



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Evaluation de la pollution des ressources en eau du bassin versant de Didagou (Dapaong, Nord-Togo)

P. KPIAGOU^{1*}, S. TCHEGUENI¹, G. BOGUIDO³, D. SAMA¹, K. GNANDI¹,
T. TCHACONDO² et A. I. GLITHO⁴

¹Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets de la Faculté Des Sciences (GTVD-FDS/UL),
01 BP 1515, Lomé, Togo.

²Laboratoire des Sciences Biomédicales, Alimentaires et de Santé Environnementale de l'École Supérieure des
Techniques Biologiques et Alimentaires de l'Université de Lomé (LaSBASE-ESTBA/UL),
01 BP 1515, Lomé, Togo.

³Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement (LHAE-FDS/UL), 01 BP 1515, Lomé, Togo.

⁴Laboratoire d'Entomologie Appliquée (LEA-FDS/UL), 01 BP 1515, Lomé, Togo.

*Corresponding author; E-mail: kpiagoupamane@gmail.com

Received: 24-09-2021

Accepted: 08-01-2022

Published: 28-02-2022

RESUME

Ces dernières années, le bassin versant de Didagou à Dapaong a été transformé en dépotoir par les populations, occasionnant la pollution du barrage de Kalsom qui approvisionne la ville en eau potable. Cette étude avait pour objectif de faire l'état des lieux de la pollution des ressources en eau du bassin. L'évaluation de la qualité physicochimique et bactériologique a été réalisée sur 26 échantillons en janvier et octobre 2019 en utilisant les méthodes normalisées de l'Association Française de Normalisation. Les résultats ont révélé qu'en saison pluvieuse, tous les échantillons analysés ont été pollués par au moins un germe indicateur de pollution fécale. Les puits traditionnels étaient plus contaminés (92% de non-conformité). Dans la même saison les concentrations en nitrates, nitrites et phosphores étaient à la hausse. Aussi, les facteurs de concentration des éléments traces métalliques par rapport à la valeur guide OMS dans les échantillons prélevés allaient de 1,6 à 2,5 pour le Mercure ; de 1,13 à 2,3 pour le Cadmium ; de 1,18 à 6 pour le plomb et de 2,3 à 6,7 pour l'Arsenic. La qualité actuelle des ressources en eau dans le bassin de Didagou est non satisfaisante, malheureusement ces eaux sont par ignorance consommées par la population.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Bassin de Didagou, Éléments traces métalliques, Pollution, Qualité, Ressources en eau.

Assessment of the Pollution of Water Resources in the Didagou Watershed (Dapaong, Northern Togo)

ABSTRACT

In recent years, the Didagou watershed in Dapaong has been transformed into a dumping ground by the populations, causing pollution of the Kalsom dam which supplies the city with drinking water. This study aimed to take stock of the pollution of the basin's water resources. The physicochemical and bacteriological quality assessment was carried out on 26 samples in January and October 2019 using the standardized methods of the French Association for Normalization. The results revealed that during the rainy season, all the samples analyzed

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

8972-IJBSC

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i1.39>

were polluted with at least one germ indicative of faecal pollution. Traditional wells were more contaminated (92% non-compliance). In the same season, the concentrations of nitrates, nitrites, and phosphorus are on the rise. Also, the concentration factors of metallic trace elements compared to the WHO guideline value in the samples taken ranged from 1.6 to 2.5 for Mercury; from 1.53 to 2.2 for Cadmium; 2 to 6 for lead and 2.3 to 3.3 for arsenic. The current quality of water resources in the Didagou basin is unsatisfactory, unfortunately the water is consumed out of ignorance by the population.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Didagou basin, Trace metallic elements, Pollution, Quality, Water resources.

INTRODUCTION

L'eau, l'hygiène et l'assainissement sont des enjeux majeurs du XXI^{ème} siècle. Les chiffres des Nations Unis révèlent que près de 900 millions de personnes n'ont pas accès à un point d'eau amélioré, dont plus de 300 millions en Afrique subsaharienne (OMS, 2011). Si les objectifs en matière d'eau potable sont en voie d'être atteints, il demeure de profondes inégalités entre les régions, les zones urbaines et rurales, ainsi qu'une incertitude majeure sur la qualité de l'eau effectivement consommée. A l'échelle mondiale, 6 à 8 millions de personnes meurent chaque année des suites de catastrophes et de maladies liées à l'eau et 2,5 milliards n'ont pas accès à des services d'assainissement adéquats (OMS, 2013). De même, 1,8 million de personnes, dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement, meurent de maladies diarrhéiques (y compris du choléra) chaque année et, 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant ou à une hygiène défectueuse (Hugonin, 2011). Dans le but d'atteindre l'Objectif 6 du Développement Durable (ODD6), le Togo s'est fixé des cibles qui sont entre autres : Faire passer la proportion de la population utilisant des services d'alimentation en eau potable à moins 30 minutes de 62% en 2015 à 100% en 2030, d'ici 2030, mettre fin à la défécation à l'air libre (52% (66% en milieu rural) à 0%) (FPHN, 2018 ; <https://Vert-Togo.com>). En effet, la ville de Dapaong (ville secondaire) souffre de nombreux problèmes dont les majeurs sont les problèmes d'assainissement et d'approvisionnement en eau potable. Les ressources en eau permettant l'alimentation en eau de la ville de Dapaong proviennent

essentiellement de la retenue d'eau du barrage de Kalsom. Le mal est que les habitants des deux villages, Kalsom et Djabargou (zone périurbaine) qui ont fournis leur terre pour la réalisation dudit barrage ne profitent pas de l'eau potable améliorée issue de cette infrastructure. Ainsi, les populations de Kalsom et Djabargou utilisent l'eau des puits (traditionnels et améliorés) et forages qui sont sujetes à la pollution par les déchets des quartiers bénéficiaires de l'eau potable issue du barrage via le marigot de Didagou. Faute de systèmes d'assainissement adéquats, les ordures ménagères et les fèces sont lessivées et transportées en saison des pluies dans le lac du barrage. Or, compte tenu du mode de collecte et de stockage des déchets ménagers au Togo, à savoir le ramassage en vrac sans tri préalable, les déchets ménagers urbains constituent une source non négligeable d'apport en éléments traces métalliques (ETM) parmi lesquels les plus toxiques (Mercure, Cadmium et Plomb) (Topanou, 2012). A ces éléments métalliques toxiques contenus dans les déchets ménagers, s'ajoutent ceux issus des activités agropastorales (surtout le maraichage intensif en saison sèche) qui sont menées par la population dans la zone (Kanda, 2011).

Les impacts sanitaires attendus de l'amélioration du service de l'eau nécessitent une amélioration parallèle de l'assainissement, dont l'importance est très fortement liée au niveau de service et à la densité de la population. En effet, de nombreuses études ont permis de mettre en évidence la mauvaise qualité chimique et bactériologique des eaux dans les pays en développement (Kouam et al., 2013). Ainsi, l'Etat ne pouvant pas assurer l'accès à l'eau potable et à l'assainissement à tous, il est donc nécessaire d'évaluer la qualité de ces ressources afin de fournir aux décideurs

et aux gestionnaires de l'eau, des éléments de prise de décisions en faveur des populations riveraines en matière de bonne gestion et de préserver de façon durable les ressources en eau. Cette étude avait pour objectif de déterminer le degré de contamination des ressources en eau du bassin hydrographique de « Didagou », de l'eau de la TdE et d'étudier les facteurs de pollution de ces eaux.

MATERIEL ET METHODES

Zone de l'étude

La ville de Dapaong, à l'extrême nord du Togo, fait partie de la préfecture de Tône dans la région des savanes (région la plus pauvre du pays). Avec une superficie de 115 Km², elle est située à 650 Km de Lomé, la capitale du Togo, et à 300 Km de Ouagadougou, la capitale du Burkina Faso. Elle dispose d'un climat tropico-sahélien avec une longue saison sèche qui contraint fortement l'agriculture. Les températures y sont très élevées dépassant parfois 42°C et le cumul pluviométrique annuel varie entre 900 à 1200 mm (Laré, 2012).

