

Pollution des eaux de surface par les éléments nutritifs et lien avec l'urbanisation à l'échelle des bassins versants de l'Okpara à Parakou (Bénin)

[Surface water pollution by nutrients and link with urbanization at the scale of watersheds from Okpara in Parakou (Benin)]

Maurille P. S. LANMANDJEKPOGNI¹, François de Paule CODO¹, and Benjamin K. YAO²

¹Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (LSTE), Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi UAC-BENIN / 01BP :1636 RP Cotonou, Benin

²Laboratoire des procédés Industriels, de Synthèses et de l'Environnement et Des Energies Nouvelles (LAPISEEN), Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INPHB), Côte d'Ivoire

Copyright © 2019 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: In developing countries, cities urbanization usually lack planning processes and quantitative consideration of impacts on aquatic receptors. This work evaluates by defining a nutrient quality index, the link of urban increasing with surface water resources quality. Four basins of different levels of urbanization in the Parakou city in West Africa served as a framework for the study. For headwater basins, which are essentially urban extension area (Ganré in the North and Dama in the South), the results indicate that the surface waters are of a very close and fairly good quality with a minimal index of 0.95 in the rainy season and 0.88 in the dry season. The basins of the old urban core, Kokouro and the wonka are at 0.84 in the rainy season and 0.89 in the dry season at the minimum. The quality index deviations obtained are not more than ± 0.08 . Good consistency is obtained between our quality index with the organic pollution index of Leclercque and 72.49% variance of the dependency link between urbanization and surface water pollution can be explained by the quality indices and subdivision indices. These results indicate the need for better management of urban sprawl for the preservation of the quality of surface water resources.

KEYWORDS: water resources, urbanization, Parakou, index, sanitation.

RESUME: Dans les pays en développement, les processus d'urbanisation des villes manquent généralement de planification d'une part et d'une prise en compte quantitative des impacts sur les récepteurs aquatiques d'autre part. Le présent travail évalue en définissant un indice de qualité sur les éléments nutritifs, l'évolution de la pression urbaine sur les ressources en eau de surface. Quatre bassins de différents niveaux d'urbanisation dans la ville de Parakou en Afrique de l'Ouest ont servi de cadre à l'étude. Pour les bassins de tête, qui sont essentiellement des zones d'extension urbaine (le Ganré au Nord et le Dama au Sud), les résultats indiquent que les eaux de surface sont d'une qualité très proche et assez bonne avec un indice minimal de 0.95 en saison pluvieuse et 0.88 en saison sèche. Les bassins du noyau urbain ancien, de Kokouro et du wonka sont à 0.84 en saison de pluie et 0.89 en saison sèche au minima. Les écarts d'indice de qualité obtenus sont d'au plus ± 0.08 . Une bonne cohérence est obtenue avec l'indice de pollution organique de Leclercque et 72.49% de variance du lien de dépendance entre l'urbanisation et la pollution des eaux de surface peut être expliquée par les indices de qualité et les indices de lotissement. Ces résultats indiquent la nécessité d'une meilleure gestion du phénomène d'étalement urbain pour la préservation de la qualité des ressources en eau de surface.

MOTS-CLEFS: ressources en eau, urbanisation, Parakou, indice, assainissement.

1 INTRODUCTION

La préservation de la qualité des ressources en eau au profit des générations futures est un enjeu capital au XXI^e siècle au regard de la gravité des risques annoncés au sujet de l'approvisionnement en eau potable pour les années à venir [1]. A cet effet, la connaissance des mécanismes d'altération et les effets des modes de gestion des déchets sur les écosystèmes constituent des préoccupations scientifiques majeures depuis plusieurs décennies. Un retour d'expérience sur les modes de

gestion des eaux usées et des systèmes d'assainissement, indique une forte influence de la croissance démographique sur les rejets polluants des masses d'eau, et ceci, jusqu'en 2050, particulièrement en Afrique de l'Ouest [2].

Généralement les travaux de caractérisation physico-chimique font usage d'outils et indicateurs normatifs classiques pour le suivi de la pollution des eaux usées sur les bassins versants anthropisés [3]–[7]; Cependant, les besoins de prédiction, repositionnent la modélisation comme un outils plus intégrateur des paramètres de l'aide à la décision. L'intérêt de ces travaux est alors porté vers des analyses de vulnérabilité des eaux à la pollution notamment en milieu urbain [8]–[10]. Cette nouvelle orientation scientifique nécessite des indicateurs intégrés qui tiennent compte d'une part, des relations entre les sources, les facteurs et les impacts de la pollution des ressources en eau et de la dynamique de croissance des régions d'autre part.

Les eaux de surface sont particulièrement difficiles à explorer compte tenue de la complexité de l'action de l'urbain. Quelques travaux ont utilisé avec succès, des indicateurs adimensionnés tels que les indices de pollution qui facilitent une analyse comparative lors de l'évaluation des effets de l'urbanisation sur la qualité de la ressource en eau, notamment en vue de garantir la disponibilité à long terme de l'eau potable à l'échelle d'une ville ou d'un bassin versant [11], [12] [13].

Le présent travail propose une approche de calcul d'un indice d'usure des eaux usées urbaines sur le bassin de l'Okpara au Bénin, afin d'en ressortir à partir des indicateurs de croissance, les relations avec les niveaux de développement urbain. Ainsi, ce travail se positionne comme un outil d'orientation de la politique de planification spatiale aux fins d'une meilleure gestion des ressources en eau de surface.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin de l'Okpara à Parakou, est logé au Nord-Est du Bénin en Afrique de l'Ouest. Sur l'aire urbaine et ses environs immédiats, le bassin est subdivisé en quatre sous bassins topographiques : le Ganré au Nord vers la commune de N'Dali ; le Wonka et le Kokouro au centre et le Dama au Sud. D'une superficie totale de 235km², le bassin de l'Okpara est le siège d'un climat tropical humide de type soudano- guinéen avec une seule grande saison de pluie (mai à Octobre) et une seule saison sèche (Novembre à Avril). Les deux tiers de la ville de Parakou sont installés sur ce bassin dont le versant draine les eaux pluviales vers le fleuve Okpara à l'Est avec une circulation transitoire par les zones marécageuses de la ville.

