

Etude des contaminations en éléments trace-métalliques des préparations extemporanées de phytomédicaments et des eaux de consommation utilisées des populations riveraines au Parc National de Togodo-Sud

[Study of trace metal contamination of extemporaneous preparations of phytomedicines and drinking water used by the local population in Togodo-Sud National Park]

Ouro-Djeri Hafez^{1,4}, Koudouvo Koffi¹, Ayah Massabalo³, Esseh Komlavi¹, Gnandi Kissao², Tchacondo Tchadjobo⁴, Agbonon Amégnona¹, Akpavi Sémihinva⁵, Ouro-Djeri Essowé⁶, and Gbeassor Messanvi¹

¹Centre de Recherche et de Formation sur les Plantes Médicinales (CERFOPLAM), Université de Lomé (UL), 1 BP 1515 Lomé, Togo

²Laboratoire d'Analyses de Géochimie Environnementale, Université de Lomé, Lomé-TOGO, 1 BP 1515 Lomé, Togo

³Laboratoire d'Hydrologie Appliquée and Environnement (LHAE), Université de Lomé, Lomé-TOGO, 1 BP 1515 Lomé, Togo

⁴Laboratoire des Sciences Biomédicales, Alimentaires et de Santé Environnementale (LaSBASE), Université de Lomé, Lomé-TOGO, 1 BP 1515 Lomé, Togo

⁵Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale (LBEV), Université de Lomé (UL), 1 BP 1515 Lomé, Togo

⁶Laboratoire de Recherche sur la dynamique des milieux et des sociétés (LARDYMES), Université de Lomé (UL), 1 BP 1515 Lomé, Togo

Copyright © 2023 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: The present study is conducted in the villages bordering the Togodo-Sud National Park (PNTS), which is grouped into four cantons (Tométy-Kondji, Sedomé, Gboto and Esse-Godjin) in the Yoto 3 commune of Togo. The populations have difficult access to health care and drinking water. Extemporaneous preparations of water-based phytomedicines (PEP) can be a source of contamination due to chemical pollutants. The objective of the study is to evaluate the contamination of PEP and drinking water used in the PNTS area by metallic trace elements (MTE). Thus, fifteen (15) samples each of PEP and ECU were taken in two seasons (dry and rainy) and 09 parameters were analysed: total iron (Fe^{2+} and Fe^{3+}), cadmium (Cd), lead (Pb), copper (Cu), chromium (Cr), zinc (Zn), nickel (Ni), arsenic (As) and mercury (Hg).

The results show that the majority of the samples from the PEPs do not comply with the WHO and EU standards by almost 80%. Also, the highest concentrations of harmful elements were detected in the dry season. For Cd, the maximum concentration in PEP is 0.014 mg/l in the dry season against 0.002 mg/l in the rainy season. Also, Pb levels vary from 0.103 mg/l in the dry season to 0.113 mg/l in the rainy season. With regard to ECU, the maximum Cd concentration is 0.008 mg/l in the dry season. Pb levels reach 0.102 mg/l in the dry season and from 0 to 0.061 mg/l in the rainy season. Extreme concentrations were also observed with the other parameters.

The results show limitations in the use of the samples. In view of these results, microbiological and bacteriological analyses are important in order to raise awareness among the population.

KEYWORDS: Extemporaneous preparations of phytomedicines, used drinking water, Togodo-Sud National Park, Trace metals.

RESUME: La présente étude est menée dans les villages riverains au Parc National de Togodo-Sud (PNTS) regroupé en quatre cantons (Tométy-Kondji, Sedomé, Gboto et Esse-Godjin) dans la commune Yoto 3 au Togo. Les populations ont un accès difficile aux soins de santé et à l'eau potable. Les préparations extemporanées de phytomédicaments (PEP) à base de l'eau peuvent être sources de contaminations dues aux polluants chimiques. L'objectif de l'étude est d'évaluer la contamination en Eléments Traces Métalliques (ETM) des PEP et eaux de consommation utilisées (ECU) des populations riveraines au PNTS. Ainsi, quinze (15) échantillons chacun des PEP et des ECU ont été prélevés en deux saisons (sèche et pluvieuse) et 09 paramètres ont été analysés: le fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le zinc (Zn), le nickel (Ni), l'arsenic (As) et le mercure (Hg).