En 2016, La population de Dapaong a été estimée à 64 800 habitants et atteindra 85.400 habitants à l'horizon 2030 (DGSCN, 2011). Cette population, bien qu'urbaine, pratique beaucoup l'agriculture. Le bassin versant de Didagou située dans la commune de tône 1, concentre les ruissellements provenant du Mont Monefiago, traverse le centre de la ville du Sud vers le Nord pour se déverser dans le barrage de Kalsom, après un transit dans le bassin de décantation situé en amont du dit barrage. Situé à 9°12'30'' de latitude Nord et 20°16' de longitude Est, le barrage de Kalsom est à 7 km au Sud-Ouest de la commune de tône 1, sur le cours d'eau Didagou. Avec un périmètre de 12 815 m, il couvre une superficie de 286,04 ha et s'étend sur à peu près 8 km. D'une capacité estimée à 10 millions de m³, à partir duquel est assuré l'approvisionnement en eau potable de Dapaong à hauteur de 500 000 m³ d'eau par an.

Echantillonnage

Treize (13) points d'échantillonnage, soit un (01) point d'eau de surface, un (01) point d'eau de robinet, deux (02) points de

forage et neuf (09) points de puits dont cinq (05) puits traditionnels et quatre (04) puits modernes ont fait l'objet de prélèvements d'eau au cours de deux saisons (saison sèche et saison pluvieuse) qui prévalent dans le bassin versant de Didagou. Ces prélèvements ont été réalisés en janvier et Octobre 2019. C'est au total vingt-six (26) échantillons qui ont été analysés pour les deux (02) campagnes. Le choix des ouvrages s'est appuyé sur des critères bien précis : accessibilité, présence ou absence des sources de pollutions aux abords immédiats, position topographique, degré d'aménagement de l'ouvrage, accord du propriétaire du puits/forage, profondeur, taux de fréquentation de l'ouvrage, présence ou absence de l'habitat autour du cours d'eau, réutilisation de l'eau du barrage dans le cadre des activités maraîchères.

Un (01) échantillon d'eau de puits traditionnel a été prélevé en amont du barrage (avant la digue Est), un (01) échantillon d'eau du barrage en aval (avant la digue Ouest) ; c'est l'eau brute qui a été soumise au traitement dans la station de traitement de la TdE pour l'approvisionnement en eau potable pour toute la population de la ville de Dapaong. Un (01) échantillon d'eau issu de ce traitement a été prélevé au robinet en ville. Les dix (10) points d'eau restants ont été choisis de façon aléatoire dans les deux villages choisis (Kalsom et Djabargou). A savoir, cinq (05) points d'eau par village : Un (01) échantillon de forage, deux (02) échantillons de puits traditionnels et deux (02) échantillons de puits améliorés construits par l'association des Jeunes et Adultes Ruraux Catholiques (JARC).

Après le prélèvement (dans des bouteilles plastiques en polyéthylène, propres, de capacité 1,5 L), les échantillons d'eau ont été conservés dans une enceinte réfrigérée (glacière) à une température ambiante d'environ 4°C puis acheminés directement et séparément aux laboratoires pour des analyses bactériologiques et physico-chimiques. Les différents lieux de prélèvements ainsi que les différents paramètres analysés et les méthodes normalisées utilisées sont repris dans les Tableaux 1, 2 et 3.

Les analyses physicochimiques ont été réalisées au Laboratoire d'Hydrologie

Appliquée et Environnement de la Faculté Des Sciences (LHAE-FDS/UL), le dosage des éléments traces métalliques a été réalisé au Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets de la Faculté Des Sciences (GTVD-FDS/UL) et les analyses bactériologiques dans le Laboratoire de Microbiologie et de Contrôle de qualité des Denrées Alimentaires de l'École Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires de l'Université de Lomé (LAMICODA-ESTBA/UL).

Analyses physicochimiques

Les paramètres physicochimiques notamment, le pH, la Conductivité électrique, les composés azotés (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻) et de phosphore (PO₄²⁻) et les ETM (Hg, Cd, Pb et As) ont été déterminés selon les méthodes normalisées indiquées dans le Tableau 2. Pour le dosage des ETM, trois (03) gouttes d'acide nitrique (HNO₃) 1% ont été ajoutées à l'eau pour dissoudre les métaux complexés.

Analyses bactériologiques

Les méthodes normalisées de routine AFNOR ont été utilisées pour la recherche et le dénombrement des germes contaminants des eaux. La méthode par incorporation dans la gélose a été utilisée pour la recherche et le dénombrement des germes totaux, les coliformes totaux, les streptocoques fécaux, et les germes anaérobies sulfitoréducteurs. *Escherichia coli* a été recherché en utilisant le milieu Brilliance™ *E. Coli* (Code CM1046, OXOID) selon les prescriptions de la fiche technique du milieu. Les autres milieux de culture étaient de Bio Rad (France).

Traitement des données

Le dépouillement, l'analyse et l'apurement des données collectées ont été à la fois manuels et informatisés. Le calcul des indicateurs, la production des tableaux et graphiques ont été faits avec le tableur Excel 2013. Le traitement des données a été fait par le logiciel XLSTAT 2021 (Analyse en composantes principales (ACP)).

Tableau 1: Lieux et coordonnées des prélèvements d'eau dans le bassin versant de Didagou.

N°	Code	Désignation	Lieu de prélèvement	Coordonnées GPS	
				N	E
1	P1	Puits Traditionnel	Tantigou Kpadongue	10.86638	000.17104
2	P2	Puits Traditionnel		10.85751	000.17111
3	P3	Puits Traditionnel		10.84787	000.17447
4	P4	Puits Moderne	Kalsom	10.85399	000.17193
5	P5	Puits Moderne		10.84834	000.17105
6	F1	Forage		10.84690	000.17388
7	P6	Puits Traditionnel		10.83277	000.17258
8	P7	Puits Traditionnel		10.83035	000.17383
9	P8	Puits Moderne	Djabargou	10.84239	000.17557
10	P9	Puits Moderne		10.83689	000.17369
11	F2	Forage		10.84157	000.17577
12	ES	Eau de surface	Digue Barrage (Djabargou)	10.81616	000.16854
13	ER	Eau de Robinet	Tantigou Tandjoague	10.86453	000.19558

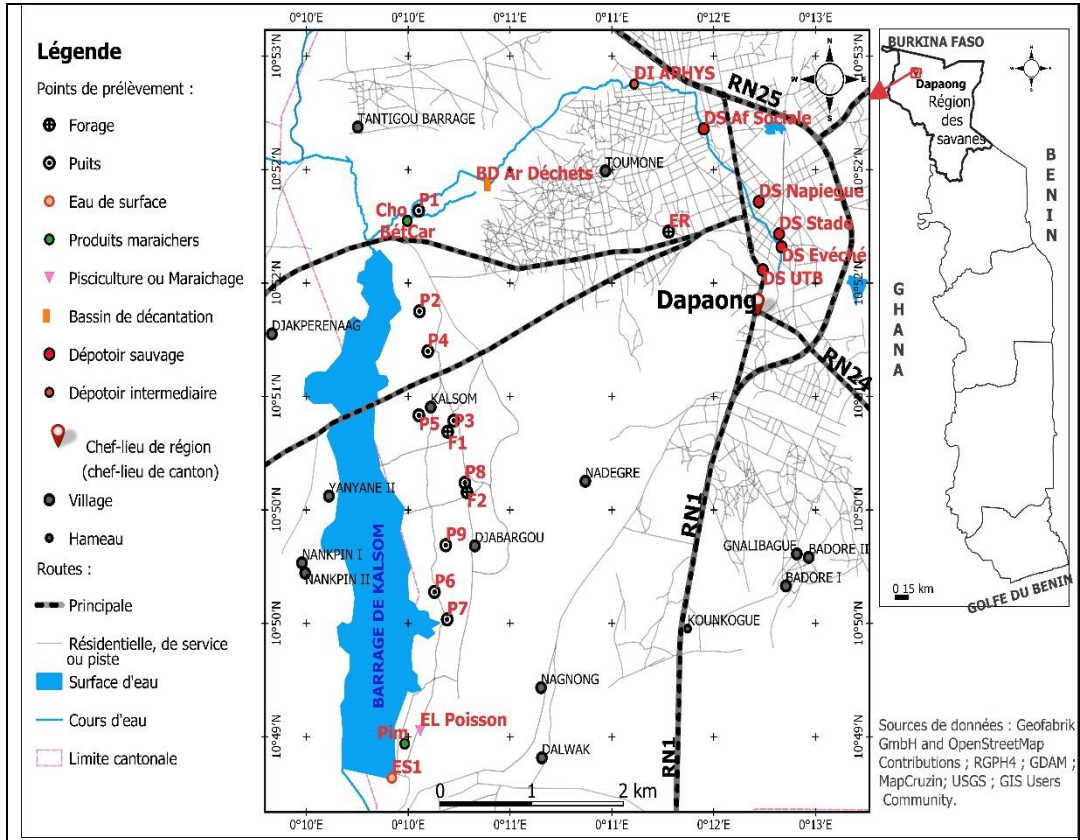


Figure 1 : Carte de la ville de Dapaong indiquant le marigot Didagou, le barrage de Kalsom et les lieux de prélèvement d'eau.

