

Impact De L'urbanisation Sur La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Souterraines : Cas De La Commune De Djougou Au Nord-Ouest Du Bénin

[Impact Of Urbanization On The Physico-Chemical Quality Of Groundwater: Case Of The Commune Of Djougou In Northwestern Benin]

Abdoul Habirou ALIDOU¹, Charles Cômplan HOUNTON², ³Imorou OUOROU BARRE FOUSSENI³

¹Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA),

Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi, 01BP: 526 Cotonou(Bénin)

²Laboratoire des Géosciences de l'Environnement et Cartographie (LaGeCa)

Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA-Chaire UNESCO-UAC) 072 BP 50
Cotonou (Bénin),

³Laboratoire d'hydraulique et de Modélisation Environnementale (HydroModE-Lab) Université de Parakou (Bénin)



Résumé—Les populations de la commune de Djougou utilisent les puits et les forages pour avoir accès aux eaux souterraines. Cependant, aucun contrôle n'est apporté à ces eaux, ce qui fait qu'elles sont souvent de qualité douteuse. L'objectif de ce travail est d'apprécier l'impact de l'urbanisation sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la commune de Djougou. Pour cela, les données démographiques, les données physico-chimiques des eaux de puits et forages de Djougou et les images satellitaires de 2005 et de 2015 ont été utilisées. Grâce aux images satellitaires, les cartes d'occupation du sol de la commune de Djougou ont été réalisées. Ces cartes ont prouvé que de 2005 à 2015 Djougou a connu une extension de 2,78 % de la superficie occupée par les habitats. De plus, les graphes d'évolution temporelle des paramètres physico-chimiques ont révélé que les eaux souterraines des trois arrondissements de Djougou ont connu en 2017 une augmentation de leur conductivité électrique, de leurs concentrations en chlorures et surtout en nitrates.

Mots clés — eaux souterraines, impact, qualité physico-chimique, urbanisation

Abstract—The populations of the commune of Djougou use wells and boreholes to have access to groundwater. However, no control is provided to these waters, so they are often of dubious quality. The general objective of this work is to appreciate the impact of urbanization on the physicochemical quality of groundwater of Djougou. The demographic data, physicochemical data of wells and boreholes and satellites images of 2005 and 2015 were used. With the satellite images, land use maps of Djougou have been produced. These maps showed that from 2005 to 2015 the commune of Djougou experienced an increase of 2,78 % of the area occupied by the habitats. What is more, temporal evolution graphs of physicochemical parameters showed that the groundwater of most urbanized districts of Djougou have experienced in 2017 an increase of their electric conductivity and their chloride and nitrate concentration.

Keywords—groundwater, impact, physicochemical quality, urbanization.

I. INTRODUCTION

La principale ville et le chef-lieu du département de la Donga est la commune de Djougou. Elle est alimentée en eau par le barrage situé à la sortie sud de la ville, exploité par la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB). Actuellement, outre ce barrage, quelques forages ont été réalisés dans le socle à Bariénoù, Alpha-Kpara et Nangatchouri afin de palier le problème de pénurie d'eau en période d'étiage lorsque le barrage s'assèche.

De plus l'alimentation en eau des zones rurales de la commune est assurée par des forages et des puits à grand diamètre. L'eau de ces puits est souvent de qualité douteuse puisque les puits à grand diamètre captent la nappe phréatique. Cette nappe est sous la menace de la pollution liée aux rejets de déchets liquides et solides dans un contexte de croissance démographique et d'urbanisation effrénée de la commune de Djougou.

Il est alors important d'étudier les sources de dégradation de la qualité des eaux souterraines dans la commune de Djougou afin d'apporter des solutions ou les prévenir. L'objectif de cette étude est d'évaluer les impacts de l'urbanisation sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines dans la commune de Djougou.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Milieu d'étude

La commune de Djougou s'étend sur une superficie de 3.966 km² et est localisée suivant les coordonnées géographiques 09°41' et 10°00' latitude Nord, et 01°39'et 2°12' longitude Est et une altitude moyenne de 421 m. Elle fait partie des quatre communes qui composent le département de la Donga au Nord du Bénin. Elle est subdivisée en douze (12) arrondissements que sont : Djougou 1, Djougou 2, Djougou 3, Barei, Bariénoù, Belléfoungou, Bougou, Kolokondé, Onklou, Partago, Pélébina et Sérrou (PDC 3 Djougou, 2017). La figure 1 présente la situation géographique de la commune de Djougou.