La population de Parakou est estimée à environ 254254 habitants avec un taux d'accroissement passé de 3,86% entre 1972 et 1992, à 3,76% entre 1992 et 2002 et dernièrement 4,81% entre 2002 et 2013 [14]. Au vue des estimations initiales du RGPH₃, les projections à l'horizon 2017 sur la taille de la population, ont été déjà atteintes en 2013; ce qui traduit une célérité du développement humain et des activités socio-économiques dans la ville.

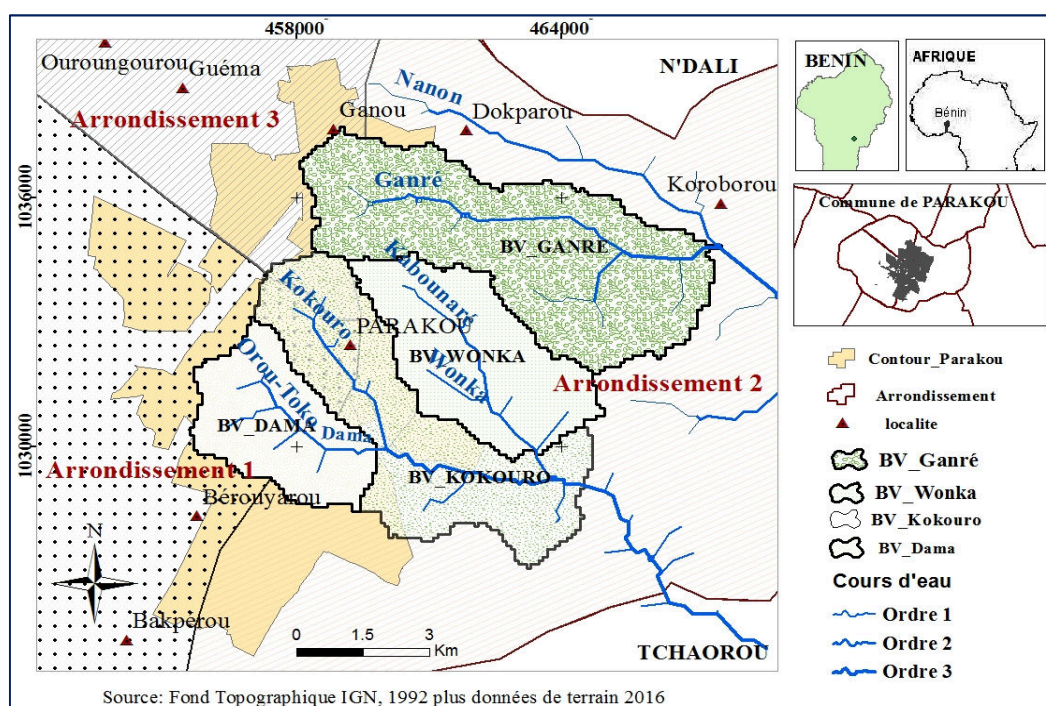


Fig. 1. Situation géographique et hydrographique de la zone d'étude

2.2 LES POLLUANTS PHYSICO-CHIMIQUES ET L'INDICE DE QUALITÉ $I_{d\xi}^t$

Les données utilisées ont été obtenues à l'issue de cinq campagnes de prélèvements et d'analyse d'eau usées prélevées *in situ* dans les courants superficiels du réseau de drainage de la ville de Parakou. Ces prélèvements ont été effectués sur dix (10) sites entre (Mars et octobre 2016) avec une fréquence mensuelle [15]. Le choix de cette période vise à optimiser la représentativité des quantités de rejets urbains d'une part, et l'influence du ruissellement pluvial d'autre part. Les prélèvements ont été effectués selon les recommandations normatives [16]. Au total sept paramètres sont mesurés entre le terrain (*in situ*) et le laboratoire en suivant les normes AFNOR 2001. Il s'agit de : le potentiel d'hydrogène pH, la température en degré Celsius °C, la conductivité EC en $\mu\text{s}/\text{cm}$, le potentiel redox Eh en mV, les matières en suspensions, les nitrates et les nitrites, puis les phosphates et les demandes biologique et chimique en oxygène, DBO₅, DCO.

La valeur mesurée d'un paramètre i à une date t , représente un état de qualité (dégradation – pollution) au regard de la valeur fixée par la norme d'analyse choisie. La variable d'analyse, que nous désignons dans cet article par le terme « indice de qualité » est une transformation adimensionnelle de la proportion mesurée du paramètre i , calculée par l'équation n°1.

$$I_d^{it} = \frac{C_N - C_{it}}{C_N} \quad \text{Eq.1.}$$

Avec : I_d^{it} l'indice de qualité des eaux usées par le paramètre i à la date t .

C_{it} : La concentration indiquant la présence du paramètre i mesurée à la date t .

C_N : La concentration du seuil admissible du paramètre i fixée selon la norme d'évaluation OMS. (Norme choisie).

La normalisation des indices partiels de qualité est faite par la méthode floue, des min et max, afin de contraindre l'indice dans la gamme de valeurs est entre 0 et 1.

$$I_{d,0-1}^{it} = \frac{I_d^{it} - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \quad \text{Eq.2.}$$

Pour un nombre p de paramètres recherchés sur n sites de prélèvements effectués sur un même sous bassin ζ , à une période climatique homogène (Saison), l'usure des eaux de ce sous bassin sous l'effet conjoint des p paramètres est calculée par la moyenne du troisième quartile des indices partiels normalisés de qualité.