Tableau 2 : Paramètres physico-chimiques analysés et méthodes utilisées.

Paramètres/Unité	Matériels	Méthode	Norme/Référence
Profondeur (m)	Corde graduée + pierre	-	-
Paramètres physico-chimiques			
pH	Multimètre	Electrométrie	NF T 90-008
Cond élec 25 °C - µs/cm	« Type WTW Multi 342 »		NF T 90-031
Ammonium (NH ₄ ⁺) - mg/L	Spectrophotomètre UV/Visib « Type JANWAY 6705 »	Spectrophotométrie d'absorption moléculaire	NF T 90-012
Nitrates (NO ₃ ⁻) - mg/L			
Nitrites (NO ₂ ⁻) - mg/L			
Orthophosphates (PO ₄ ³⁻) - mgP/L			
Eléments traces métalliques			
Mercure (Hg) - mg/L	Spectrophotomètre à flamme « Type Thermo Fischer iCE 3000 Series »	Spectrophotométrie d'absorption atomique	NF EN 1483
Cadmium (Cd) - mg/L			NF EN ISO 5961
Plomb (Pb) - mg/L			FD T 90-112
Arsenic (As) - mg/L			NF EN ISO 11969

Tableau 3 : Paramètres microbiologiques analysés et méthodes utilisées.

Germes recherchés	Milieux de culture	Méthodes Normalisées	Température/ Temps d'incubation
Germes totaux	PCA	NF V08-051, Fév. 1999	30°C/ 72h
Coliformes totaux	VRBL	NF V08-050, Déc. 1992	30°C/ 24h
<i>Escherichia coli</i>	Brilliance <i>E. coli</i>	(CM 1046) Brilliance™ <i>E. coli</i> /coliform selective agar	37°C/ 24h
Streptocoques fécaux	Slanetz et Bartle	NF T 90-416, Oct. 1985	37°C/ 48h
Anaérobies sulfito-réducteurs	TSN	XP V08-061, Av. 1996	44°C/ 48h

PCA : Plate Count Agar ; VRBL : Gélose au Cristal Violet au Rouge Neutre à la Bile et au Lactose ; TSN : Tryptone Sulfite Néomycine.

RESULTATS

Résultats des enquêtes sociales

L'enquête réalisée en Décembre 2019 auprès de 40 ménages des deux villages du barrage de Kalsom dans le bassin de Didagou (Kalsom et Djabargou, vingt (20) ménages chacun), a permis d'identifier quatre (04) sources d'eau dans ces villages. Il s'agissait des forages, des puits modernes, des puits traditionnels et l'eau du barrage de Kalsom. En saison des pluies, comme en saison sèche, 50% des ménages de Kalsom utilisent les forages comme source principale d'approvisionnement en eau de consommation alors que les populations de Djabargou utilisent les puits traditionnels à 70% des cas comme source principale d'approvisionnement en eau de consommation. Néanmoins, la proportion de la population utilisant l'eau du barrage comme source secondaire d'eau de consommation (7,5%) n'est pas à négliger.

Gestion des excréta et des eaux usées

Les villages de Kalsom et Djabargou, bien que faisant partie de la commune de tône 1 (Dapaong) ne disposent pas d'ouvrages adéquats en matière d'hygiène et d'assainissement. Les résultats de l'enquête ont révélés que 70% des ménages enquêtés ne disposent pas de latrines. L'analyse de la Figure 2 a permis de constater qu'il existe trois (03) types de latrines dans ces villages à savoir, latrine traditionnelle, latrine à fosse sèche

ventilée (VIP) et latrine ECOSAN, et que la défécation à l'air libre (67%) était plus pratiquée. Cette situation ajoutée à la non protection des puits constitue un facteur de risque de contamination fécale important pour les eaux de puits de ces deux villages et pour l'eau du barrage de Kalsom. Il est à noter aussi que toutes les douches des ménages enquêtés ne disposaient pas de puisard. En effet, le rejet des eaux usées dans la nature, sur l'environnement et le cadre de vie de la population peut provoquer la pollution de la nappe phréatique, ce qui va entraîner la contamination des points d'eau servant à l'alimentation en eau potable de ces deux villages.

Résultats des analyses bactériologiques

Une contamination fécale est anormale, elle révèle un problème d'hygiène général. En saison sèche, à l'exception de l'eau de robinet ER (TdE), toutes les eaux analysées étaient polluées par au moins un des germes recherchés. Il est à noter également qu'en plus de l'eau de la TdE, le puits moderne P5 de Kalsom, le Forage F1 de Kalsom, le Forage F2 de Djabargou et l'eau de surface ES (Eau brute qui va rentrer dans la station de traitement de la TdE) n'étaient pas polluées par les germes indicateurs de pollution fécale recherchés. En effet, l'aération naturelle a pu débarrasser l'eau de surface de sa pollution bactérienne. Par contre, en saison pluvieuse, toutes les eaux

analysées étaient polluées par au moins un germe indicateur de pollution fécale recherché. Ceci dit, les fortes pollutions microbiennes des ressources en eau du bassin de Didagou sont observées en saison pluvieuse. On a noté des valeurs importantes de *Escherichia coli* (coliformes), streptocoques fécaux et germes anaérobies sulfito-réducteurs. Toutes ces pollutions sont liées à la prolifération des dépotoirs sauvages (défaut de collecte des ordures ménagères et d'assainissement), la défécation anarchique dans la nature, la divagation des animaux (surtout des cochons en saison sèche), le rejet des eaux usées des maisons et de l'abattoir dans la nature (comme dans le marigot Didagou). La non protection des puits et les conditions de puisage aggravent cette situation.

La présence d'*Escherichia coli* apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente, tandis que les streptocoques fécaux témoignent d'une contamination d'origine fécale ancienne.

En effet la présence de certains germes témoins de pollution fécale dans l'eau de la TdE témoigne d'une absence et/ou d'une mauvaise désinfection réalisée avant la

distribution de cette eau. L'emploi de matériaux inappropriés pour la canalisation peut favoriser aussi la croissance bactérienne (OMS, 2011). Il est à signaler que l'agent sanitaire de la TdE a pour mission de réaliser cette désinfection au chlore lors de la production et de faire le suivi journalier du chlore résiduel libre (0,5 mg/L) qui va prévenir contre les pollutions microbiennes accidentelles au cours de la distribution (mesure de sauvegarde partielle contre les contaminations de faible ampleur et de développement bactérien). Aussi, les échantillons d'eau qui n'étaient pas pollués en saison sèche par *Escherichia coli* et les Anaérobies sulfito-réducteurs (P5, F1, F2, ES et ER) n'étaient pas aussi pollués en saison pluvieuse par ces deux germes. Ces sources d'approvisionnement en eau sont sujetes que d'une contamination d'origine fécale ancienne.

Résultats des analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques sont consignés dans le Tableau 5. Les teneurs en ETM obtenues ont été comparées à la norme admise par l'OMS.