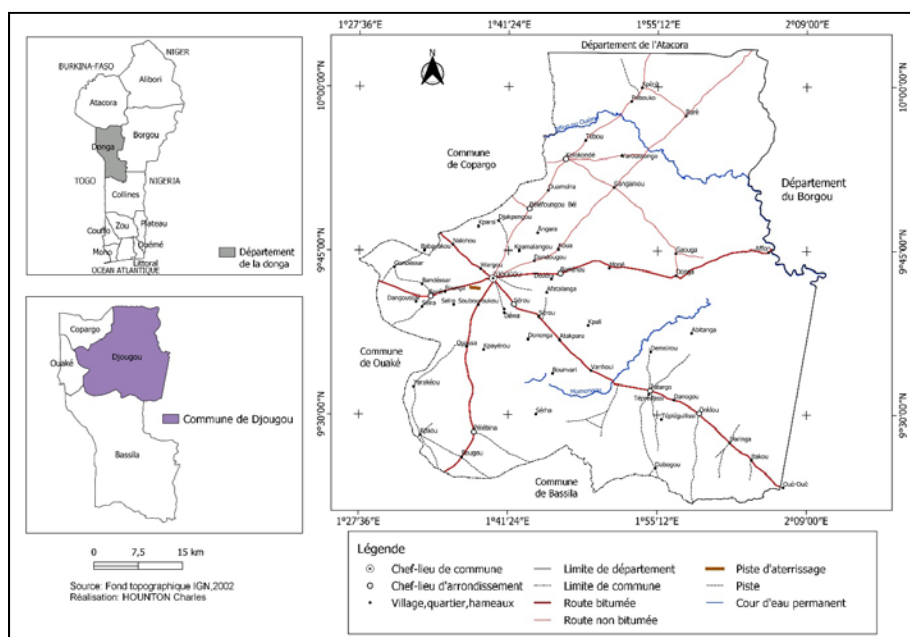


Figure 1 : Situations géographique et administration de la commune de Djougou

2.2. Données, matériel

2.2.1. Données

- Les données démographiques collectées dans les rapports du Recensement Général de la Population et de l'Habitation (génération 3 et génération 4) et dans les cahiers de village du département de la Donga (INSAE, 2003 et 2015). Elles portent sur l'évolution de la population de la commune de Djougou de 2002 à 2013.

- Les scènes (path = 192, row = 053) d'images satellitaires du 24 octobre 2005 et du 15 décembre 2015 issues du satellite Landsat et ayant pour résolution spatiale 30 m x 30 m
- Les données sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la commune de Djougou fournies par le Service Qualité des Eaux de la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau).

2.2.2. MATERIEL UTILISE

- Un GPS Garmin pour la prise des coordonnées ;
- Des bouteilles plastiques de 0,5L pour le prélèvement des eaux souterraines ;
- Une glacière à 3°C, pour maintenir la température ;
- Un conductimètre Cond 3210 WTW, pour la conductibilité de l'eau ;
- Un pHmètre 2110 WTW, pour la mesure du pH ;
- Un spectrophotomètre HACH LANGE de marque DR2800 qui a permis de déterminer les mesures spectrométriques.
- La verrerie de laboratoire utilisée pour des expériences ou des procédures à petite échelle.

2.3. Méthode d'étude

2.3.1. Echantillonnage des eaux pour l'analyse chimique

L'échantillonnage a été fait dans 36 puits et forages de la commune à raison de 20 forages et de 16 puits. Les forages ont été privilégiés puis les puits dans les secteurs où les forages ne sont pas fonctionnels. La figure 2 illustre les localités échantillonnées.