Les résultats montrent que les échantillons des PEP sont majoritairement non-conforme aux normes de l'OMS et de l'UE à près de 80%. Aussi, les grandes concentrations en éléments nocifs ont été détectées en saison sèche. Pour le Cd, la concentration maximum en PEP est de 0,014 mg/l en saison sèche contre 0,002 mg/l en saison pluvieuse. Aussi, les teneurs en Pb varient de 0,103 mg/l en saison sèche contre 0,113 mg/l en saison pluvieuse. En ce qui concerne es ECU, les concentrations maximums en Cd est de 0,008 mg/l en saison sèche. Les teneurs en Pb atteignent 0,102 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,061 mg/l en saison pluvieuse. Des concentrations extrêmes ont été également observés avec les autres paramètres.

Les résultats montrent des limites dans l'usage des échantillons. Face à ces résultats, des analyses microbiologiques et bactériologiques sont importantes en vue de sensibiliser la population.

MOTS-CLEFS: Préparations extemporanées de phytomédicaments, eaux de consommations utilisées, Parc National de Togodo-Sud, Eléments traces métalliques.

1 INTRODUCTION

En Afrique, les plantes médicinales constituent des ressources précieuses pour la grande majorité des populations rurales qui s'en servent pour assurer leurs soins de santé primaire (Jiofack et al., 2010). Leur plus-value est reconnue dans leur utilisation pour le traitement efficace de diverses affections chroniques, invalidantes ou incurables (OMS, 2012). Reléguée au dernier plan il n'y a pas si longtemps par les politiques de santé des Etats africains, la médecine traditionnelle (MT) connaît un regain d'expansion. De nombreux facteurs sont souvent avancés pour expliquer le mouvement actuel en faveur de la MT. On peut en citer la facilité d'accès et leur coût abordable; les insuffisances de la médecine moderne et les habitudes socio-culturelles. Aujourd'hui, du fait que la médecine moderne manque cruellement de nouveaux traitements et que l'efficacité des médicaments tels que les antibiotiques (considérés comme la solution quasi universelle aux infections graves) décroît (Gueye, 2019), les traitements à base de plantes reviennent au premier plan.

L'expansion démographique et l'essor économique que connaissent les pays du monde et surtout ceux de l'Afrique ont des conséquences sur l'environnement et sur les plans d'eau dû au manque d'infrastructures d'assainissement (Sokegbe et al., 2017). Les besoins d'approvisionnement en eau potable (AEP) des populations rurales du Togo en général et celles riveraines au parc national de Togodo-Sud en particulier, sont très importants. Près de 10 % de togolais s'abreuvent grâce aux eaux de surface. 38 % de la population togolaise ne dispose pas, à moins de 30 minutes de marche, d'une source d'eau potable en 2015 (FPHN, 2018). Selon le gouvernement togolais, le taux national de desserte en eau potable est d'environ 70% en 2019 dont 58% en milieu urbain en 2020, et 50% en semi urbain, le Togo envisage d'atteindre les 80% d'ici 2025. Mais le pourcentage réel de la population utilisant une source d'approvisionnement en eau potable est beaucoup plus faible, en raison, d'une part, de la dispersion de l'habitat et, d'autre part, du mauvais entretien des équipements et de la discontinuité de leur fonctionnement. Deux contraintes, l'une naturelle et l'autre financière sont à l'origine de cette faible desserte dans la zone d'étude. La nappe phréatique de la zone est profonde et se situe entre 115 à 200 mètres (Barry et al., 2022). La population de la zone étant pauvre (Blivi et al., 2005) ne disposent pas de moyens financiers pour réaliser des forages dans les aquifères profonds de la zone. Face à cette situation, les eaux de surface dont celles de ruissèlement, de rivière et du fleuve Mono et des pluies sont de plus en plus sollicitées.

