de profondeur modérée (< 100 m)** (tableau 3)

Le forage de Kindobo, d'une profondeur de 83,30 m, présente une architecture lithologique simplifiée mais cohérente avec les observations des forages plus profonds. La séquence débute par les formations superficielles classiques (sables humifères et argileux jaunâtres), suivies d'une alternance de sables fins à moyens de colorations variées (blanchâtre, rosâtre, brun), et se termine par des grès tendres rougeâtres constituant l'aquifère terminal.

Cette configuration suggère que ce forage n'a pas atteint les formations gréseuses principales observées dans les forages plus profonds, s'arrêtant probablement dans la partie supérieure du système aquifère régional.

Tableau 3 : Forage de profondeur modérée (< 100 m)

Forage	Profondeur (m)	Formations superficielles (0-25 m)	Formations intermédiaires	Formations profondes
Kindobo	83,30	Sable fin humifère (0-2 m) + Sable fin argileux jaunâtre (2-14 m) + Sable fin jaunâtre (14-19 m)	Alternance sables fins/moyens blanchâtres (19-46 m) + Sables fins rosâtres/bruns (46-73 m)	Grès tendre rougeâtre (73-83,3 m)

Les logs des différents de forages représentés dans les tableaux ci-dessus sont consistants avec le log stratigraphique général de la ville de Kinshasa de Lateef et al. (2010) [12] et l'esquisse géologique qui en découle est aussi consistante de celle essentiellement de terrains superficiels de la zone d'étude suivante (figure 3) qui est en ligne avec la carte géologique de Kinshasa de CRGM-MRAC (2013) [13].

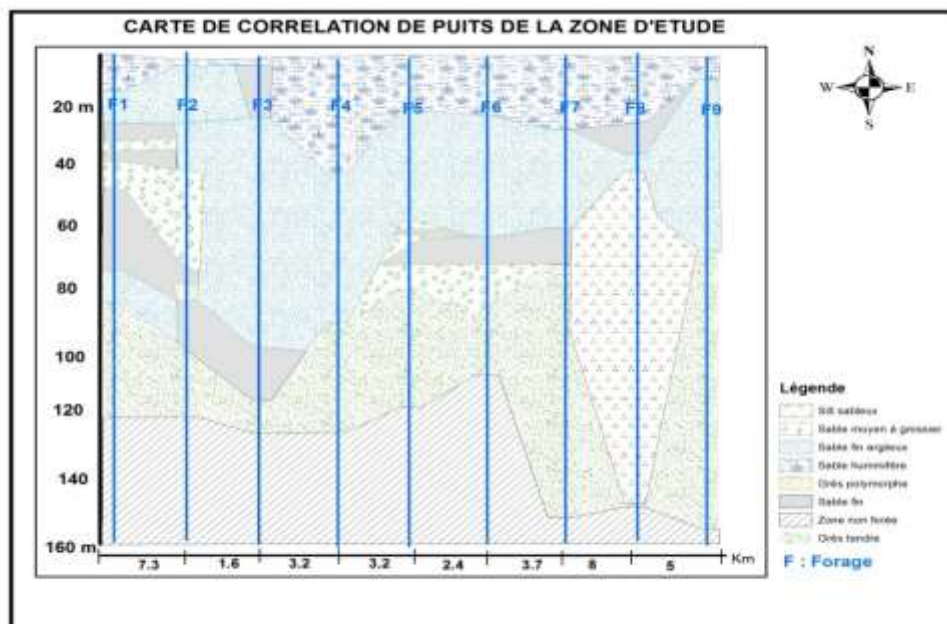


Figure 3: Esquisse géologique de terrains superficiels de zones d'études.

3.4. L'interprétation des essais de pompage.

Les données des essais de pompage en termes de rabattement en fonction du temps ont été interprétées suivant Kruseman et al. (2000) [11] par la méthode de Cooper-Jacob utilisant le logiciel Aquifer Test Pro (figure 4) et dont les résultats sont présentés au tableau 1 supra.