2.3 CARACTÉRISATION DE LA CROISSANCE URBAINE

La ville de Parakou ne dispose pas d'une base de données formelle sur les descripteurs de développement urbain. Pour ce travail, à partir des données de l'INSAE, (2002 et 2014), des plans topographiques de voirie (RFU 2004 et 2014) et du modèle numérique de terrain MNT extraite du fichier SRTM30 de l'USGS, nous avons évalué avec les méthodes de traitement géostatistique sur ArcGIS10.3, trois indicateurs caractéristiques du niveau de développement urbain dans la ville de Parakou.

Tableau 1. Les indicateurs géo spatiaux de la croissance urbaine

N°	Indicateurs	Formules	Références
1.	Indice de lotissement	$I_{LOT} = S_{urb} / S_b$	Auteurs
2.	Indice de drainage urbain	$I_{DUR} = \sum L_{iur} / S_{urb}$	Auteurs

Avec :

I_{LOT} : Indice de lotissement;

S_b : Surface du bassin à l'exutoire le plus proche ;

I_{DUR} : Indice de drainage urbain ;

L_{iu} : Le linéaire total du réseau hydrographique de l'aire affectée au lotissement.

S_{urb} : La surface lotie du bassin.

2.3.1 ANALYSE STATISTIQUE

La description par les *box plots* est utilisée conjointement avec le test de Kruskal Wallis au seuil $\alpha = 0.05$ sur les concentrations mesurées des polluants afin de faire une comparaison à l'échelle des paramètres, de la qualité des eaux dans le réseau de drainage sur chaque bassin. Ensuite, il a été évalué la corrélation entre les niveaux d'usure des eaux usées rejetées et les indicateurs de développement urbain des bassins. Le niveau de convergence avec l'indice de pollution organique de Leclercq, Maquet en 1987, a servi à la validation de l'indice de qualité $I_{a,0-1}^u$. Le traitement statistique des données est fait sur SPSS 21 et les graphes sont construits sur Excel 2013.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 COMPARAISON STATISTIQUE PAR PARAMÈTRE

Le tableau 2 ci-après présente les valeurs normatives selon l'Organisation Mondiale de la Santé et le Ministère de la Santé Publique au Bénin. Nous avons porté notre choix sur ces normes pour l'évaluation de l'indice de qualité et la pollution des eaux.

Tableau 2. Les valeurs de références des normes OMS et MSP.

Les paramètres	Norme OMS	Norme Bénin (MSP)
Nitrates (mg/L)	1	50
Nitrites (mg/L)	1	0.5
Phosphates (mg/L)	2	1
MES (mg/L)	20	35
pH	6.5 - 8.5	6 - 9
T°C	30	+1°
DCO	90	125
DBO	30	25

Les box plots que montrent les figures n°1 à n°12, indiquent les concentrations caractéristiques sur chaque bassin, de la variation des paramètres mesurés en saison de pluie et en saison sèche.

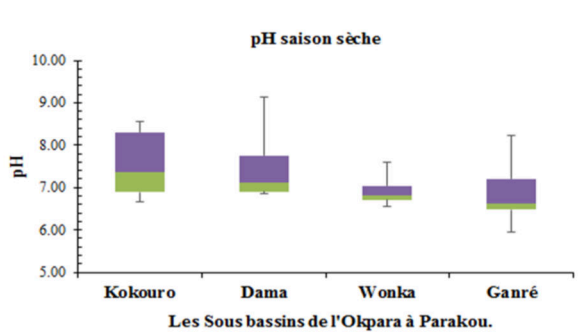


Figure a: Variations moyennes du potentiel d'hydrogène en saison sèche.

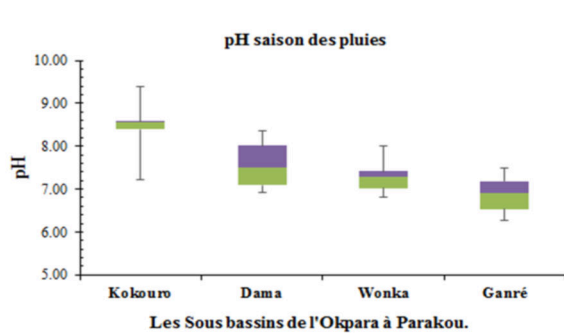


Figure b: Variations moyennes du potentiel d'hydrogène en saison de pluie.

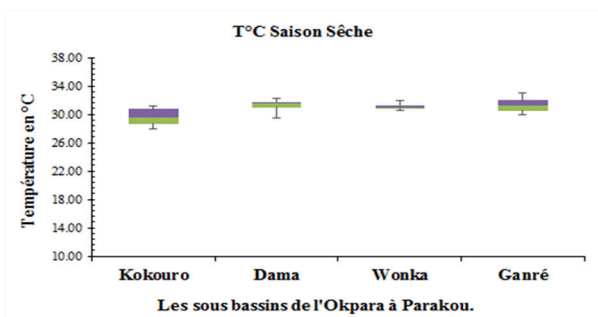


Figure c: Variations moyennes de la Température en saison sèche.

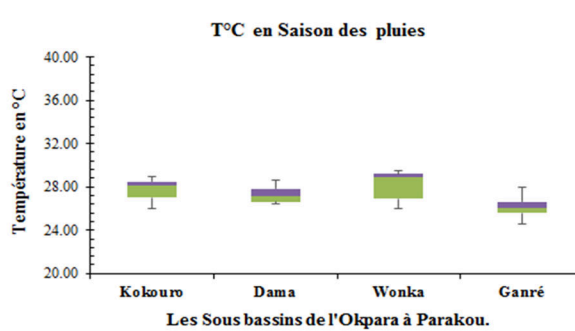


Figure d: Variations moyennes de la Température en saison de pluie.