La zone d'étude, riveraine au Parc National de Togodo-Sud (PNTS), constituées en majorité d'ethnie Adja dont l'un des problèmes à la base est l'accès aux soins de santé primaire (Koudouvo et al., 2011a). Des récentes études sur les maladies soignées par la MT dans les populations riveraines du PNTS (Koudouvo et al., 2011a; Dolo et al., 2012) révèlent que la décoction et macération constituent les principales modes de préparation des phytomédicaments. Les préparations extemporanées de phytomédicaments (PEP) (les macérés, les décoctés et les infusas) sont souvent produites en utilisant l'eau fraîche et/ou l'alcool ordinaire comme solvant et consommé par voie orale sans chauffage. Les PEP à base de l'eau peuvent être sources de contaminations dues aux éléments traces métalliques (ETM) contenus dans ces eaux de consommation utilisées (ECU).

De nos jours, peu de données sont disponibles sur les contaminations en ETM dans les PEP et les ECU dans les milieux ruraux. La présente étude a eu pour objectif l'évaluation de la contamination en ETM des PEP et ECU des populations riveraines au PNTS, afin de mesurer les risques sanitaires auxquels sont exposées les personnes qui les utilisent.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 CADRE GEOGRAPHIQUE ET POPULATION DE L'ETUDE

La zone d'étude est composée des cantons (Tomety-Kondji, Sédomé, Gboto et Esse-Godjin) riverains au Parc National de Togodo-Sud (PNTS), situés dans la commune de Yoto 3 de la préfecture de Yoto (région maritime au Togo). La zone est située entre 09.00° et 17.00° latitudes Nord et entre 02°00 et 19°00 longitudes Est. Elle est limitée au nord par le PNTS, au sud par le canton d'Amoussimé, à l'est par le fleuve mono et à l'ouest par le canton de Kouvé. A la suite du quatrième recensement général de la population et de l'habitat en 2010 (RGPH4, 2010), la population était estimée à 42.196 habitants avec un taux de croissance démographique de 3,16 % par an. La

végétation est composée de celle du PNTS, des forêts disparates, des reliques de forêts galeries, savanes, prairies. La zone d'étude jouit d'un climat de type subéquatorial, comportant une grande saison des pluies de mars à juillet maximum en juin) et une petite saison des pluies de septembre à novembre (maximum en octobre) (Deneau, 1956). La pluviométrie est en moyenne de 800 mm contre 1200 mm pour le reste de la région (Badassam, 2021). L'humidité relative est de l'ordre de 76,5% en moyenne et une évaporation de 61.16 mm. Les vents dans la zone sont relativement faibles, leur vitesse moyenne entre un et trois mètres par seconde (1 à 3 m/s). D'une moyenne annuelle comprise entre 28 à 29 °C (Badameli et Dubreuil, 2010), les températures maximales sont, en général, plus élevées en saison sèche qu'en saison pluvieuse (direction générale de la météorologie nationale, 2021). Le groupe majoritaire reste les Adja.

2.2 MATÉRIEL

Les matériels utilisés pour cette étude sont essentiellement composés de:

- Fiches de relevé des données sur les PEP et les ECU;
- Appareil photo numérique pour les prises de vue;
- Flacons en polyéthylène propres d'un litre (1,5 L) pour le prélèvement des échantillons d'eau;
- GPS de marque Garmin gpsmap 62 pour le géo référencement des points;
- Logiciel de cartographie des coordonnées GPS;
- 02 glacières contenant des morceaux de glaces pour la conservation des échantillons;
- Réactifs (hydroxyde de sodium 5,0 N, acide sulfurique 5,25 N, nitriver 3, nitriver 5, cyanurate d'ammoniaque, salicylate d'ammoniaque, persulfate de potassium, etc.);
- Instruments de laboratoire (bêchers, éprouvettes graduées, pipette sérologique, poire de sécurité, cuves carrées de 10 ml, plaque chauffante, thermostat);
- Spectromètre d'absorption atomique de type ice 3000 SERIES THERMO FISCHER couplé à un émetteur de vapeur froide (le VP 100);
- Multi paramètres de marque Sanxin SX 736: ph/mv/Conductivity/DO pour la mesure in situ de certaines caractéristiques (ph, température, conductivité électrique, TDS) de la qualité des eaux

L'analyse statistique a été réalisée sur les échantillons (15 PEP et 15 ECU par saison) et à l'ensemble des paramètres (09 variables) en saison sèche et en saison pluvieuse. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel Excel 2016. Les valeurs des paramètres ont été comparées aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO, 2011) pour l'eau de boisson. L'application de toutes ces différentes méthodes a permis d'évaluer la qualité saisonnière des échantillons.