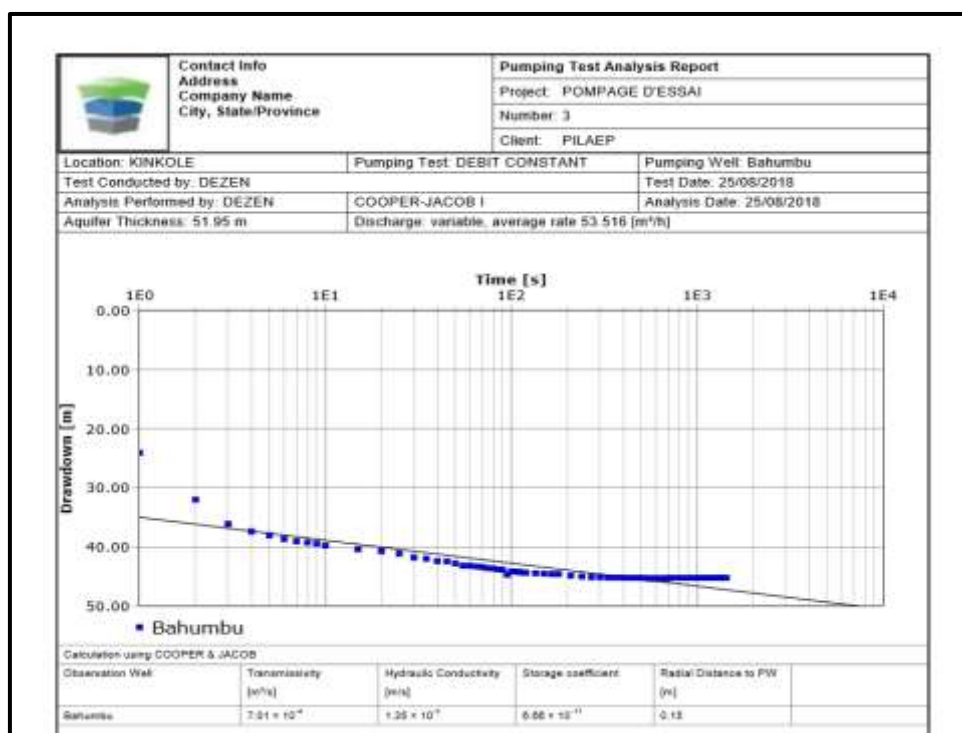


Figure 4: interprétation des données par la méthode Cooper-Jacob.

3.5. Modélisation et impact d'extraction

3.5.1. La zone d'extraction

La zone d'extraction correspond à la couche aquifère dans laquelle les tubes de captage (crépines) ont été positionnés. Pour notre cas, c'est l'aquifère constitué de sables diversifiés (couche 1) et de grès tendre (couche 4). Sur le modèle ci-dessous, cette zone se présente en bleu (figure 5).