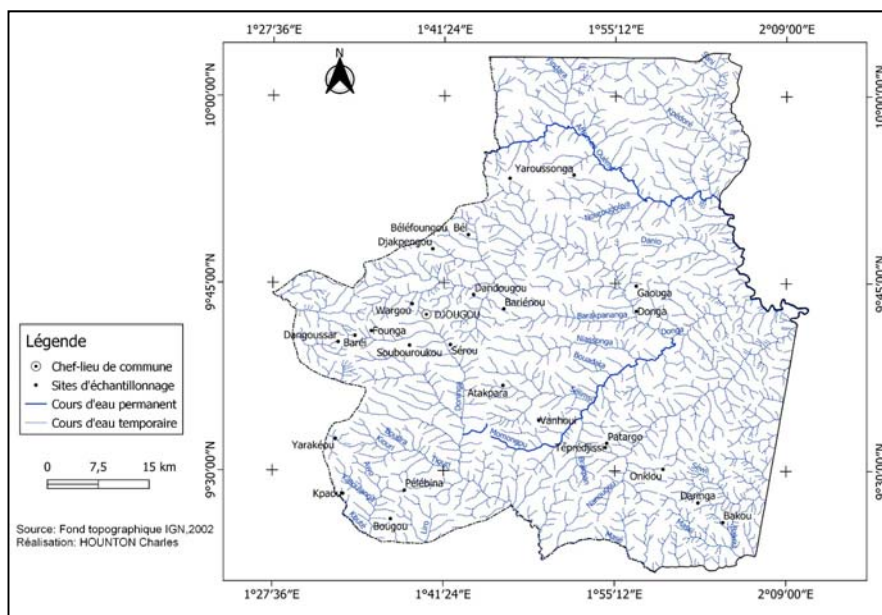


Figure 2 : Localisation des sites échantillonnés

2.3.2. Traitement des données démographiques

Avec les données de population de 2002 et 2013, l'effectif de la population de chaque arrondissement en 2005, 2010 et 2015 a été estimé (figure 3). Cette estimation a été faite en utilisant la méthode rationnelle qui constitue la méthode la plus utilisée pour les projections dont la formule [1] est : $P_n = P_o \cdot (1+t)^n$