2.3 MÉTHODE

2.3.1 COLLECTE DES PRÉPARATIONS EXTEMPORANÉES DE PHYTOMÉDICAMENTS (PEP) ET DES EAUX DE CONSOMMATION UTILISÉES (ECU) POUR LES PRÉPARER

Les échantillons des PEP et ECU ont été prélevés au niveau des 15 PMT en deux campagnes: saison sèche (Avril 2021) et saison pluvieuse (Août 2021). Les coordonnées géographiques des lieux de prélèvement sont présentés ci-dessous (figure 1). A chaque PMT, l'échantillon de la PEP est pris instantanément après préparation en notre présence et l'ECU pour le préparer est aussitôt prélevé. En guise de référence, les prélèvements des échantillons ont été réalisés à chaque saison et pour chaque PMT avec les mêmes recettes et types d'eau afin d'évaluer l'évolution de la contamination des échantillons. Les échantillons ont été prélevés selon les normes NF EN ISO 5667-3 et FD T90-523-1 telles que décrites par Rodier et *al.* (2009). Au total, 15 échantillons de PEP et 15 échantillons d'ECU par saison (provenant des 15 PMT) ont été prélevés soit 30 échantillons de PEP et 30 échantillons d'ECU au cours des deux saisons dans des bouteilles en polyéthylène de 1,5 litres. Ces bouteilles sont préalablement lavées à l'acide nitrique (10%) puis rincées à l'eau distillée. Les échantillons ont été ensuite placés dans deux glacières contenant des blocs réfrigérants et transportés au Laboratoire d'Analyses de Géochimie Environnementale de l'Université de Lomé où ils ont été conservés au réfrigérateur à 4°C jusqu'aux analyses des paramètres physicochimiques (Issola et *al.*, 2008; Rodier et *al.*, 2009; Yao et *al.*, 2009b; Ouro-Sama, 2019). Les échantillons destinés au dosage des éléments traces ont été filtrés à 0,45 µm, acidifiés à 1 % avec l'acide nitrique afin de maintenir les éléments traces en solution et empêcher leur précipitation selon les normes françaises (FD T90-523-3; NF EN ISO 5667-3) puis conservés à température ambiante jusqu'aux analyses (Rodier et *al.*, 2009; Tay et *al.*, 2009). Cette acidification fortement recommandée permet ainsi d'éviter les phénomènes d'adsorption sur les colloïdes ou sur les parois du flacon, ou d'autres réactions d'ordre biochimique (N'guessan et *al.*, 2016; Sow, 2018).