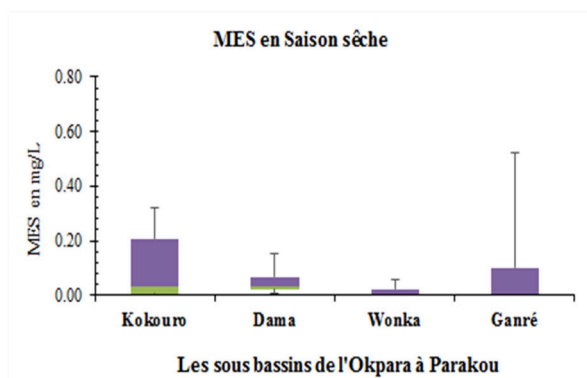


Figure e: Variations moyennes MES en saison sèche.

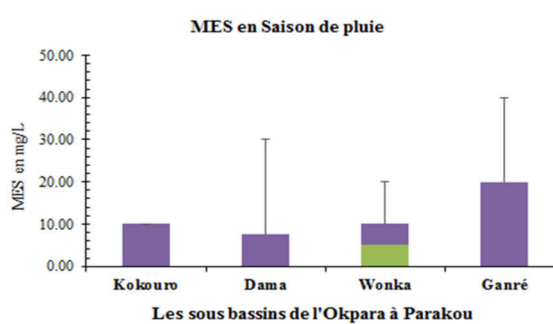


Figure f: Variations moyennes MES en saison de pluie.

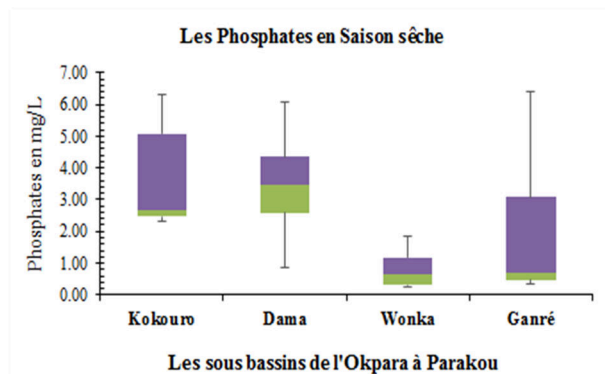


Figure g: Variations moyennes des Phosphates en saison sèche.

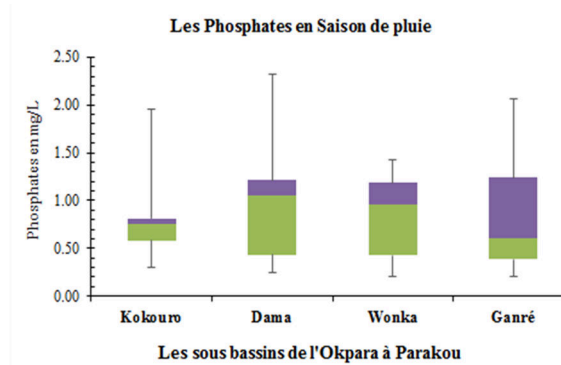


Figure h: Variations moyennes des Phosphates en saison des pluies.

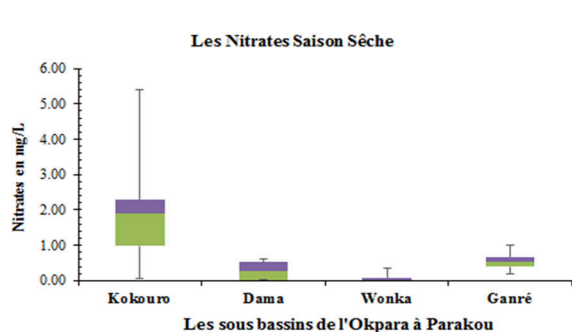


Figure i: Variations moyennes des Nitrates en saison sèche.

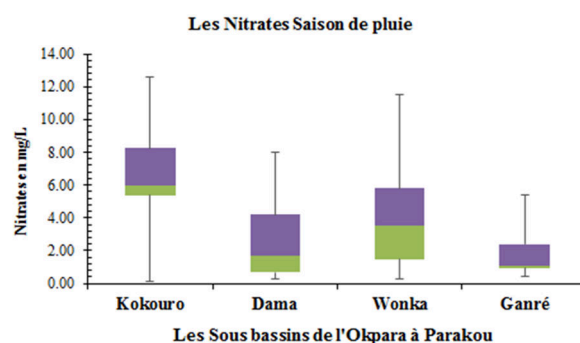


Figure j: Variations moyennes des Nitrates en saison des pluies.

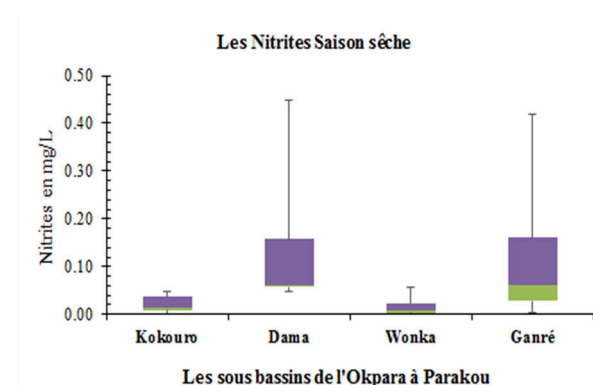


Figure k: Variations moyennes des Nitrites en saison sèche.

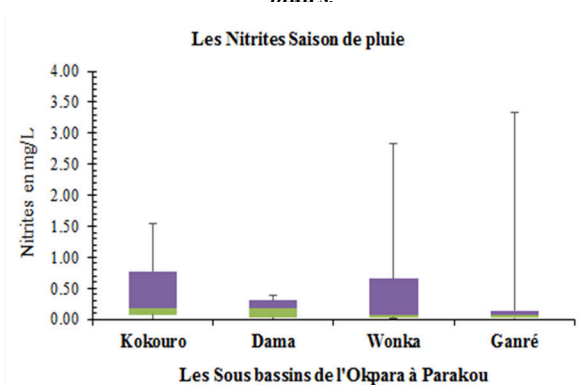


Figure l: Variations moyennes des Nitrites en saison des pluies.