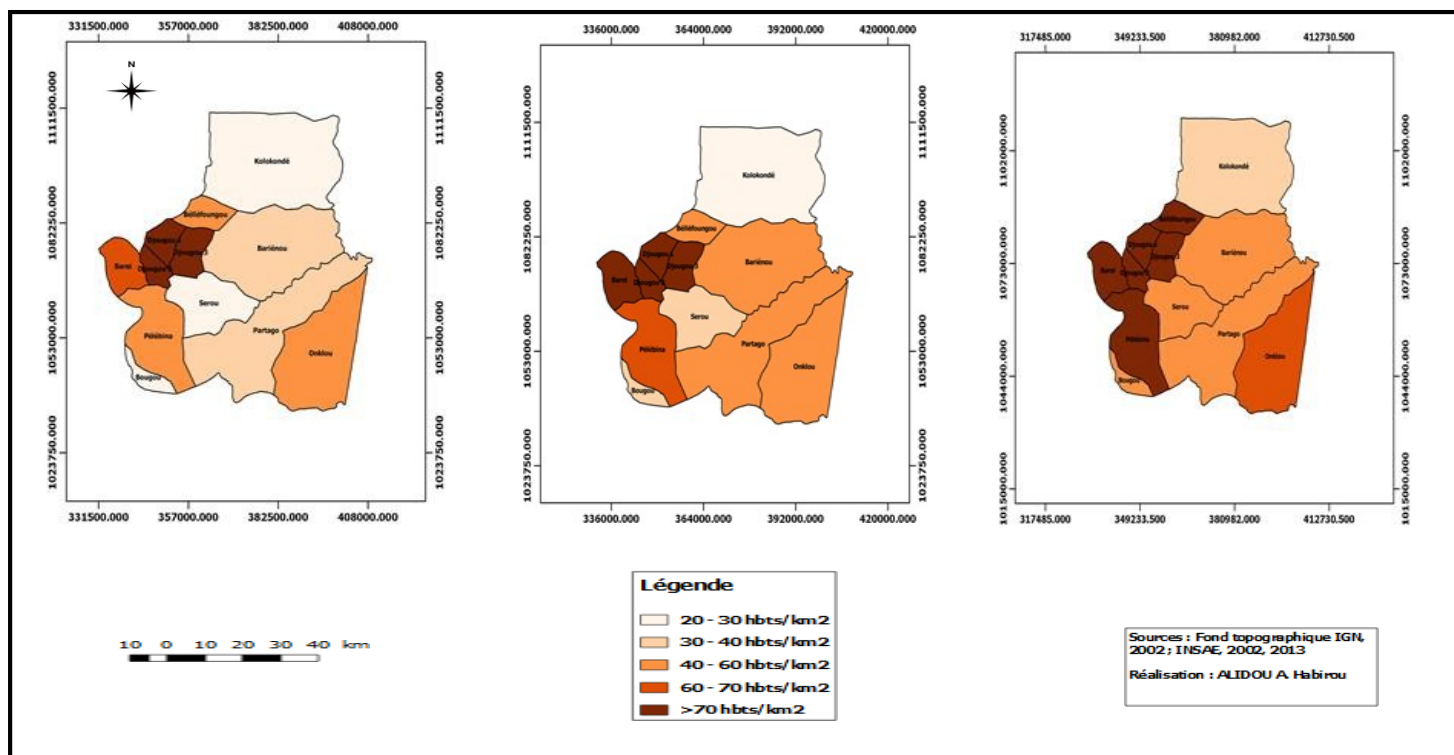


Figure 3 : Evolution De La Densité De Population Des Arrondissements De Djougou

2.3.3. Traitement des images satellitaires

Les images ont été traitées avec le logiciel ENVI 5.1. Ce traitement a été fait en huit étapes :

- Création de métadonnées
- Création d'un indice NDVI
- Composition colorée des bandes
- Classification de l'image
- Identification et fusion des classes
- Filtrage des images
- Validation de la classification des images
- Mise en page cartographique

III. RÉSULTATS

3.1. Etat des lieux de la qualité physico-chimique des eaux souterraines

3.1.1. Température et pH

La température varie de 25°C à 30,5°C pour ce qui est des forages et de 27,6°C à 30,1°C pour ce qui est des puits à grand diamètre. Ces valeurs de température sont équivalentes à celle de l'atmosphère ambiante, ce qui témoigne de la très grande ouverture de la nappe donc de sa vulnérabilité à la pollution venant de la surface.

L'analyse des eaux souterraines de la commune de Djougou a dévoilé que le pH varie de 6,45 à 7,8 pour les forages et de 6,2 à 7,8 pour les puits. Ces eaux sont légèrement acides à neutres.

3.1.2. Conductivité électrique

A Djougou, la valeur la plus élevée de conductivité électrique relevée dans un puits est de 2210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et la plus basse de 41,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dans les forages, la conductivité varie de 94,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 1619 $\mu\text{S}/\text{cm}$

3.1.3. Chlorures et nitrates

Dans les stations étudiées, les teneurs en nitrates ont varié entre 0,1 mg/L et 138,9 mg/L. Ces valeurs ont été enregistrées respectivement dans les puits de Foumbea et de Taifa. La concentration en nitrate la plus haute relevée dans un forage est de 63,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette valeur a été mesurée dans le forage de Yarakéou.

Les concentrations en chlorure varient de 0,2 mg/L à Kolokondé et Téprédjissi à 191,8 mg/L à Bellefougou (Figures 4 et 5).