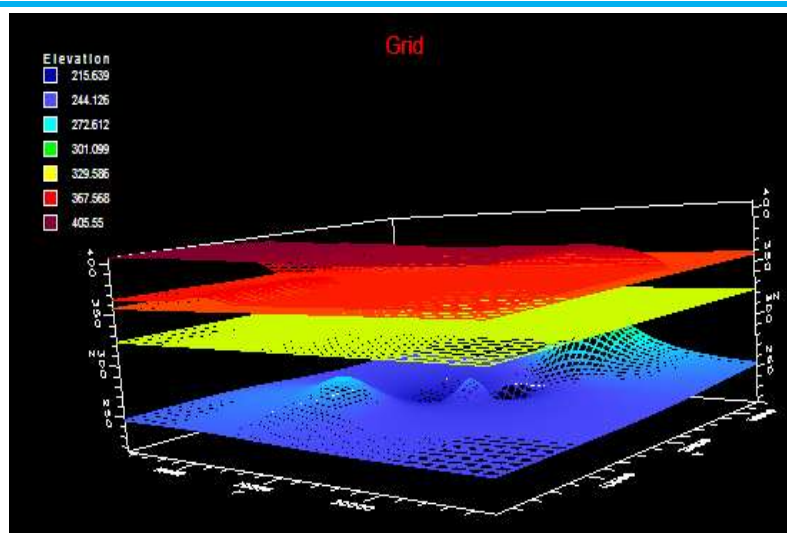


Figure 5: La zone d'extraction.

3.5.2. Impacts des extractions sur l'aquifère

Les effets de l'exploitation sur la même couche se montrent sur la figure 6 ci-dessous par les zones colorées en olive qui couvrent pratiquement 6 forages. Ces couleurs olive signifient le dénoyage de pompes de l'aquifère pendant les exploitations. L'influence ici est presque faible et la zone ne prend pas une grande extension. Dans la couche 4 qui constitue la zone 2 ou la zone d'extraction, on visualise l'impact des exploitations dans la zone de forte concentration des forages (figures 6 et 7).

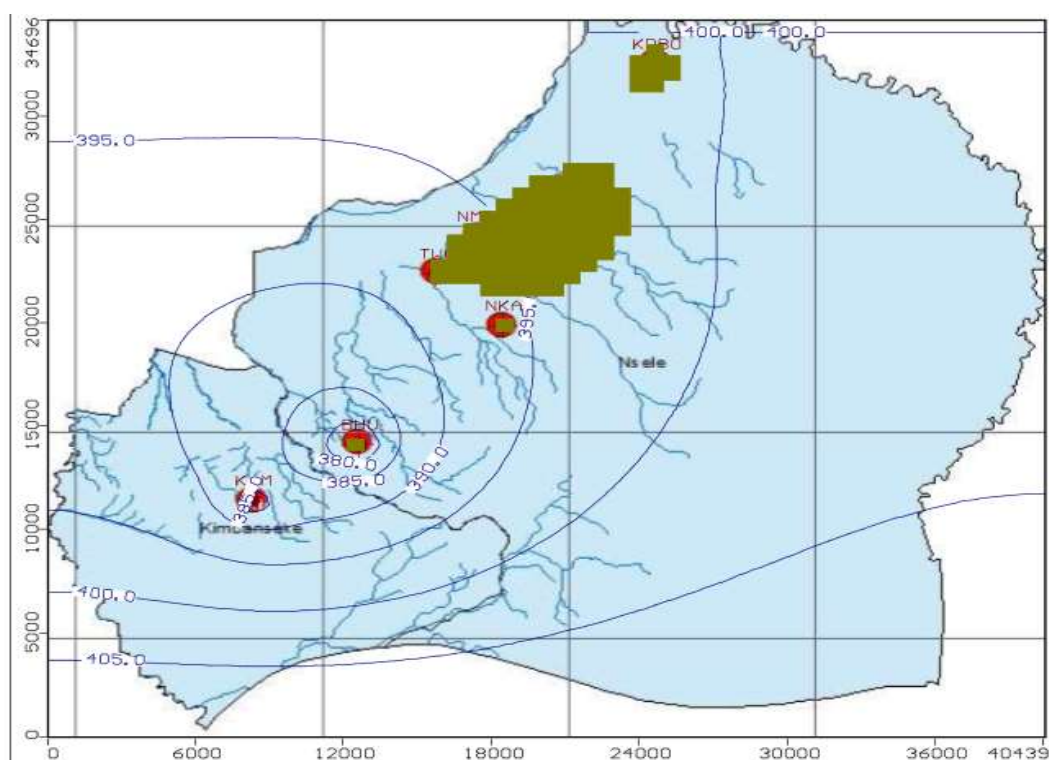


Figure 6 : Influence des extractions sur la couche 4.