Fig. 2. Variation moyenne des paramètres mesurés

Tableau 3. Test statistique de normalité et de comparaison des bassins. (*p-value).

BV	Paramètres	Shapiro-Wilk (Normalité à $\alpha = 0.05$)				Kruskal-Wallis
		Kokouro	Dama	Wonka	Ganré	
BV de l' Okpara	Nitra (mg/L)	0.829 0.009*	0.511 0.000*	0.763 0.005*	0.681 0.000*	5.005 0.171*
	Nitri (mg/L)	0.626 0.000*	0.864 0.086*	0.512 0.000*	0.393 0.000*	1.061 0.782*
	Phosp (mg/L)	0.771 0.002*	0.859 0.074*	0.901 0.227*	0.694 0.000*	4.884 0.181*
	MES (g/L)	0.514 0.000*	0.503 0.000*	0.651 0.000*	0.527 0.000*	0.241 0.971*

A partir des box plot, on observe que la basicité des eaux décroît du bassin du Kokouro vers le Ganré avec des températures variant généralement entre 30°C en saison sèche et 28°C en saison pluvieuse (Figures n°2). En particulier sur le Kokouro et le Dama, les eaux sont plus basiques en saison pluvieuse qu'en saison sèche et ne respectent ni les normes OMS, ni les normes MSP. Ce caractère basique des eaux peut s'expliquer par l'utilisation selon des niveaux variables des produits d'entretien ménager généralement sodiques. Le Kokouro et le Dama constituent à eux deux la zone ancienne d'habitation avec un indice moyen de lotissement plus élevé et une forte densité de population. Cependant, les eaux du Ganré ne présentent pas un changement sensible entre les saisons. Les eaux superficielles sur les bassins de la Wonka et du Ganré, respectivement zones d'installation récente et zone d'extension respectent les normes de l'OMS et du MSP quant au pH et à la température. Les valeurs des matières en suspensions respectent les normes OMS et MSP sur tous les bassins et en toute saison. L'augmentation des concentrations en MES en saison pluvieuse par rapport aux valeurs obtenues en saison sèche indique l'influence du revêtement des voies sur le transport solide. En effet dans la ville de Parakou, la voirie est constituée essentiellement de pistes non revêtues, sujettes au phénomène d'érosion par les eaux de ruissellement sur des versants à pente parfois très forte.

L'action successive des pluies a réduit la battance des sols non revêtus et mis à nu des surfaces très consolidées des pistes en terres. Les taux de MES sur le Ganré avoisinent en saison pluvieuse la norme MSP compte tenue des grandes superficies de terre cultivable encore disponible en périphérie et de l'importance des débits d'écoulement. L'effet du transport solide et s'observe sur tous les bassins au regard des valeurs quasiment nulle des saisons sèches contre des taux allant de 10mg/l à 20mg/l en saison pluvieuse. Les conditions d'oxydation sont améliorées avec l'avènement des pluies. Les nitrates sont plus présents sur tous les bassins et cela marque surtout un apport important d'oxygène avec le lessivage des sols pendant les pluies. Ce constat s'oppose à celui fait à propos des phosphates pour lesquels l'hypothèse d'une grande dissolubilité peut être émise sur l'ensemble des bassins. En effet les faibles concentrations en phosphates en saison pluvieuse indiquent une influence certaine des eaux de ruissellement et de l'imperméabilisation des sols.

Une comparaison des bassins est effectuée par le test de Kruskal-Wallis. La condition d'application du test est vérifiée avec le test de Shapiro-Wilk sur les quatre paramètres. Les variations se traduisent par des distributions anormales avec le test de Shapiro-Wilk, à un seuil $\alpha = 5\%$ sur le Kokouro et le Ganré pour les nitrates, nitrites, phosphates et MES. Sauf pour les nitrites ($p = 0.086$) et les phosphates ($p = 0.074$) sur le Dama et les phosphates ($p = 0.227$) sur le Wonka, aucun des paramètres ne présente une distribution normale. Le critère de Shapiro-Wilk étant ainsi observé pour plus de 80% des groupes, nous avons poursuivi la comparaison avec le test de Kruskal-Wallis [17]. Il est observé que les différences relevées des concentrations relevées avec l'analyse des box plot, n'est pas statistiquement significative au seuil de 5%. En particulier, pour les nitrites et les matières en suspension, les bassins se valent tous avec des seuils de $p = 0.78$ et $p = 0.97$ respectivement. Les nitrates et les MES ne portent pas l'information de la différence des effets de l'urbanisation entre les bassins. Cependant, les statistiques de $H = 5.005$ et $H = 4.884$, indiquent respectivement pour les nitrates et les phosphates des différences probables entre les bassins. Bien que la significativité de cette différence ne soit pas forte à 5%, ces deux paramètres peuvent être déterminants dans la recherche d'une quelconque influence de l'urbanisation sur la qualité des eaux de surface.

3.2 EVALUATION PAR L'INDICE DE QUALITÉ

Le tableau 4 ci-dessous présente les intervalles de classification des paramètres pris en compte dans le calcul de l'indice de pollution de Leclercque.