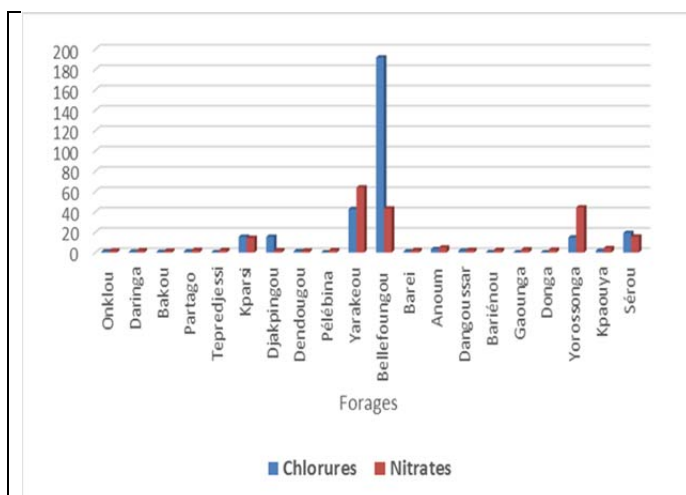


Figure 4 : Evolution spatiale de la concentration en chlorures et en nitrates des eaux de forages de DJOUGOU

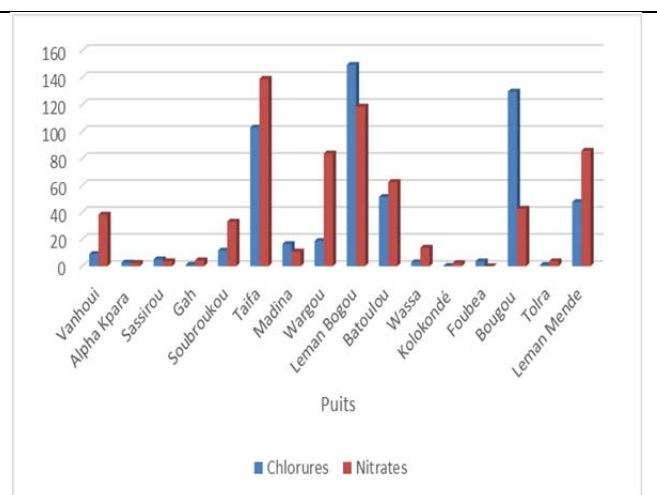


Figure 5 : Evolution spatiale de la concentration en chlorures et en nitrates des eaux de puits de Djougou

3.2. Evolution de la démographie et de l'occupation du sol

3.2.1. Evolution de la démographie

Les différentes cartes de densité de la population de Djougou présentées sur la figure 3 montrent que de 2005 à 2015, la commune de Djougou a connu une évolution de l'effectif de sa population. De l'analyse de ces cartes, il ressort que l'arrondissement de Djougou 1 présente la plus forte densité, suivi des arrondissements de Djougou 2 et Djougou 3. Les arrondissements de Kolokondé, Bariénou et Sérou présentent les plus faibles densités.

3.2.2. Evolution de l'occupation du sol

Cinq classes d'occupation des sols ont été distinguées : « eau », « forêt », « savane », « habitats/sols nus » et « cultures/jachères ».

Les figures 6A et 6B représentent les cartes d'occupation des sols de la commune de Djougou en 2005 et en 2015 respectivement.