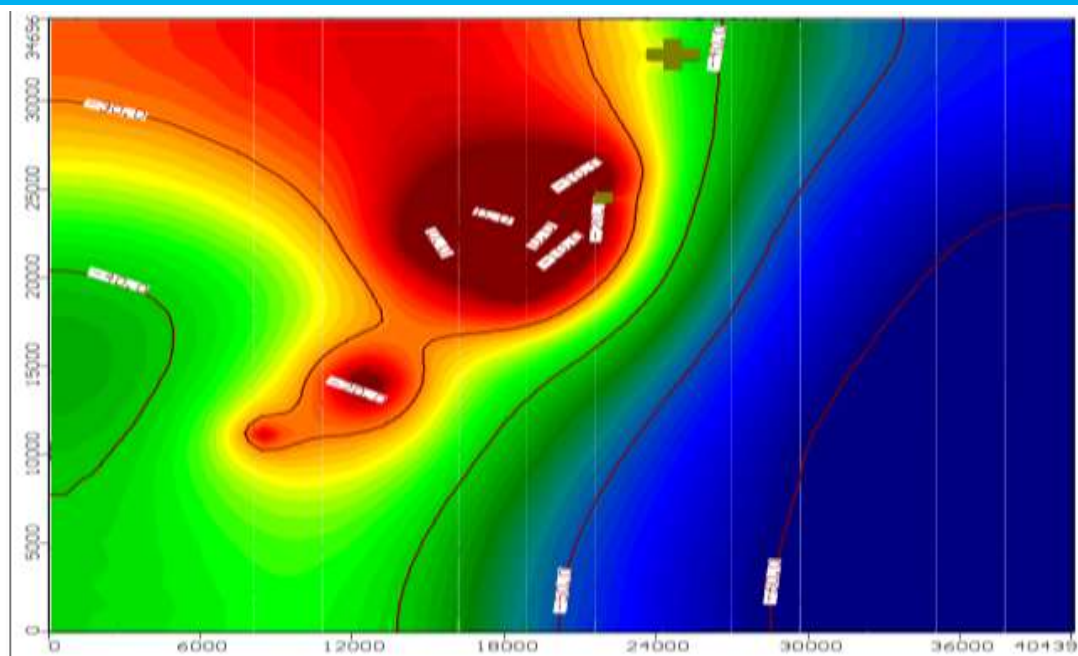


Figure 7 : impact des extractions sur la couche 4.

3.5.3. Visualisation des écoulements

Cette coupe permet de visualiser la direction des écoulements d'eaux souterraines qui se fait vers le Nord suivant la carte piézométrique modélisée qui prend en compte les cotes des mêmes niveaux d'eaux (figure 8).