Tableau 4. Seuil de classement des paramètres par classes selon leclercque, Maquet, 1987

	Classe	5	4	3	2	1
Paramètres	Unité					
DBO ₅	mg_O ₂ /L	< 2	2-5	5.1-10	10.1-15	> 15
Ammonium	mnong/L	< 0.1	0.1-0.9	2.4	2.5-6	> 6
Phosphates	µg_P/L	< 15	16-75	76-250	251-900	> 900
Nitrites	µg_N/L	< 5	6-10	11-50	51-150	> 150

Les figures 3 et 4 montrent respectivement la variation de l'indice de qualité obtenu par l'approche floue $I_{d,0-1}^i$ et l'indice de pollution organique IPO de Leclercque. Sur la figure 3, on observe que sur le Ganré et le Dama, qui sont les deux bassins d'extrémité (Nord et Sud), la qualité des eaux de surface est encore assez conservée par rapport à la norme OMS en saison de pluies avec de faibles écarts de l'indice (± 0.04 à ± 0.07). L'IPO indique dans le même temps, un niveau de pollution repéré entre les classes 3 et 4 de Leclercque. Les eaux de surface sur les bassins de Kokouro et du Wonka sont à des seuils de pollution plus avancés en comparaison aux bassins de tête avec des écarts types inférieurs à ± 0.08 . Cette observation converge avec l'IPO pour lequel les deux bassins se positionnent entre les classes 3 et 2 indicatrices d'une pollution forte. Ainsi, les bassins des zones d'extension (Ganré et Dama) présentent des eaux de plus faible niveau de pollution que les bassins de Kokouro et Wonka qui sont des bassins centraux à la ville de Parakou. Ces résultats peuvent s'expliquer avec les indicateurs d'urbanisation. En effet la figure 5, montre des indices caractéristiques de l'installation urbaine sur les différents bassins de l'Okpara à Parakou. Le Dama a une étendue urbaine et un accès au réseau de drainage en 2004, plus grand que celle du Ganré. Le non disponibilité des espaces explique le ralentissement du taux de drainage en 2014 par rapport au Ganré, qui a montré un rythme d'occupation plus grand que son peuplement. Ces mêmes indicateurs au niveau du Kokouro et du Wonka sont très voisins sauf pour le drainage en 2004 qui présente une légère hausse exprimant ainsi, l'existence à cette date de plus d'opportunités d'étalement contrairement au Kokouro où des conditions géomorphologiques peuvent faire handicap. Les indicateurs des figures 3, 4 et 5 montrent une relation entre la qualité des eaux drainées en surface dans les bassins versants et leur niveau d'urbanisation.

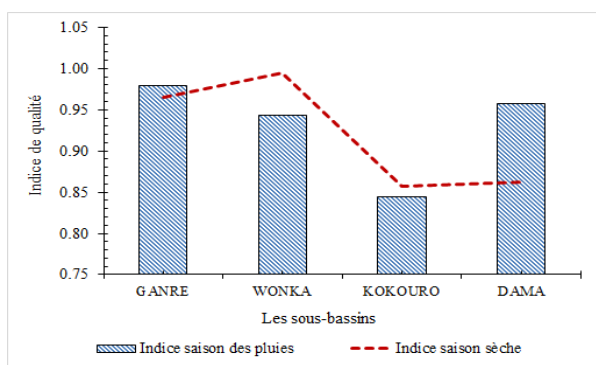


Figure a.

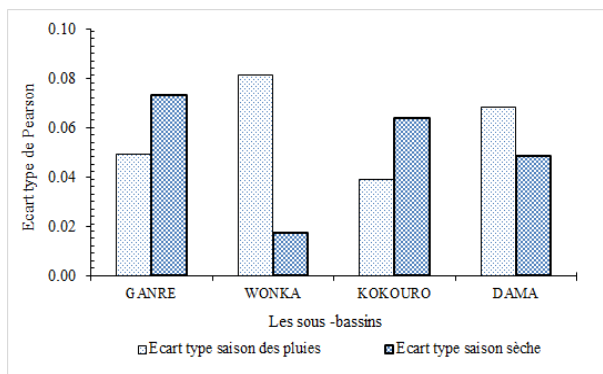


Figure b.

Fig. 3. (a) Variation de l'indice de qualité des eaux selon les bassins versants ; (b) Ecart des indices de qualité des eaux.

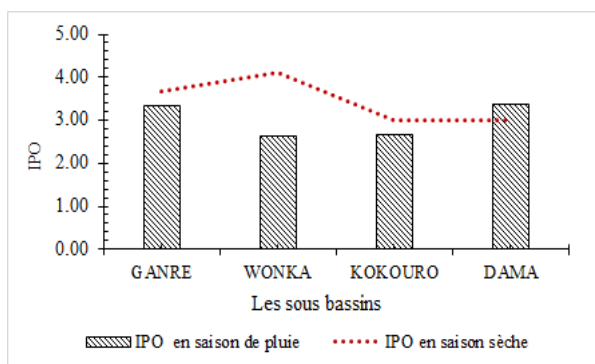


Figure a.

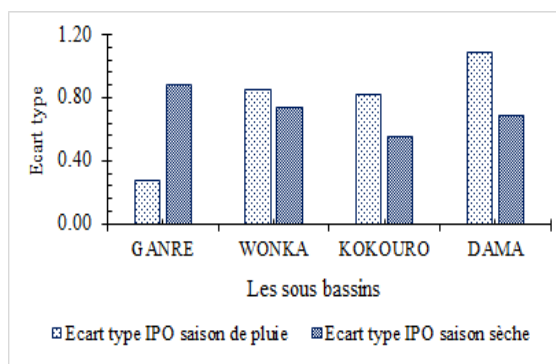


Figure b.

Fig. 4. (a) Variation de l'indice de qualité de Leclercq selon les bassins ; (b) Ecart type de l'indice leclercq.