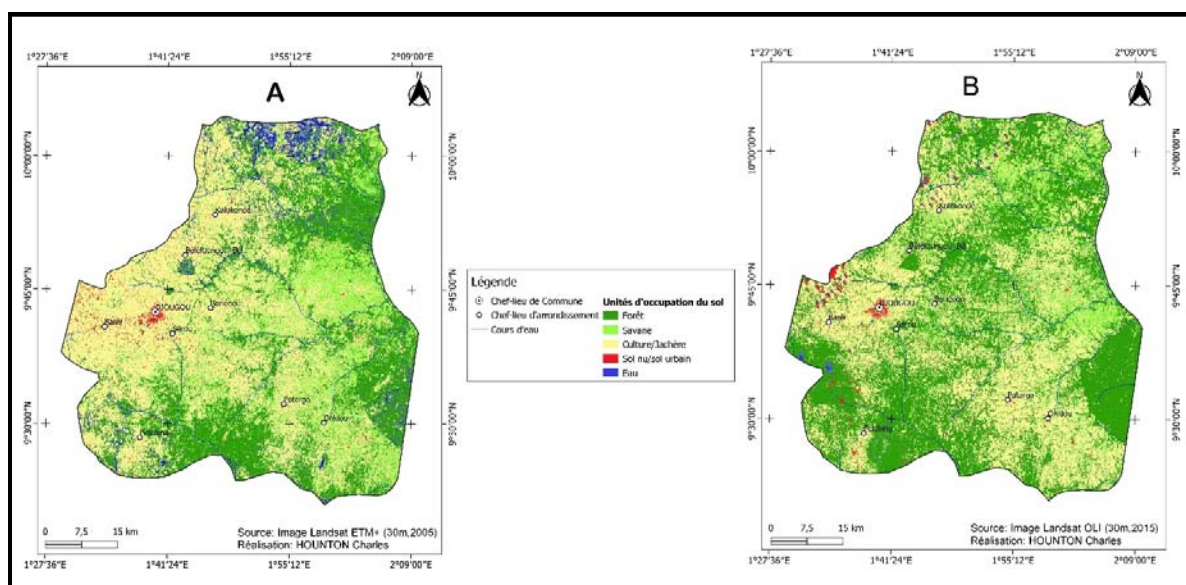


Figure 6 : Occupation du sol dans la commune de Djougou en 2005 et 2015

La figure 7 présente l'évolution des superficies des différentes classes d'occupation du sol dans la commune de Djougou de 2005 à 2015.

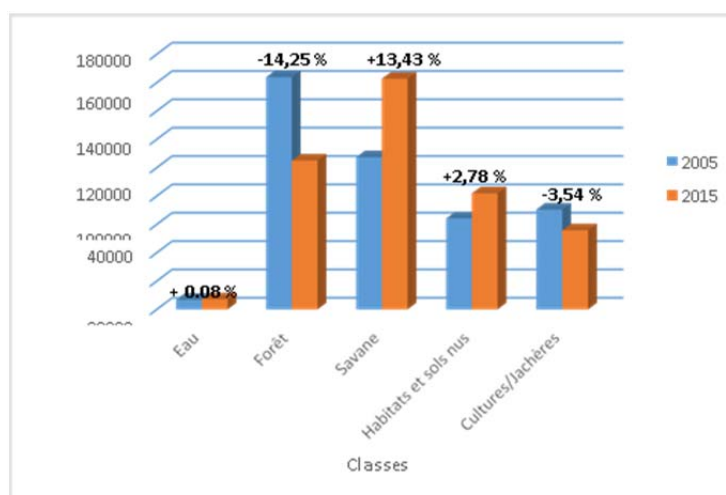


Figure 7 : Evolution des superficies des classes d'occupation du sol entre 2005 et 2015

De l'analyse de ces figures, les classes « Forêt » et « cultures/jachères » ont vu leurs superficies diminuer respectivement de 14,25% et 3,54%. Quant aux classes « Savane » et « Habitats et sols nus », leurs superficies ont respectivement augmenté de 13,43% et 2,78%. L'urbanisation peut être définie comme une dégradation de la forêt au profit des habitats. La commune de Djougou a donc bel et bien connu une évolution par rapport à son urbanisation.

3.3. Impact de la démographie et de l'occupation des sols sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines de Djougou

Pour évaluer l'impact de la démographie et de l'occupation des sols sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines de Djougou, des courbes d'évolution temporelle des conductivités électriques, des concentrations en chlorure et en nitrates ont été réalisées. Les années considérées dépendent des données existantes.