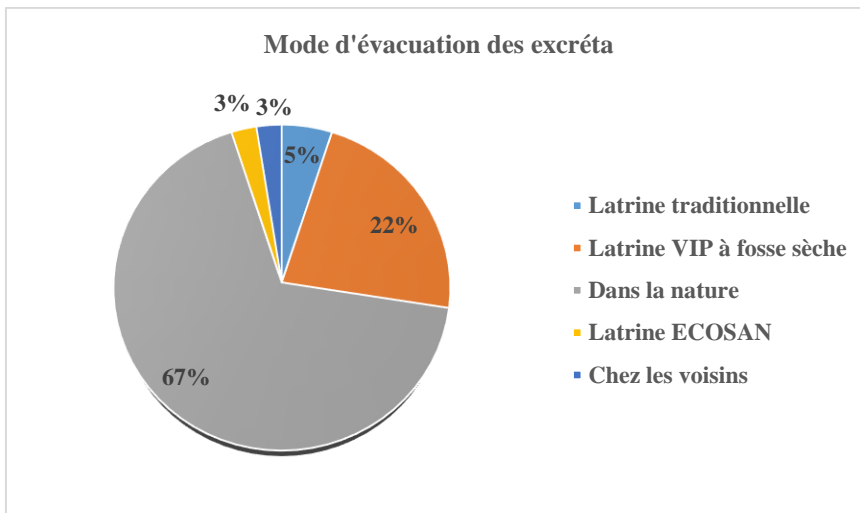


Figure 2 : Répartition des enquêtés selon le mode d'évacuation des excréta dans les villages de Kalsom et Djabargou.

Tableau 4 : Résultats des analyses bactériologiques des prélèvements d'eau du bassin de Didagou en fonction des saisons.

Germes recherchés	Nombre de germes en UFC/ml														Critères UE (2007)
	Code RE	P1	P2	P3	P4	P5	F1	P6	P7	P8	P9	F2	ES	ER	
	Prof (m)	5,32	9,5	9,08	12	13	62	7,82	6,08	12	11,3	> 13	-	-	
Germes totaux (30°C)	SS	44 000	55 000	58 000	48 000	5 100	256	4.800	5 300	64 000	32 000	11 000	4 200	6	100/ml
	SP	76 000	17 000	35 000	38 000	64 100	54 000	15 800	56 000	30 000	2 400	7 300	6 000	190	
Coliformes totaux (30°C)	SS	145	246	188	241	9	0	0	41	29	18	0	43	0	0/ml
	SP	400	88	130	63	650	1	43	200	38	53	26	64	28	
<i>Escherichia coli</i> (44°C)	SS	0	3	2	1	0	0	0	6	4	0	0	0	0	0/250ml
	SP	0	3	7	8	0	0	12	0	2	6	0	0	0	
Streptocoques fécaux (37°C)	SS	4	9	22	1	0	0	5	10	0	4	0	0	0	0/100ml
	SP	19	140	40	65	14	17	3	7	140	120	11	53	12	
Anaérobies sulfito-réducteurs (44°C)	SS	10	2	8	12	0	0	6	0	60	0	0	0	0	2/20ml
	SP	44	20	56	0	0	0	24	28	0	14	0	2	0	

RE : Ressources en eau

SS : Saison Sèche

SP : Saison Pluvieuse

Prof : Profondeur

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques des prélèvements d'eau dans le bassin de Didagou en fonction des saisons.

Code RE	Paramètres Physico-chimiques																					
	Prof (m)	pH		Cond (µs/cm)		NH ₄ ⁺ (mg/L)		NO ₃ ⁻ (mg/L)		NO ₂ ⁻ (mg/L)		PO ₄ ³⁻ (mgP/L)		Hg (mg/L)		Cd (mg/L)		Pb (mg/L)		As (mg/L)		
	-	SS	SP	SS	SP	SS	SP	SS	SP	SS	SP	SS	SP	SS	SP	SS	SP	SS	SP	SS	SP	
P1	5,32	7,68	7,27	284	278	0,13	0,15	2,90	2,53	0,03	0,03	0,07	0,2	0,0008	0,0022	0,0069	0,0065	0,0144	<0,0100	0,059	0,0320	
P2	9,5	7,56	5,83	154,1	117,7	0,07	0,1	3,41	25,06	0,03	0,04	<0,02	<0,2	0,0007	0,0021	0,0034	0,0062	0,0091	0,0100	0,056	0,0320	
P3	9,08	7,60	6,6	141,9	145,6	<0,05	0,06	4,13	9,31	0,03	0,1	<0,02	0,3	0,0004	0,0022	0,0018	0,0061	0,0098	0,0100	0,046	0,0270	
P4	12	7,93	5,66	267	123,7	0,08	<0,05	4,18	21,16	0,03	<0,025	<0,02	<0,2	0,0005	0,0021	0,0017	0,0066	0,0333	0,0300	0,038	0,0320	
P5	13	8,15	6,73	186,5	229	0,07	<0,05	3,38	31,19	0,03	0,15	0,11	0,2	0,0004	0,0021	0,0043	0,0051	0,0118	0,0200	0,036	0,0250	
F1	62	7,68	6,52	210	215	<0,05	0,102	<0,5	0,79	<0,025	<0,025	<0,02	<0,2	0,0003	0,0025	0,0025	0,0047	0,0154	0,0100	0,042	0,0330	
P6	7,82	7,10	5,92	185,1	153,4	0,09	<0,05	26,37	39,65	0,03	0,04	<0,02	<0,2	0,0005	0,0021	0,0067	0,0051	0,0376	0,0200	0,053	0,0230	
P7	6,08	7,47	5,99	188,1	92,4	0,07	<0,05	1,55	9,86	<0,025	0,05	<0,02	0,56	0,0005	0,0020	<0,0005	0,0051	<0,01	0,0600	0,041	0,0240	
P8	12	7,81	5,78	289	92,7	0,05	0,11	50,56	16,89	0,08	<0,025	<0,02	<0,2	0,0006	0,0016	<0,0005	0,0055	0,0269	0,0100	0,042	0,0240	
P9	11,3	7,84	6,55	171,2	328	<0,05	<0,05	1,20	11,76	<0,025	<0,025	<0,02	<0,2	0,0004	0,0019	0,0034	0,0046	0,0002	<0,0100	0,037	0,0240	
F2	> 13	7,40	6,23	238	246	0,09	<0,05	2,84	2,89	<0,025	<0,025	0,02	<0,2	0,0005	0,0022	0,0026	0,0058	0,0386	0,0100	0,041	0,0300	
ES1	-	8,04	7,1	116,7	136,3	0,07	<0,05	<0,5	0,9	<0,025	<0,025	<0,02	<0,2	0,0004	0,0020	0,0011	0,0052	0,0004	0,0100	0,055	0,0240	
ER	-	7,53	6,56	148,7	171,2	<0,05	<0,05	<0,5	0,57	<0,025	<0,025	<0,02	<0,2	0,0004	0,0021	0,0008	0,0050	0,0599	0,0100	0,067	0,0250	
Norme OMS (*) - UE	-	6,50-8,50		400		1,5*- 0,5		50*- 50		3,0*-0,1		-		0,001*		0,003*		0,01*		0,01*		

RE : Ressources en eau

SS : Saison Sèche

SP : Saison Pluvieuse

Prof : Profondeur

DISCUSSION

Sources d'approvisionnement en eau des villages de Kalsom et Djabargou

Quatre (04) sources d'eau ont été identifiées dans ces villages. Ces résultats sont semblables à ceux de (Davilla, 2011), qui dans une étude similaire réalisée à Assé et Médina deux villages du département de Bonoua en Côte d'Ivoire a également identifié les mêmes sources d'eau, sauf que les bornes fontaines trouvées dans sa zone d'étude ont été remplacées par les forages et que les eaux de pluies recueillies n'ont pas été citées par les enquêtés de Kalsom et Djabargou. Concernant le taux d'accès à ces sources d'eau, les résultats sont supérieurs à ceux de Lare en 2010 qui a trouvé que le taux d'accès à l'eau potable améliorée dans les zones périphériques de Dapaong était de 24%. Cette hausse d'approvisionnement en eau potable améliorée dans les deux villages enquêtés peut s'expliquer par l'effort de tous les jours que l'association JARC fait pour construire les forages et surtout les puits aménagés par le biais de ses groupements.