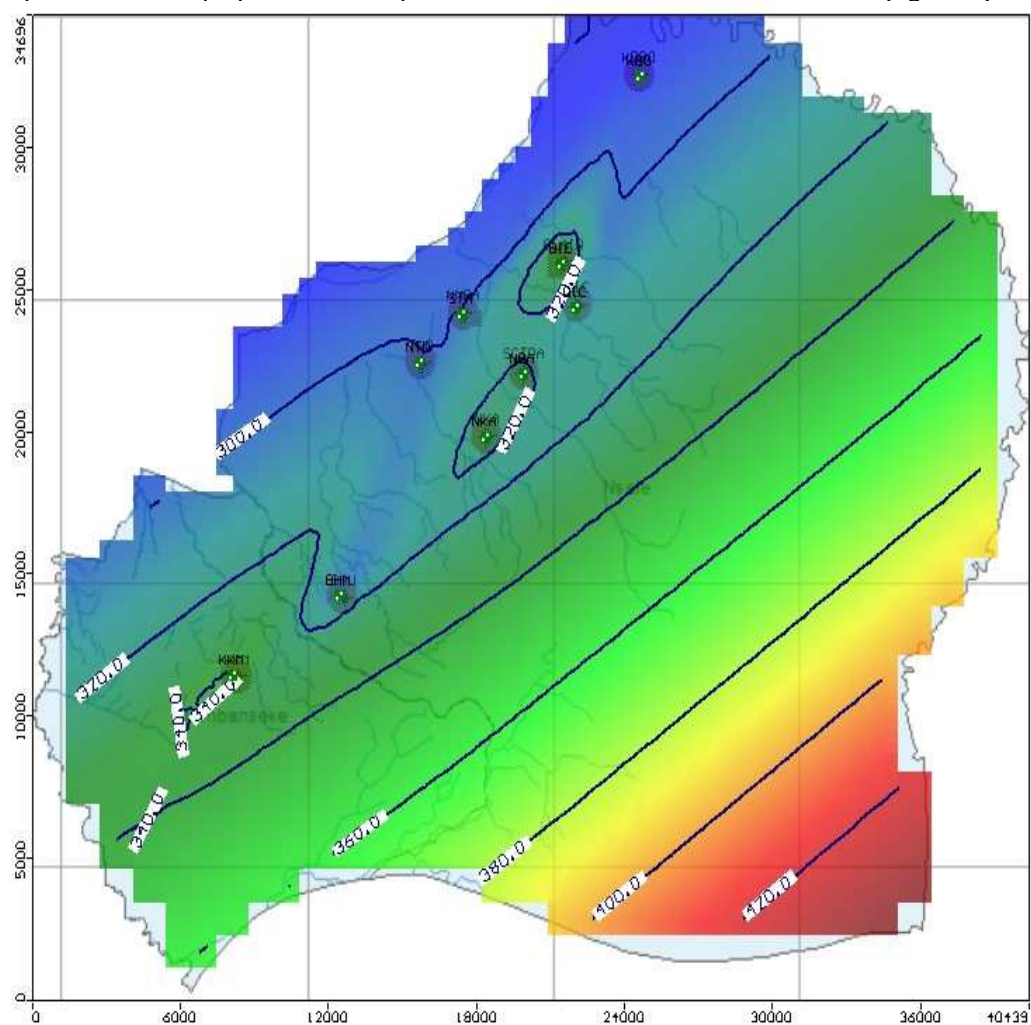


Figure 8 : carte réelle des courbes isopièzes.

3.5.4. Évaluation des volumes

La masse balance calculée par le modèle numérique évalue les entrées et les sorties dans la région montre une faible influence des exploitations d'eau souterraine dans la région.

Le diagramme ci-dessous évalue les volumes entrants et sortants du modèle (figure 9).

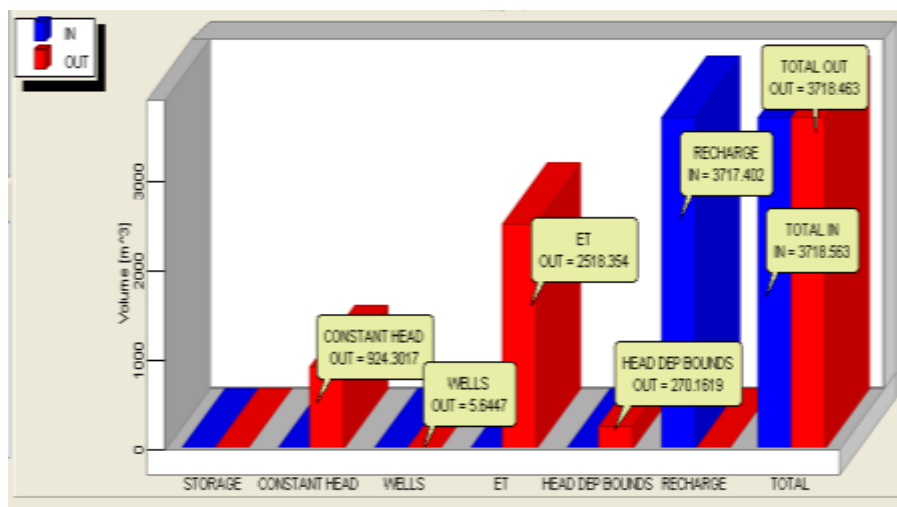


Figure 9 : Le diagramme ci-dessous évalue les volumes entrants et sortants du modèle.