3.3.1. Conductivité électrique

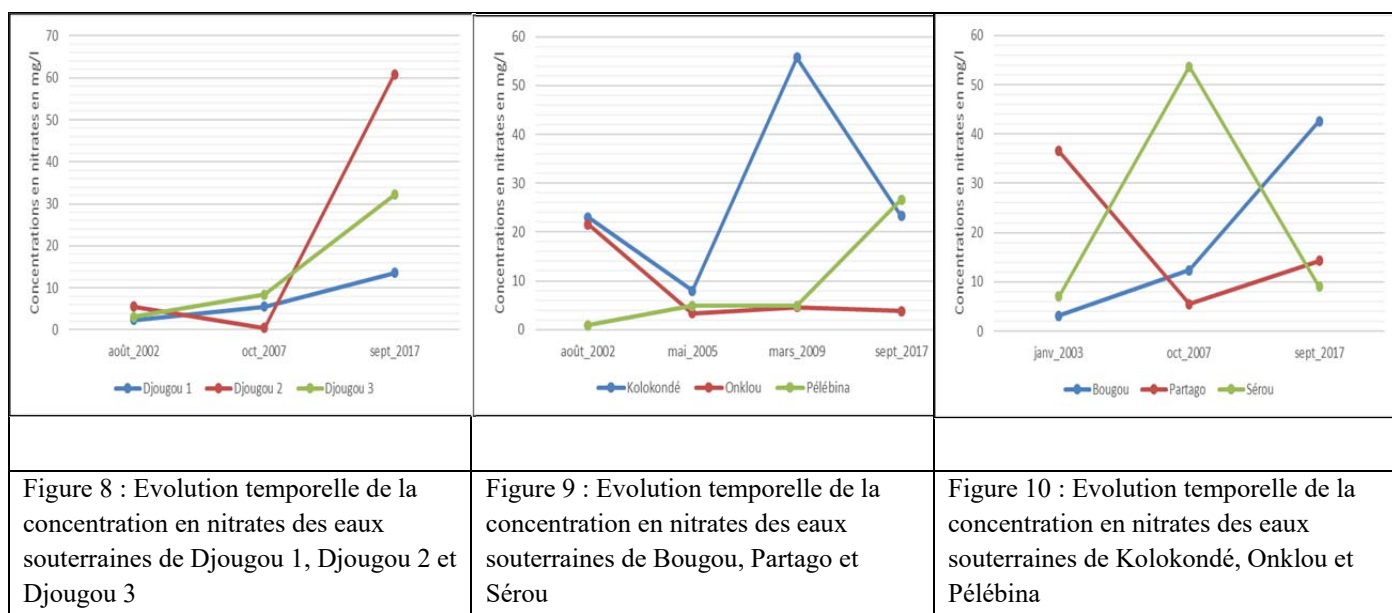
En 2017 les arrondissements de Bougou, Djougou 1, Djougou 2, Djougou 3, Kolokondé, Partago Onklou et Barei ont connu une augmentation des valeurs de conductivité électrique de leurs eaux souterraines par rapport aux années antérieures.

3.3.2. Concentration en chlorure

Cinq arrondissements de la commune de Djougou ont donc connu une augmentation de la concentration en chlorures de leurs eaux souterraines en 2017. Il s'agit des arrondissements de Bougou, de Djougou 1, de Djougou 2 et de Djougou 3 et Pélébina.

3.3.3. Concentration en nitrates

Des douze arrondissements de Djougou, six arrondissements ont connu une augmentation de leurs concentrations en nitrates. Il s'agit des arrondissements de Djougou 1, Djougou 2, Djougou 3, Bougou, Partago et Pélébina.



IV. DISCUSSION

Les chlorures sont souvent utilisés comme un indice de pollution des eaux souterraines en zone de socle (N'DIAYE et al. 2014). D'après nos analyses, la concentration en chlorure varie dans les forages de 0,1 à 191,8 mg/l et dans les puits de 0,2 à 149,2 mg/l. Les concentrations les plus élevées ont été enregistrées dans les eaux souterraines des localités de Belléfoungou et de Leman Bogou où les conductivités électriques étaient aussi les plus élevées.

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables. L'origine peut être naturelle (percolation à travers des terrains salés, infiltration des eaux marines dans les nappes phréatiques et profondes) ou anthropique (N'DIAYE et al. 2014). Dans le cas d'une origine anthropique, il s'agit d'une pollution. Djougou étant une commune située à des centaines de kilomètre de la côte, on peut conclure que la présence de chlorures dans ses eaux souterraines n'est pas due à une infiltration marine mais plutôt d'origine anthropique.