Il ressort clairement de ces résultats que les populations des villages de Kalsom et de Djabargou souffrent d'une pénurie d'eau potable. Ceci apparaît comme un moyen de transmission des maladies liées à l'eau. En réalité la mauvaise qualité des eaux peut être à l'origine de graves problèmes de santé, les maladies les plus fréquentes restent les maladies diarrhéiques dont le choléra (ONUDI, 2005). Selon l'OMS, dans le monde, 1,1 milliard de personnes consomment encore de l'eau provenant des sources d'approvisionnement non amélioré en 2002. En Afrique subsaharienne, 42% de la population n'est pas desservie. Certaines sources, malgré qu'elles sont améliorées, leur eau peut se polluer par l'assainissement de leur alentour et aggraver davantage les problèmes de santé (EAA-Togo, 2016 ; Fambi, 2021).

Une contamination de l'eau pendant le transport est plus évidente avec les enfants (42,50% des cas) qui ne respectent pas souvent les règles d'hygiène. Cette situation est encore aggravée par le fait que les contenants les plus utilisés pour le transport sont les récipients et

les sceaux qui ne sont pas couverts. Cette situation est d'ailleurs confirmée au Bénin par Degbey et al., (2010) qui ont identifié les comportements à risque qui augmentent la charge polluante des eaux au moment de la collecte, du transport et de la conservation dans la sous-préfecture de Grand-Popo.

Qualité des eaux analysées

Les résultats des analyses bactériologiques ont montré que tous les échantillons analysés ont été non-conformes par rapport aux germes recherchés. Cette non-conformité était plus importante en saison pluvieuse. De plus, la non-conformité des échantillons analysés par rapport aux streptocoques fécaux (53,85% des cas en saison sèche contre tous les échantillons en saison pluvieuse) était supérieure à celle d'*Escherichia coli* (38,46% des cas en saison sèche contre 46,15% des cas en saison pluvieuse). Ce qui signifie que les ressources en eau du bassin de Didagou enregistrent une contamination d'origine fécale ancienne plus qu'une contamination d'origine fécale nouvelle.

Ces résultats corroborent avec ceux de Tampo et al. (2014), Soncy et al. (2015), et Fambi et al. (2021) qui ont mis en évidence une importante pollution bactérienne d'origine fécale dans les eaux de puits et de forages à Lomé au Togo. Ces bactéries témoins de contamination fécale des eaux ont été également retrouvées dans les eaux de puits et de forages de certains quartiers de Ouagadougou (Yameogo et Savadogo, 2002) et de Yaoundé (Kouam et al., 2013).

S'agissant de la pollution bactérienne en fonction des types d'ouvrage, on constate que les germes recherchés ont induits des taux plus élevés de non-conformité en saison pluvieuse pour tous les ouvrages (87,69%). De manière générale, l'eau de la TdE a été moins contaminée par les germes recherchés suivi des eaux de forages (20% de non-conformité en saison sèche contre 60% en saison pluvieuse), viennent ensuite l'eau brute de la station de traitement de la TdE (eau du barrage) et les eaux des puits modernes (70% de non-conformité en saison sèche contre 80% en

saison pluvieuse) ; enfin, les puits traditionnels où les germes recherchés ont induits jusqu'à 92% de non-conformité étaient plus contaminés dans le bassin versant de Didagou. Avec cette pollution microbienne observée, une désinfection au chlore des ressources en eau de boisson du bassin versant de Didagou s'avère indispensable avant toute consommation. Ainsi, les eaux de forages analysés sont moins contaminées que les eaux de puits (traditionnels comme modernes). Cela peut être dû à l'écart entre la profondeur des puits et celle des forages. Le Président de comité de gestion du forage F1 de Kalsom a indiqué que la profondeur de ce forage est de 62 m. En effet, la contamination de la nappe des puits/forages dépend de la perméabilité du sol, de la profondeur de la nappe, de l'absence ou l'inadaptation des ouvrages d'assainissement, de la mauvaise gestion des ordures et de la méthode de puisage (Yapo et al., 2010 ; Degbey et al., 2010 ; Boubakar, 2010 ; Kouam et al., 2013 ; Fambi et al., 2021).

En évoquant la qualité de l'eau en milieu rural et spécialement la pollution des forages, Guillemain (1984) a montré à travers les analyses de 918 points d'eau dans le pays le plus proche de la zone d'étude, au Burkina-Faso, que les forages, sources supposées d'eau potables, sont bien souvent pollués. Il souligne par ailleurs que les points d'eau traditionnels étaient les plus pollués et que cette pollution était imputable à des facteurs physiques (structure géologique et topographique), techniques (absence de margelle et parois non aménagées) et humaines (comportements et mentalités).

Pour les analyses physico-chimiques, les résultats révèlent qu'en saison sèche, tous les échantillons d'eau analysés sont pollués par les nitrates, le Cadmium, le Plomb et l'Arsenic. Cependant, les teneurs en nitrates dans presque tous les échantillons sont inférieures à la norme de potabilité de l'OMS (50 mg/L), et donc une surveillance accrue de ces ressources en eau s'avère nécessaire pour les préserver. Pour les ETM, les différents échantillons d'eau prélevés dans cette saison sèche contenaient plus par fréquence décroissante l'Arsenic, le Plomb, le Cadmium et le Mercure. En effet, toutes les

eaux prélevées contiennent des excès de concentration pour l'Arsenic avec un facteur de concentration allant de 3,6 (pour le puits moderne P5 de Kalsom) à 6,7 (pour l'eau de robinet (ER) de la TdE) fois la norme admise par l'OMS. La plus forte teneur en Cadmium a été observée au niveau du puits traditionnel P1 de Tantigou Kpadongue avec un facteur de concentration de 2,3 fois la norme admise par l'OMS pour ce métal. Des concentrations supérieures aux limites maximales admises par l'OMS pour le Cadmium ont été également observées à Kalsom (P2 et P5) comme à Djabargou (P6 et P9) un puits traditionnel contre un puits moderne. Aussi, tout comme l'Arsenic, la forte teneur en Plomb a été observée au niveau de l'eau de robinet (ER) de la TdE avec environ 6 fois la norme admise par l'OMS. Il est à noter également que les puits traditionnels P1 de Tantigou Kpadongue, P6 de Djabargou et les sources d'approvisionnement en eau potable améliorée de Kalsom (P4, P5 et F1) et de Djabargou (P9) contiennent des concentrations en excès pour le plomb. Dans les zones où on trouve des eaux agressives et acides, l'utilisation de tuyauteries et d'accessoires de robinetteries en plomb ou de soudure peut se traduire par une augmentation des concentrations de plomb dans l'eau de boisson (OMS, 2011).

En saison pluvieuse, aucun échantillon d'eau n'a enregistré des concentrations supérieures aux limites maximales admises par l'OMS pour les nitrates, mais il est à remarquer une concentration à la hausse de cet anion dans ces échantillons. Cette présence des nitrates (NO_3^-) dans les eaux de boisson du bassin de Didagou provient, soit des eaux usées domestiques ou d'autres déchets organiques, soit d'un apport d'engrais chimiques et de pesticides suite à un lessivage des zones agricoles. L'usage de la dynamite (fréquent dans la construction des puits et forages à Dapaong) constitue également une source probable de diffusion de nitrates dans les eaux. Au Burkina Faso, Rosillon et al. (2012) ont montré sur la base d'une étude menée dans la vallée de Sourou que les activités anthropiques incluant la défécation sauvage des hommes, la présence des latrines, des eaux usées et des

déchets solides constituent les principales sources de pollution qui diffusent les nitrates dans l'eau.