Le modèle a calculé le taux maximum d'extraction par jour et par puits dont les données sont confinées dans la dernière colonne du tableau 4 ci-dessous. Le tableau présente les paramètres hydrauliques de neuf puits d'extraction configurés pour l'exploitation des ressources en eau souterraine. Les débits d'extraction initiaux varient de manière significative entre les installations, avec des valeurs comprises entre 111,48 m³/j pour le puits NKA et 1311,12 m³/j pour le puits SCTPA, représentant un coefficient de variation d'environ 65%. Cette hétérogénéité reflète probablement les variations des caractéristiques hydrogéologiques locales et des objectifs opérationnels spécifiques à chaque point d'extraction.

L'analyse comparative des débits révèle que les puits DIC et BHU présentent des débits initiaux identiques de 1297,2 m³/j, suggérant des conditions hydrogéologiques similaires ou une conception standardisée pour ces installations. À l'inverse, le puits BLAIR affiche le deuxième débit initial le plus faible (313,2 m³/j), indiquant soit des contraintes géologiques locales soit des objectifs d'extraction réduits. Les débits maximaux autorisés s'échelonnent de 1566 m³/j à 6555,6 m³/j, démontrant une capacité d'augmentation substantielle de la production hydraulique du système.

La flexibilité opérationnelle du système est assurée par la possibilité de réduire tous les débits à zéro, permettant l'arrêt sélectif ou total de l'extraction selon les besoins de gestion. Le rapport entre débits maximaux et initiaux varie considérablement, oscillant entre 4,8 pour le puits TWD et 31,9 pour le puits NKA, ce dernier présentant un potentiel d'augmentation exceptionnellement élevé malgré son débit de base réduit. Cette configuration offre une capacité totale théorique d'extraction de 41 411,6 m³/j, soit environ 5,8 fois la capacité initiale cumulée de 7112,94 m³/j, garantissant une marge de sécurité importante pour l'adaptation aux variations de la demande hydrique.

Tableau 4 : taux maximum d'extraction par jour par puits.

Variable Type	Name	Initial Rate (m³/d)	Min Rate (m³/d)	Max Rate (m³/d)
Extraction Well	KDBD	974,4	0	4872
Extraction Well	KKM	576	0	2880
Extraction Well	BLAIR	313,2	0	1566
Extraction Well	DIC	1297,2	0	6486
Extraction Well	MMBA	478,8	0	2394
Extraction Well	SCTPA	1311,12	0	6555,6
Extraction Well	TWD	753,52	0	3619,6
Extraction Well	NKA	111,48	0	3552,4
Extraction Well	BHU	1297,2	0	6486

Cette modélisation a permis de déterminer l'extension du dénoyage des pompes des aquifères (figure 6) et les débits maximums que peuvent donner un aquifère par jour tout en connaissant ses propriétés hydrodynamiques

Les rabattements impliqués par ces extractions sont également déterminés à travers cette modélisation. Elle a permis enfin de comprendre le comportement d'un aquifère soumis à un régime de pompage bien défini.

4. DISCUSSION

L'analyse des propriétés hydrodynamiques des forages existants, en rapport avec l'étude de la géométrie de l'aquifère, montrent que les forages de la zone d'étude sont susceptibles de produire des débits exploitables importants. Le débit moyen obtenu sur notre zone d'étude est de $54.63 \text{ m}^3/\text{h}$, conforme aux résultats des travaux antérieurs montrant que les aquifères captés dans une telle zone de grès tendre argileux fournissent des débits dont la moyenne est de l'ordre de $13.30 \text{ m}^3/\text{h}$. Cependant, certains ouvrages fournissent de très faibles débits, voire sont abandonnés pour des raisons beaucoup plus de tarissement que de qualité de l'eau.