De même, les chlorures, les nitrates sont utilisés comme indice de pollution des eaux. En effet, on admet généralement que la présence de nitrates dans une eau à des teneurs supérieures à 10 mg/l traduit un apport anthropique (KAMAGATE, 2006). Or, sur les eaux des 20 forages échantillonnés, celles de cinq ont des concentrations en nitrates supérieures à 10 mg/l et sur les eaux des 16 puits, celles de dix ont des teneurs en nitrates supérieures à 10 mg/l. Cela confirme que les réservoirs d'altérites sont plus vulnérables que les réservoirs de socle. Des concentrations atteignant des centaines de milligrammes par litre ont été même enregistrées dans certains puits, c'est dire le degré de pollution des eaux de puits de certaines localités de Djougou est élevé.

Par ailleurs, les cartes d'occupation du sol de la commune ont montré qu'il y a eu une expansion des habitats dans la commune. De même, les cartes de densité de population ont montré que les arrondissements urbains : Djougou 1, Djougou 2 et Djougou 3 suivis des arrondissements de Barei, Pélébina et Onklou ont connu une augmentation nette de densité de leur population entre 2005 et 2015. En plus de l'arrondissement de Kolokondé, les eaux souterraines des arrondissements ci-dessus érudés ont connu une augmentation des valeurs d'au moins un des paramètres étudiés (conductivité électrique, concentration en chlorures, concentration en nitrates) en 2017.

Mieux, les eaux souterraines des trois arrondissements urbains qui sont les plus denses et les plus urbanisés sont les seules dont les valeurs des trois paramètres étudiés ont augmenté en même temps. Aussi, faut-il noter que les arrondissements de Bougou, Partago et de Pélébina sont situés aux abords de la RNIE 3 et celui de Partago sur la RNIE 6. Cela favorise l'urbanisation et l'expansion démographique. Ces arrondissements à l'instar des arrondissements urbains ont connu une augmentation des valeurs de concentrations en nitrates et en chlorures de leurs eaux souterraines. Il existe donc une relation entre l'évolution de l'effectif de la population et la qualité des eaux souterraines.

En fait, plus la population augmente, plus la qualité des eaux souterraines se dégrade. L'urbanisation étant une résultante de la démographie, il ressort alors qu'elle a un impact négatif sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines.

V. CONCLUSION

Le travail entrepris dans le cadre de cette recherche est une contribution à l'étude de la qualité des eaux souterraines de la commune de Djougou. Comme toutes les communes du Bénin, Djougou connaît une augmentation de l'effectif de sa population au fil des années, c'est bien ce qu'a prouvé les différentes cartes de densités de population. Cet état de chose entraîne une augmentation de la superficie occupée par les habitats au détriment des forêts, donc une urbanisation. Cette étude a en outre prouvé que les eaux souterraines des arrondissements à forte densité, par ricochet à forte urbanisation ont connu en 2017 une augmentation de leur conductivité électrique et de leur concentration en chlorure et en nitrate. Les nitrates, véritables indicateurs de pollution connaissent une augmentation assez fulgurante de leur concentration dans les eaux souterraines de la commune de Djougou et si rien n'est fait, d'ici quelques années, tous les arrondissements de la commune seront touchés par ce phénomène.

REFERENCES

- [1] BIAOU C. F. (2006), monographie de la commune de Djougou. Ministère de la décentralisation et de la Gouvernance local, de l'Administration de la République du Bénin. Rapport de travail. 48p.
- [2] GROEN J., SCHUCHMANN J. B. et GEIRNAERT W., (1988). The occurrence of high nitrate concentration in groundwater in villages in Northwestern Burkina Faso. *J Afr Earth Sci*, 7(7) p999-1009.
- [3] INSAE (2003), Troisième recensement général de la population et de l'habitation, Synthèse des résultats. Rapport de travail. 50p.
- [4] INSAE (2015), Que retenir des effectifs de populations en 2013. Rapport de travail. 33p.
- [5] KAMAGATE B. (2006), Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant de milieu tropical de socle au Bénin : Bassin versant de la Donga (haute vallée de l'Ouémé). Thèse de doctorat. Université de Montpellier II. 320p.
- [6] NOUAYTI N., KHATTACH D., HILALI M., (2015) *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4) p1068- 1081.
- [7] TANIGNON ADINGNI Y. (2011), problématique de l'urbanisation et de protection des ressources en eau souterraine : cas de la commune d'Abomey-Calavi. Mémoire de master. Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement. 52 p.