Aussi, tous les échantillons d'eau analysés ont enregistré des concentrations supérieures aux limites maximales admises par l'OMS au moins pour trois (03) ETM dosés (Hg, Cd et As). En effet, les différents échantillons d'eau prélevés en saison pluvieuse (tout comme en saison sèche) contiennent plus par fréquence décroissante l'Arsenic, le Plomb, le Cadmium et le Mercure. Mais il est à noter que le plomb a la forte concentration qui est observée au niveau du puits traditionnel P7 de Djabargou (0,06 mg/L). Ces résultats sont en deçà de ceux de Kanda (2011) qui a indiqué que tous les échantillons des eaux de la rivière Zio et des puits du littoral prélevés contenaient du Plomb à des teneurs comprises entre 0,018 à 0,194 mg/L et du Cadmium à des teneurs comprises entre 0,077 et 0,084 mg/L. Ceci peut s'expliquer par le fait que le maraîchage qui génère des ETM dans les ressources en eau est une activité qui a été longtemps pratiquée les longs du littoral et de la rivière Zio qu'aux alentours du barrage de Kalsom. Les facteurs de concentration des ETM par rapport à la norme admise par l'OMS dans les échantillons d'eau prélevés allaient de 1,6 à 2,5 pour le Mercure ; de 1,53 à 2,2 pour le Cadmium ; de 2 à 6 pour le plomb et de 2,3 à 3,3 pour l'Arsenic.

Tout comme les analyses bactériologiques, les fortes pollutions en éléments physico-chimiques à l'exception de l'Arsenic étaient observées en saison pluvieuse. La dégradation de la qualité chimique observée des ressources en eau du bassin versant de Didagou est liée essentiellement à un mauvais assainissement (rejets non contrôlés des déchets liquides et solides) et à une agriculture intensive. En effet, les activités agricoles à travers l'utilisation des engrais et pesticides chimiques (surtout les Pyrèthrinoides (35,71%) suivis des Néonicotinoïdes (14,29% des cas) utilisés dans le bassin de Didagou) sont des sources de contamination non négligeables en ETM toxiques.

L'effet des ETM sur l'environnement et la santé publique n'est plus à démontrer car, une part importante des maladies comme les cancers, est attribuée à la présence des ETM dans la chaîne trophique. Durant ces dernières décennies, les décharges publiques ont causé beaucoup de problèmes à l'environnement (Chofqi et al., 2004). Les métaux lourds issus de ces décharges, sont pour la plupart très dangereux lorsque ceux-ci parviennent à contaminer les eaux de boisson (Chofqi et al., 2004).

D'une manière générale, on note que la situation environnementale en milieu rural (comme dans les villages du bassin de Didagou) est préoccupante au même titre que celle du milieu urbain (Ogoron, 2008). En effet, de nombreuses études ont permis de mettre en évidence la mauvaise qualité chimique et bactériologique des eaux dans les pays en développement. Des travaux spécifiques ont traité de l'impact du mauvais assainissement sur la qualité des ressources en eau dans les villes des pays d'Afrique subsaharienne. Ces travaux mettent en évidence la pollution bactériologique et azotée des nappes superficielles et des cours d'eau (EAA-Togo (2016) à Lomé ; Nairain (2002), Chippaux et al. (2002) à Niamey ; Degbey et al. (2010) à Cotonou ; Deme (2003), Diallo (2004) au Sénégal ; Yameogo et Savadogo (2002) à Ouagadougou). Ils concluent que ces pollutions proviendraient d'un mauvais assainissement des excréta. D'autres travaux ont révélé la présence des nitrates et des coliformes dans les eaux souterraines dans les zones agricoles et estiment que cette pollution proviendrait de la réutilisation des eaux usées brutes en agriculture, de l'apport excessif de l'eau et des engrais azotés (Aghzar et al., 2002; Derradji et al., 2007 ; Abdelaziz et al., 2007). Hakou (2001) et Derradji et al. (2003) ont montré dans leur étude, la pollution (depuis la contamination par les matières fécales jusqu'aux produits chimiques toxiques) de la nappe par les lixiviats issus d'une décharge non contrôlée ...

Le degré de pollution dépend de la distance d'éloignement de la source de pollution par rapport aux puits, la perméabilité

de l'aquifère, la profondeur de la nappe, la nature lithologique du terrain, l'entretien de l'ouvrage et son entourage immédiat (El et al., 2007; Hassoune et al., 2006; Aghzar et al., 2002).

Analyses statistiques (Analyse en Composantes Principales (ACP))

A partir des matrices de corrélation réalisées en saison sèche et pluvieuse (Tableaux 6 et 7) on peut distinguer deux groupes d'éléments corrélés : les éléments très significativement corrélés avec un coefficient de corrélation situé entre 0,839 et 0,908, et les éléments significativement corrélés avec un coefficient de corrélation situé entre 0,5 et 0,685. Ainsi, les représentations des données en cercles de corrélation montrent entre les axes F1-F2, une variabilité de 52,44% en saison sèche contre 50,15% en saison pluvieuse et 48,57% en saison sèche contre 46,28% en saison pluvieuse pour les axes F1-F3. Les graphiques des observations (Figures 3 et 4) ont permis de représenter les individus (Ressources en eau) sur une carte à deux dimensions, et ainsi d'identifier des tendances. On constate que le puits traditionnel P1 de Tantigou Kpadongue et le puits moderne P8 de Djabargou étaient assez particuliers en saison sèche contre le puits traditionnel P7 de Djabargou en saison pluvieuse. En regardant de près les données du Tableau 5 on s'aperçoit que :

- P1 a enregistré la plus forte concentration en NH_4^+ (0,13 mg/L d'eau en saison sèche contre 0,15 mg/L d'eau en saison pluvieuse). P1 est un puits sans margelle se trouvant à l'intérieur du jardin maraîcher de

Tantigou Kpadongue. Le maraîchage à usage intensif d'intrants agricoles serait à l'origine de cette forte concentration en NH_4^+ ;

- P7 avait les concentrations les plus élevées en Phosphore (PO_4^{3-}) (0,56 mg/L d'eau et en Plomb (Pb) (0,06 mg/L d'eau) en saison pluvieuse. Ce puits traditionnel étant assez éloigné du marigot de Didagou et des habitations où l'impact des déchets sur la qualité des eaux était moindre ; ainsi, ces concentrations élevées en ces éléments proviendraient des activités agricoles à fort usage des engrais et des pesticides chimiques pratiquées autour de ce point d'eau. La matrice de corrélation a signifié la forte liaison entre le Phosphore (PO_4^{3-}) et le Plomb (Pb) ($r = 0,839$) ; plus on constate la présence d'un des deux éléments chimiques dans le milieu, plus on est sûr de la présence de l'autre élément.
- P8 avait la forte conductivité et les concentrations plus élevées en NO_3^- (50,56 mg/L d'eau et NO_2^- (0,08 mg/L d'eau) en saison sèche. Ce puits moderne étant assez éloigné du marigot de Didagou où l'impact des déchets sur la qualité des eaux est moindre ; ainsi, ces concentrations élevées en ces éléments proviendraient des activités agricoles et de la défécation à l'air libre. Le même constat a été fait par Abdelaziz et al. (2007). Ils ont révélé que la présence de fortes teneurs de nitrates dans les eaux de la nappe de Grombalia en Tunisie proviendrait du lessivage des terres cultivées et de la dégradation de la matière organique.

Tableau 6 : Matrice de proximité (Coefficient de corrélation de Pearson) des variables en saison sèche.

	pH	Cond	NH4+	NO3-	NO2-	PO43-	Hg	Cd	Pb	As
pH	1	0,030	-0,198	-0,148	0,143	0,456	-0,187	-0,242	-0,450	-0,341
Cond	0,030	1	0,449	0,446	0,517	0,177	0,500	0,191	0,249	-0,296
NH4+	-0,198	0,449	1	-0,095	-0,189	0,383	0,679	0,685	0,054	0,233
NO3-	-0,148	0,446	-0,095	1	0,908	-0,137	0,263	-0,024	0,233	-0,088

NO2-	0,143	0,517	-0,189	0,908	1	-0,044	0,314	-0,227	0,102	-0,149
PO43-	0,456	0,177	0,383	-0,137	-0,044	1	0,158	0,483	-0,184	-0,127
Hg	-0,187	0,500	0,679	0,263	0,314	0,158	1	0,405	-0,014	0,327
Cd	-0,242	0,191	0,685	-0,024	-0,227	0,483	0,405	1	-0,060	0,152
Pb	-0,450	0,249	0,054	0,233	0,102	-0,184	-0,014	-0,060	1	0,340
As	-0,341	-0,296	0,233	-0,088	-0,149	-0,127	0,327	0,152	0,340	1

Les valeurs en gras (corrélations significatives) sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05.