Les valeurs de conductivités hydrauliques [$5,20 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ - $1,35 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$] et celles de transmissivités [$3,02 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ - $7,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$] trouvées dans la zone d'étude de Kimbanseke et N'Sele présentées dans le tableau 1 sont de même ordre de grandeur et donc constantes avec les moyennes généralement trouvées à Kinshasa par Lateef and al., (2010), Van Caillie (1983) et Ndembo (2009) [12, 14, 15].

Sur la période d'étude, une baisse générale du niveau piézométrique est observée dans la zone à forte concentration de puits. En effet, les résultats de notre étude laissent présager que les forages captent les grès tendres dans la partie fissurée à nappe semi captif. En effet, comme suggéré par Haacker et al. (2015) [2], les rabattements des niveaux d'eau ne sont pas uniformes dans les aquifères, ce qui pourrait indiquer des zones plus affectées par l'exploitation excessive que d'autres (Haacker et al. 2015) [2]. Aussi, est-il indiqué de comprendre davantage le fonctionnement du système hydrogéologique de la zone étudiée notamment par le traçage isotopique par l'acquisition toujours en cours des données climatiques, hydrologiques, hydrogéologiques et hydrogéochimiques.

La modélisation du fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère de Kinshasa Est au moyen d'un modèle couplé entre les flux de surface et les flux souterrains suggèrent que les écoulements sont orientés de la zone de recharge du Sud vers le Nord ou est situé le fleuve Congo comme également montré par Mulowayi et al. (2015) [16].

Ainsi à long terme, il s'agit pour nous de réfléchir à une meilleure compréhension à l'échelle du bassin versant pour améliorer cet exercice de modélisation. Cette étude constitue la première étude hydrodynamique et de modélisation d'impact d'extraction d'eau dans les aquifères de la partie Est de Kinshasa en faisant appel à l'étude géophysique. Elle pourrait être appliquée à l'ensemble de la zone d'Etude, de même qu'à la sous-région ouest de Kinshasa ou ailleurs dans les mêmes contextes géologiques, pour apporter une contribution significative majeure à la résolution des problèmes d'approvisionnement en eau potable qui se posent avec de plus en plus d'acuité.

5. CONCLUSION

La technique adoptée tout au long de l'élaboration de ce travail a porté sur le développement d'un modèle hydrogéologique générique du secteur sous étude à partir des données géologiques des forages réalisés, de calcul des paramètres hydrodynamiques issus des pompages d'essais effectués dans neuf forages d'eau et des conditions aux limites assignées.

Nous avons orienté ce travail dans ce sens tout en essayant d'apporter un certain nombre d'éléments quant à l'impact hydrodynamique provoqué par les différentes extractions des forages d'eau et l'extension du dénoyage des pompes des aquifères exploités provoqués par ces exploitations.

Sur le plan scientifique, les forages de Bel-Air, Dic, Kikimi, Kindobo, Bahumbu, Ngamaba, Nkama, Ntwo/Ngamayo, Lokali/Sicotra apportent des nouvelles informations du point de vue géologique et hydrogéologique. En effet, les forages ont mis en évidence une succession de terrain sablo-argileux, sable kaolineux, sable grossier à granulométrie différente. Les aquifères sont localisés dans les grès tendres et dans la partie fissurée du grès d'Inkisi les classant ainsi dans le type continu.