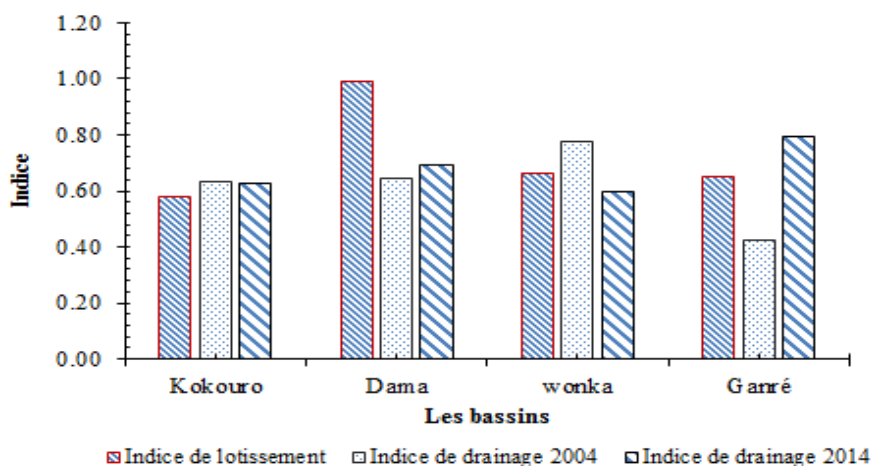


Fig. 5. Variation des indices caractéristiques de l'urbanisation selon les bassins versants.

La pertinence des indicateurs utilisés pour l'évaluation de la relation entre le niveau de pollution et le niveau d'urbanisation est évaluée à partir d'une projection sur les plans factoriels dans une analyse des composantes. La figure 6 et le tableau 5, présentent deux axes factoriels définis pour 74.39% de variance totale expliquée. Le faible drainage en 2004 et l'indice en période sèche sont positivement corrélés à l'axe 2 avec près de 35% de variance expliquée contre 39.41% de variance expliquée par le drainage en 2014, le lotissement et l'indice en saison de pluie. Les corrélations sont fortes entre les drainages (92.3%), moyenne entre le lotissement et la qualité (43.2% et 49.8%) et faible entre indices de qualité (32.6%).

Tableau 5. Variance totale exprimée

Composant e	Valeurs propres initiales			Extraction Sommes des carrés des facteurs retenus			Somme des carrés des facteurs retenus pour la rotation		
	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés	Total	% de la variance	% cumulés
	12,341	46,82	46,82	2,34	46,82	46,82	1,97	39,41	39,41
	21,378	27,56	74,39	1,38	27,56	74,39	1,75	34,99	74,39

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

Tableau 6. Matrice de corrélation

Indices		<i>I_lot</i>	<i>I_dr_04</i>	<i>I_dr_14</i>	<i>I_pluie</i>	<i>I_sèche</i>
Corrélation	<i>I_lot</i>	1,00				
	<i>I_dr_04</i>	0,107	1,00			
	<i>I_dr_14</i>	0,174	-0,923*	1,00		
	<i>I_pluie</i>	0,498*	-0,218	0,567*	1,00	
	<i>I_sèche</i>	-0,432*	0,373*	-0,259	0,326*	1,00

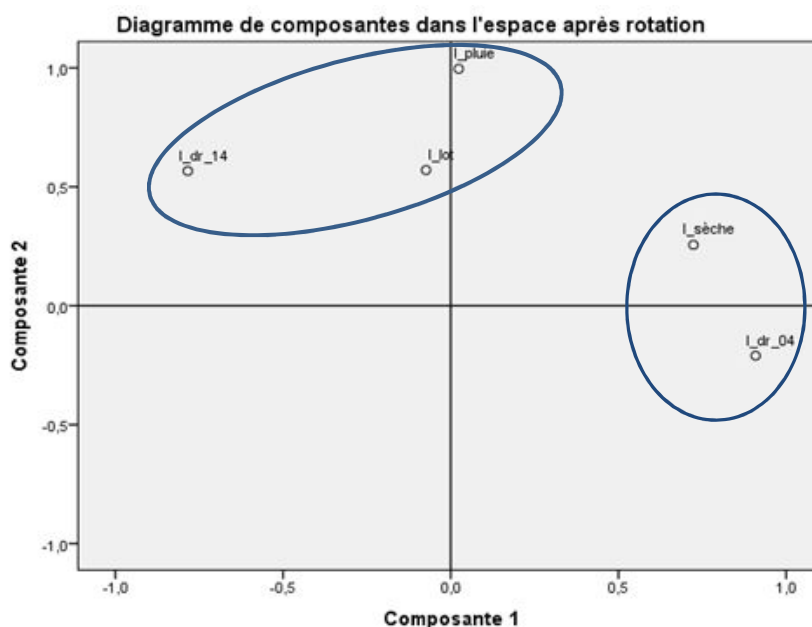


Fig. 6. Projection des indices sur un plan factoriel.

Ces résultats indiquent pour un seuil de signification de 5%, que le lotissement et le drainage urbain à Parakou, influencent pour environ 50% la qualité des eaux de ruissellement, d'une part et que le ruissellement influence la qualité des eaux à environ 56.70% en 2014. Cet effet est cependant très faible dans les années 2004 (37.3% et 21.8%). L'influence du développement urbain se ressent sur la qualité des eaux usées de façon croissante au fil des années. Selon [18], le développement urbain apporte une contribution importante à la pression anthropique sur les ressources en eau et nécessite de ce fait, une régulation de l'urbanisme. Les villes sont rendues responsables diversement de l'état des ressources en eau aussi bien en surface que dans le souterrain surtout pour des polluants relevant des activités industrielles et agricoles ; C'est pour cela que l'alerte précoce sur les problèmes internationaux d'approvisionnement en eau du XXI^e siècle n'épargne surtout pas les villes Africaines et Asiatiques, pressenties très tôt, pour les taux de croissance les plus élevés à l'horizon 2050 [19], [2], [20]. Les indicateurs utilisés dans ce travail ne sont pas exhaustifs. Ils apportent néanmoins avec une approche simplifiée, des résultats similaires avec d'autres indices tels que : l'indice poisson [12], et d'autres indices biologiques [21].