Tableau 7 : Matrice de proximité (Coefficient de corrélation de Pearson) des variables en saison pluvieuse.

	pH	Cond	NH4+	NO3-	NO2-	PO43-	Hg	Cd	Pb	As
pH	1	0,568	0,185	-0,524	0,189	-0,162	0,091	-0,135	-0,392	-0,016
Cond	0,568	1	0,031	-0,232	0,022	-0,376	0,146	-0,038	-0,425	0,159
NH4+	0,185	0,031	1	-0,214	-0,198	-0,201	0,321	0,486	-0,400	0,528
NO3-	-0,524	-0,232	-0,214	1	0,411	-0,113	-0,294	-0,002	0,200	-0,231
NO2-	0,189	0,022	-0,198	0,411	1	0,164	-0,159	-0,146	0,135	-0,208
PO43-	-0,162	-0,376	-0,201	-0,113	0,164	1	-0,109	-0,189	0,839	-0,251
Hg	0,091	0,146	0,321	-0,294	-0,159	-0,109	1	-0,251	-0,141	0,443
Cd	-0,135	-0,038	0,486	-0,002	-0,146	-0,189	-0,251	1	-0,118	0,625
Pb	-0,392	-0,425	-0,400	0,200	0,135	0,839	-0,141	-0,118	1	-0,208
As	-0,016	0,159	0,528	-0,231	-0,208	-0,251	0,443	0,625	-0,208	1

Les valeurs en gras (corrélations significatives) sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05.

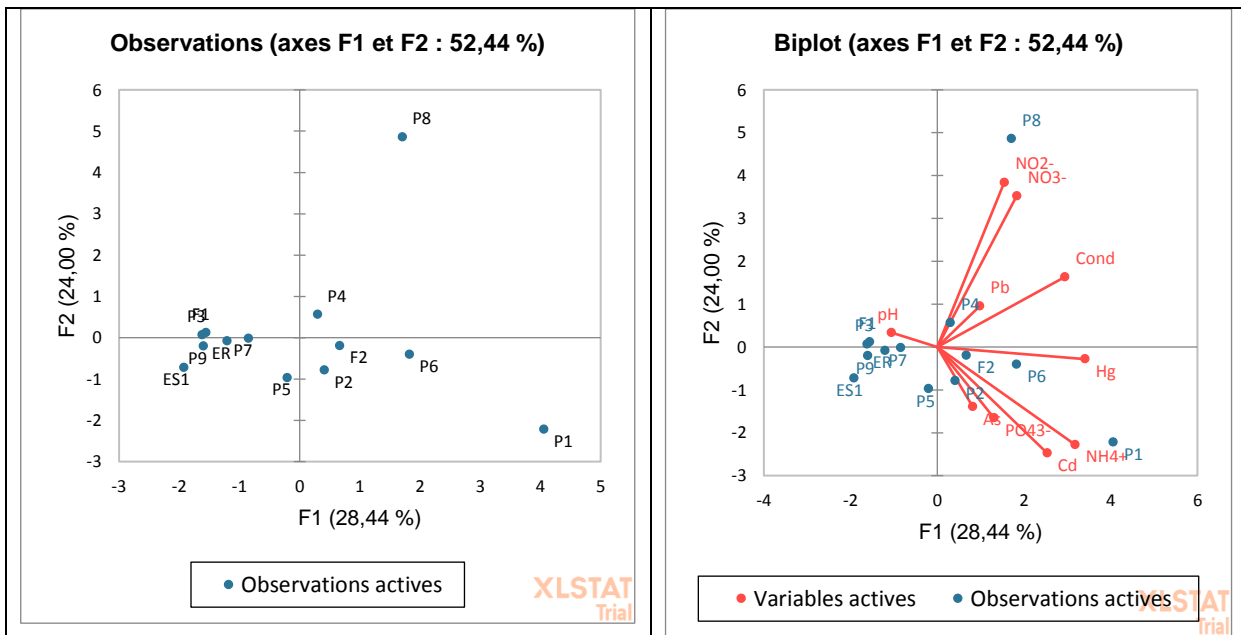


Figure 3 : Graphique des observations des ressources en eau du bassin de Didagou en saison sèche.

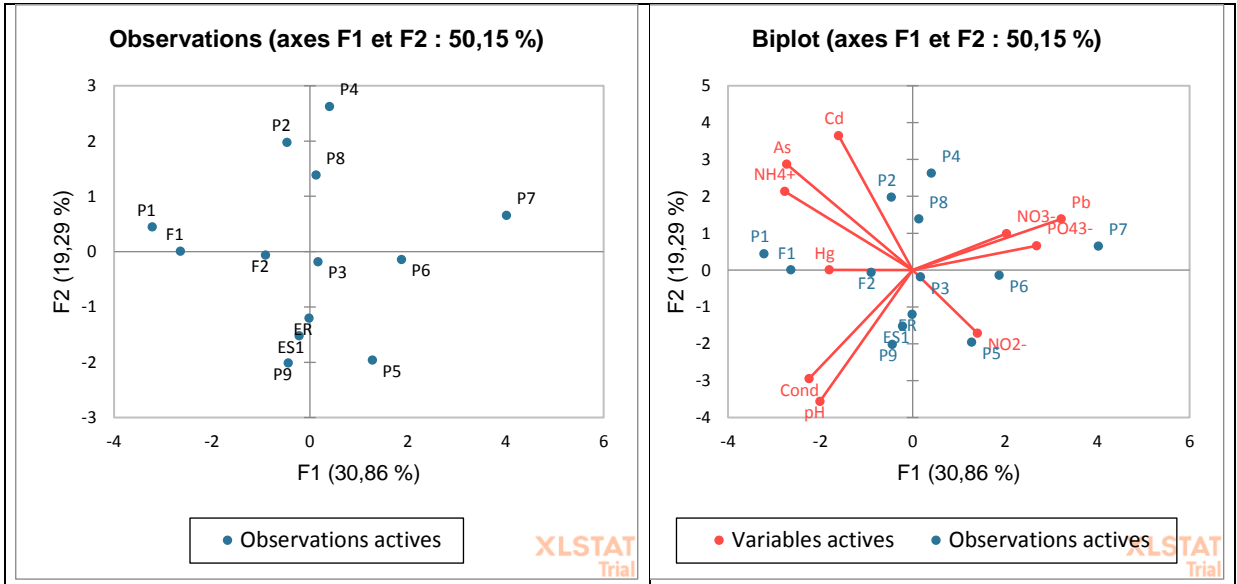


Figure 4: Graphique des observations des ressources en eau du bassin de Didagou en saison pluvieuse.

Conclusion

L'urbanisation des pays en développement en Afrique a pris une ampleur sans précédente au XXIème siècle. Cette évolution démographique crée ainsi des difficultés de gestion aussi bien des individus que de l'espace. Les ressources en eau permettant l'alimentation en eau de la ville de Dapaong proviennent essentiellement de la retenue d'eau du barrage de Kalsom dans le bassin versant de Didagou. L'étude des facteurs de pollution de ce bassin versant, couplée avec l'évaluation du niveau de contamination bactériologique et physico-chimique des ressources en eaux ont montré un lien entre la dégradation de la qualité de ces ressources en eaux et le mode de gestion des déchets dans la commune de Dapaong accentué par un maraîchage à fort usage des pesticides (surtout des Pyréthriinoïdes (35,71%)). Les indicateurs les plus pertinents qui ont permis d'établir ce lien étaient les paramètres tels que la charge bactériologique, le dosage des nitrates et des ETM. Les résultats ont montré que les valeurs de ces paramètres étaient plus importantes en saison pluvieuse correspondant à une arrivée et une présence massive des déchets solides et liquides dans les eaux du

Marigot Didagou et du barrage de Kalsom. En saison pluvieuse, tous les échantillons d'eau (y compris celle de la TdE) analysées étaient pollués par au moins un germe indicateur de pollution fécale recherché. Néanmoins, l'eau de la TdE était moins contaminée par les germes recherchés suivi des eaux de forages. Les puits traditionnels où les germes recherchés ont induits jusqu'à 92% de non-conformité étaient plus contaminés dans le bassin versant de Didagou. Dans la même saison la concentration des nitrates était à la hausse. Aussi, les facteurs de concentration des ETM par rapport à la norme OMS dans les échantillons d'eau prélevés allaient de 1,6 à 2,5 pour le Mercure ; de 1,13 à 2,3 pour le Cadmium ; de 1,18 à 6 pour le plomb et de 2,3 à 6,7 pour l'Arsenic. Les indicateurs définis dans le cadre de cette étude ont montré la dégradation des ressources en eau du bassin versant de Didagou. Ainsi des actions doivent être menées pour réduire l'impact négatif de cette pollution sur la santé de la population de Dapaong.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas de conflits d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Les campagnes d'échantillonnage et les analyses ont vu la participation de DS et PK. La rédaction du manuscrit a vu la contribution de ST, GB, DS, KG, TT, IG, et PK.