6. REFERENCES

1. Wada Y., Beek R., Kempen C., Reckman J., Vasak S., & Bierkens M. Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters*. 2010; 37(20). <https://doi.org/10.1029/2010gl044571>
2. Haacker E., Kendall A., & Hyndman D. Water level declines in the high plain's aquifer: predevelopment to resource senescence. *Ground Water*. 2015;54(2):231-242. <https://doi.org/10.1111/gwat.12350>
3. Fishman R., Siegfried T., Raj P., Modi V., & Lall U. Over-extraction from shallow bedrock versus deep alluvial aquifers: reliability versus sustainability considerations for india's groundwater irrigation. *Water Resources Research* 2011;47(6). <https://doi.org/10.1029/2011wr010617>
4. Sharma Z., Pan Y., Gong H., Yeh P., Li X., Zhou D. et al. Subregional-scale groundwater depletion detected by grace for both shallow and deep aquifers in north china plain. *Geophysical Research Letters* 2015;42(6):1791-1799. <https://doi.org/10.1002/2014gl062498>
5. Joodaki G., Wahr J., & Swenson S. Estimating the human contribution to groundwater depletion in the middle east, from grace data, land surface models, and well observations. *Water Resources Research*. 2014;50(3):2679-2692. <https://doi.org/10.1002/2013wr014633>
6. Sharma Y., Gupta M., Ravanani M., Mehra I., Singh L., Kumar M. et al. Groundwater modelling of jamwa ramgarh using visual modflow flex. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science* 2024;1327(1):012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1327/1/012029>
7. Ahmad Z., Ashraf A., & Hafeez M. Appraisal of groundwater flow simulation in the sub- himalayan watershed of pakistan. 2016. <https://doi.org/10.5772/63324>

8. Calderwood A., Pauloo R., Yoder A., & Fogg G. Low-cost, open-source wireless sensor network for real-time, scalable groundwater monitoring. *Water*. 2020;12(4):1066. <https://doi.org/10.3390/w12041066>
9. Gleeson T., Cuthbert M., Ferguson G., & Perrone D. Global groundwater sustainability, resources, and systems in the anthropocene. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2020;48(1):431-463. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055251>
10. Retshedisitswe T. and Saheed A. Aquifer risk management using swot analysis: strategies for groundwater conservation and demand management. 2024. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4623134/v1>
11. Kruseman G.P., de Ridder N.A. and Verweij J.M. Analysis and evaluation of pumping test data. Second edition, IILRI, (2001) publication 47, 2000, 379p.
12. Lateef A.S.A., Fernandez-Alonso M., Tack L. and Delvaux D. Geological constraints on urban sustainability: Kinshasa City, Democratic Republic of Congo. 2010. *Environmental Geosciences*, v. 17, no. 1 (March 2010), pp. 17–35
13. CRGM-MRAC. Carte géologique de Kinshasa au 1/50.000. Royal Museum for Central Africa, (2013); BE-RMCA-EARTHS 014458
14. Van Caille, X., Hydrogéologie et Erosion dans la Région de Kinshasa. 1983 : Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, 554 p.
15. Ndembo L.J. Apport des outils hydrogéochimiques et isotopiques à la Gestion de l'aquifère du Mont- Amba, Thèse de doctorat. 2009 : Thèse de doctorat, Université d'Avignon et Université de Kinshasa, 203p.
16. Mulowayi M.C., Augustina A., Joel N., and Mbudi C.N.U.D. Modeling groundwater flow under chaotic urbanization constraints in Kinshasa Capital Region (D. R. Congo). *Physics and chemistry of the earth* 2021; volume 124, part 1, 102985



How to cite this article: **Clément N'zau Umba-di-Mbudi, Merge Dezen Kobotayeye**. ETUDES HYDRODYNAMIQUE ET MODELISATION DE L'IMPACT D'EXTRACTION D'EAU DES AQUIFERES DANS LES COMMUNES DE KIMBANSEKE ET N'SELE A KINSHASA (RD CONGO). *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2025; 20(6): 39-50. DOI: 10.5281/zenodo.15609766

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>