4 CONCLUSION

La croissance démographique et particulièrement la croissance urbaine, demeurera un élément de caractérisation fondamentale des pays en développement à l'horizon 2050. Mais, une question principale est l'arrimage entre les implications éco hydrologiques de la croissance urbaine et les moyens d'adaptation pour la préservation des écosystèmes aquatiques. Le

présent travail, qui se positionne comme une première réflexion dans le contexte de la ville de Parakou, a tenté de proposer une évaluation quantitative simple de l'influence de la croissance urbaine dans le maintien qualitatif de l'eau. On retiendra que sur le bassin de l'Okpara à Parakou, la qualité des ressources en eau de surface présente de façon significative, une corrélation négative avec la croissance urbaine. Les effets de cette influence s'observent plus sur les bassins de la Wonka et du Kokouro en zone d'installation ancienne de la ville, plutôt que sur les bassins du Ganré et de la Dama, qui sont en grande partie des zones d'installation récente et d'extension du tissu urbain. Ainsi, compte tenu de sa position géographique, et de certains traits physiographiques, le bassin du Ganré constitue dans le long terme une menace potentielle à la qualité des eaux de la retenue de Kpassa. Au regard de ce constat, le travail permettra d'aider les services techniques municipaux dans les choix d'orientation de la planification, et de l'aménagement du territoire de la ville de Parakou dans le cadre d'une gestion prévisionnelle des ressources en eau de surface.

REFERENCES

- [1] H. Mae-Wan, « C'est l'approvisionnement du monde en eau qui est menacé », *ISIS EAU*, p. 8, 2012.
- [2] OCDE, « Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 LES CONSÉQUENCES DE L'INACTION », in *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050 LES CONSÉQUENCES DE L'INACTION*, OCDE., 2012, p. 79.
- [3] A. Brahim et A. Shafi, « Ecotoxicological study of Oued Za and its tributary Oued Tizeghrane (Lower Moulouya, Eastern Morocco) », *J Mater Surround. Sci*, vol. 5, n° 5, p. 1671-1682, 2014.
- [4] J. M. Dorioz, « Mechanisms and control of agricultural diffuse pollution: The case of phosphorus and its general application. », *Biotechnol Agron Soc*, vol. 17, n° S1, p. 277-291, 2013.
- [5] F. Dovonou, M. Aina, M. Boukari, et A. Alassane, « Pollution physico-chimique et bactériologique d'un écosystème aquatique et ses risques écotoxicologiques : cas du lac Nokoue au Sud Benin », *Int J Biol Chem Sci*, vol. 5, n° 4, p. 1590-1602, 2011.
- [6] Y. Gnagne *et al.*, « Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes du réseau d'égout de la ville d'Abidjan », *Int J Biol Chem Sci*, vol. 9, n° 2, p. 1082-1093, 2015.
- [7] K. M. Yao, K. B. Yao, A. Troukourey, et M. B. Soro, « Assessment of organic pollution in tropical lagoon bay like lake (Tiagba Baye lagoon, Ebrié Lagoon, Ivory Coast). », *Eur. J. Sci. Resaerch*, vol. 122, n° 3, p. 299-31, mai 2014.
- [8] A. E. L. Eba *et al.*, « Évaluation De La Vulnerabilite A La Pollution D'une Eau De Surface Destinee A L'adduction D'eau Potable D'une Metropole. Cas De La Lagune Aghein A Abidjan, (Sud De La Cote D'ivoire) », *Eur. Sci. J.*, vol. 12, n° 36, p. 306-326, 2016.
- [9] Projet FFEM, « Optimiser la production de biens et services par les écosystèmes boisés méditerranéens dans un contexte de changements globaux », Solsona, Espagne, Composante 1 « Analyses de vulnérabilité dans les cinq sites pilotes en Algérie, au Liban, au Maroc, en Tunisie et en Turquie Composante 1, 2013.
- [10] M. Sinan, R. Maslouhi, et M. Razack, « Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech », in *TS11 Management of Water Resources*, Marrakech, Morocco, 2003.
- [11] W. Chaoui, H. Bousnobra, et K. Chaoui, « Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchegouf », *Nat. Technol.*, p. 33-40, 2012.
- [12] T. Oberdorff, D. Pont, B. Hygueny, J. Belliard, R. Berrebi, et J. P. Porcher, « Adaptation et évaluation d'un indice poisson (FBI) pour l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau Français. », *Bull Fr Pêche Piscic*, vol. 365, n° 366, p. 405-433, 2002.
- [13] S. Soulama, A. Kadeba, B. M. I. Nacoulma, S. Traoré, Y. Bachmann, et A. Thiombiano, « Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique », *J. Appl. Biosci.*, vol. 87, p. 8047– 8064, 2015.
- [14] INSAE, « National Institute of Statistics Applied and the Economy », 2014.
- [15] F. Birgand *et al.*, « A quantitative approach the role of the sampling frequency on the uncertainties associated with the calculation of flow and mean concentrations of nitrates in Brittany », *Engineering*, vol. 59, n° 60, p. 23-37, 2009.
- [16] J. Rodier, B. Legube, N. Merlet, et *et coll.*, « L'analyse de l'eau.9e édition entièrement mise à jour », Dunod, Paris, 2009.
- [17] Graham Hole Research, « Skills Kruskal-Wallis handout. » version 1.0, page 1, 2011.
- [18] E. Renaud-Hellier, « Gestions de l'eau et du développement urbain dans l'espace dijonnais : quels modes d'intégration territoriale ? », *Rev. Géographique Est*, vol. 46, n° 1-2, 2006.
- [19] M. Serghini, « L'eau, élément conflictuel », *NEW MEDIT N*, n° 3, p. 60-63, 2004.
- [20] UNESCO, « EAU, ASSAINISSEMENT ET DÉVELOPPEMENT DURABLE Les enjeux dans les villes des pays en développement », Veolia Water, 52, rue d'Anjou, 75384 Paris Cedex 08, France., Le programme Solidarité-Eau, 2004.
- [21] G. Van Overmeiren, « Comparaison de la potentialité et de la vulnérabilité de plusieurs sources dans le bassin du Viroin », Université Libre de Bruxelles, Belgique, Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES, 2008.