REFERENCES

- Abdelaziz S, Fredj C, Foued S, Sâadi A. 2007. Hydrologie et qualité des eaux de la nappe de Grombalia (Tunisie Nord-Orientale). *Sciences et changements planétaires, Sécheresse*, **15** (2): 159-166.
- Addinsoft. 2021. SLSTAT statistical and data analysis solution. Paris, France.
- Aghzar N, Berdai H, Bellouti A, Souidi B. 2002. Pollution nitrique des eaux souterraines de Tadla (Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science*, **15** (2): 459-492.
- Boubakar hassane A. 2010. Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique : Cas de la communauté urbaine de Niamey (Niger), Thèse de l'Univ, Abdou Moumouni de Niamey (Niger), p. 198.
- Chippaux JP, Houssier S, Gross P, Bouvier C, Brissaud F. 2002. Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. *Bull. Soc. Pathol. Exot.*, **94** (2): 119-123.
- Chofqi A, Younsi A, Lhadi E K, Mania J, Mudry J, Veron A. 2004. Environmental impact of an urban landfill on a coastal aquifer (El Jadida, Morocco). *Journal of African Earth Sciences*, **39** (3-5): 509-516.
- Davilla V. 2011. Evaluation d'un ouvrage d'hydraulique villageoise améliorée (HVA) d'un comité de gestion en milieu rural : cas d'Asse et de Medina en côte d'ivoire. Mem : MASTER MI2ES-Lomé-Togo, p. 32.
- Degbey C, Makoutode M, de Brouwer C. 2010. La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey en 2009 au Bénin Afrique de l'Ouest. *J Int Santé Trav*, **1** : 15-22.
- Deme I. 2003. Contribution à l'étude de la qualité des eaux et de la vulnérabilité de la nappe phréatique de la commune de Bakel et environs (Sénégal), Mém de D.E.A. de Géologie Appliquée, Mention hydrogéologie, U.C.A.D, p.88.
- Derradji F, Bousnoubra H, Kherici N, Romeo M, Caruba R. 2007. Impact de la pollution organique sur la qualité des eaux superficielles dans le Nord-Est Algérien. *Sécheresse*, **18** (1): 23-27.
- DGSCN. 2011. Rapport sur les résultats du 4ème Recensement Général de la Population et de l'Habitat (4ème RGPH, 2010). Bureau central du recensement (Togo), p. 65.
- Diallo MS. 2004. Contribution à l'étude de la qualité des ressources en eau dans la zone de Dindéfello (région de Tambacounda-Département de Kédougou) Sénégal. Départ. Géol., Fac. Sci. Et Tech., Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, p. 9.
- EAA-Togo-UE. 2016. Projet de Réduction de Risques Environnementaux et Sanitaires liés à l'Activité des vendeurs d'eau de Forage de la ville de Lomé (PRRESAF).
- El Asslouj J, Kholtei S, El Amrani-Paaza N, Hilali A. 2007. Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la communauté Mzamza (Chaouia, Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau*, **20** (3) : 309-321.
- Fambi K, Ayah M, Sossou KS, Boguido G, Bawa LM, Djaneye-Boundjou G. 2021. Qualité et essais de traitement des eaux en milieu périurbain : Cas des eaux de forage des cantons Légbassito et Vakpossito. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **15**(1): 317-337. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i1.28>
- Guillemin F. 1984. Etude de la potabilité des eaux émises par les pompes hydrauliques en milieu rural, Projet eau potable, Rapport final, Ministère de la santé publique, Ouagadougou (Burkina Faso), p. 28.
- Hassoune EM, Bouzidi A, Koulali Y, Hadarbach D. 2006. Effets des rejets liquides domestiques et industriels sur la qualité des eaux souterraines au nord de la ville de Settat (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, **28** : 61-71.
- Hugonin P. 2011. Introduction aux thématiques de l'eau, les maladies ©, [consulté le 21/05/2015]. Disponible sur :

- http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/fr/index.html
- Kanda M. 2011. Agriculture maraîchère au Togo: analyse systémique et environnementale. Thèse Doct., Université de Lomé, Togo, p. 150.
- Kouam Kenmogne GR, Djomou Bopda SL, Rosillon F. 2013. Mutations urbaines et problématique d'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans une zone urbaine d'un pays en développement : cas de la ville de Yaoundé (Centre-Cameroun). *Actes du 5^{ème} colloque international « Ressources en eau et développement durable »*. 24-25 Février 2013, Alger (Algérie) ; 764-769.
- Lare A. 2010. Etude de référence du projet : approvisionnement en eau potable, assainissement, hygiène et santé publique dans la commune de Dapaong au Togo.
- Lare A. 2012. Analyse de la demande en assainissement amélioré des ménages : le cas des latrines écologiques à Dapaong au Nord du Togo.
- Nairain S. 2002. Le WC avec chasse est écologiquement « mal pensé ». *Down to Earth*, **10**(19): 19. www.tu-harburg.de/susan/downloads/theflushoil-et-fr.pdf.
- Ogoron D. 2008. Le management des associations d'usager d'eau (AUE) dans le cadre d'hydraulique villageoise au Bénin: cas de quatre AUE dans le département de Zou. Mémoire de maîtrise en science de gestion, Université de Parakou au Bénin, p. 64.
- OMS. 2011. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Quatrième édition. Publication Organisation mondiale de la Santé. Genève, Suisse : 307-447.
- OMS. 2013. L'hygiène de l'environnement dans l'aménagement urbain. OMS, Genève.
- République Togolaise. 2018. Rapport au forum politique de haut niveau sur le développement durable (FPHN), p. 38.
- Rosillon F, Savadogo B, Kabore A, Bado-Sama H, Dianou D. 2012. Attempts to answer of the origin of the high nitrates concentrations in groundwater of the Sourou Valley in Burkina Faso. *Journal of Water Resource and Protection*, **4**: 663-673. DOI: 10.4236/Jwarp.2012.48077.
- Soncy K, Djeri B, Eklou-Lawson M, Adjrah Y, Karou DS, Ameyapoh Y, de Souza C. 2015. Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de forage de la ville de Lomé (Togo). *Journal of Applied Biosciences*, **91**: 8464-8469.
- Tampo L, Ayah M, Kodom T, Tchakala I, Boguido P, Bawa LM, Djanéyé-Bouindjou G. 2014. Impact de la demande en chlore et de la chloration sur la désinfection des eaux de puits des quartiers de Lomé : cas des quartiers de démakpoè et d'Agbalépédogan (Togo). *Journal of Applied Biosciences*, **75** : 6272-6281.
- Topanou N. 2012. Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d'Abomey-Calavi (Bénin): Caractérisation et essais de valorisation par compostage. Thèse de doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi, p.169.
- UE. 2015. Directive (UE) n° 2015/1787 du 06/10/15 modifiant les annexes II et III de la directive 98/83/CE du Conseil relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.
- Yameogo S, Savadogo Nindaoua A. 2002. Les ouvrages de captage de la ville de Ouagadougou et leur vulnérabilité à la pollution. Labo. Hydrogéologie, Univ .de Ouagadougou, UFR/SVT, Ouagadougou, p9.
- Yapo OB, Mambo V, Seka A, Ohou MJA, Konan F, Gouzile V, Tidou AS, Kouame KV, Houenou P. 2010. Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : Koumassi, Marcory, Port-Bouet et Treichville. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(2) : 289-307. DOI: 10.4314/ijbcs.v4i2.58111