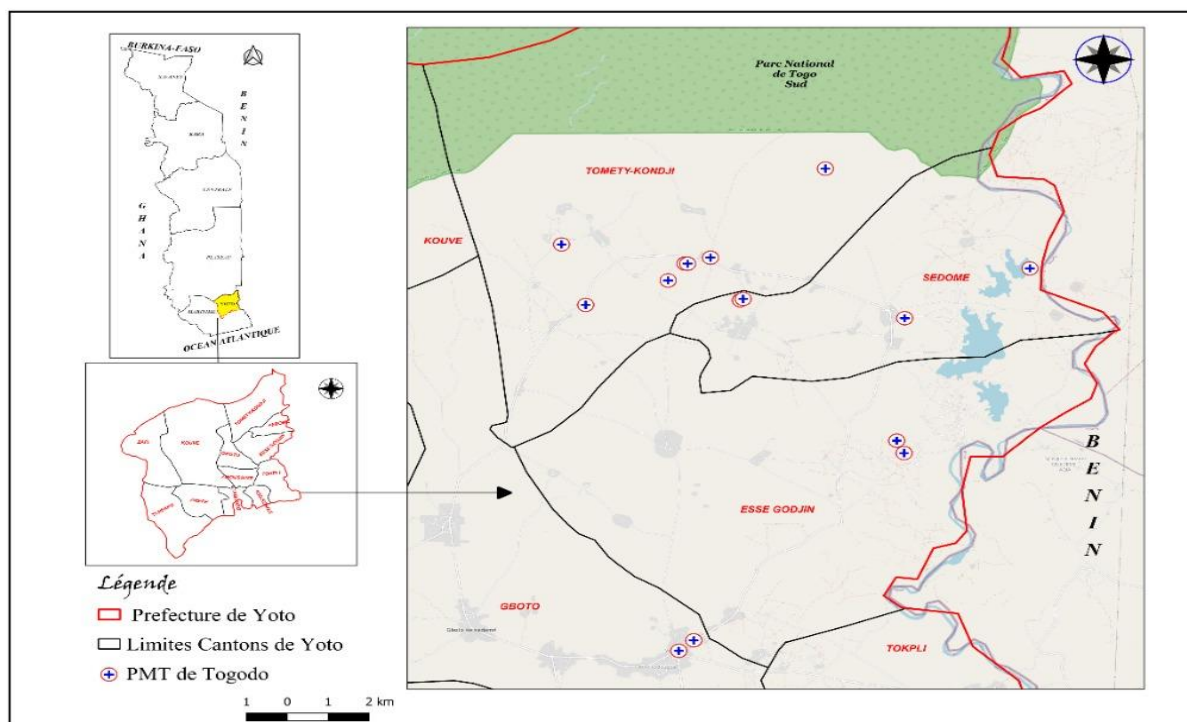


Fig. 1. Lieux de prélèvement des PEP et ECU

Source: OURO-DJERI Hafez, 2022

2.3.2 EVALUATION DES QUALITÉS EN ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES DES PEP ET DES ECU

2.3.2.1 MESURES EFFECTUÉES

TECHNIQUE DE DOSAGE

Au total 09 éléments traces ont été dosés. Il s'agit de l'Arsenic (As), du Fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}), du Cadmium (Cd), du Cuivre (Cu), du Chrome (Cr), du Plomb (Pb), du Zinc (Zn), du Nickel (Ni) et du Mercure (Hg). Ce dosage a porté directement sur les échantillons acidifiés. Ainsi, les éléments traces (As, Fe, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn, Hg) ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) à flamme (air/acétylène) selon les normes (NF T90-020; NF EN ISO 7980; NFT 90-005; NF EN 1233; NF EN ISO 5961; NF T90-112). Quant aux éléments traces (As et Hg), ils ont été dosés par le spectromètre d'absorption atomique couplé à un générateur d'hydrure et de vapeur froide de type Thermo Scientific VP 100 avec flamme (air/acétylène) pour le As et sans flamme pour le Hg (NF EN ISO 11969; NF EN 1483).

La concentration finale (Cf) des éléments traces dans les échantillons a été calculée par la formule suivante:

$$Cf \text{ (mg/kg)} = \frac{\text{Concentration lue} \times \text{Volume de dilution}}{\text{Masse prélevée}}$$

PRINCIPE DE LA SPECTROMÉTRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE

La spectrométrie atomique étudie les absorptions de lumière par l'atome libre, c'est à dire lorsque celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre. Généralement, seuls les électrons externes de l'atome sont concernés. L'absorption des radiations lumineuses des régions visibles et UV du spectre par les atomes libres résulte d'un changement dans la structure électronique. On l'observe lorsque la radiation caractéristique (de résonance en général) d'un élément passe dans un nuage de vapeur atomique de l'échantillon. L'échantillon est vaporisé par aspiration de la solution dans une flamme.

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer Lambert selon laquelle l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'absorption spécifique **a**, au trajet optique **b** et à la concentration **c**.

$$A = abc$$

Où:

$A = \log I_0/I$

I = intensité après absorption par les atomes

I_0 = intensité initiale de la source lumineuse.

L'échantillon vaporisé dans la flamme pour donner des atomes neutres est généralement une solution aqueuse. Ces atomes par absorption des rayons lumineux de longueur d'onde spécifique à l'élément passent à un niveau d'énergie supérieure. La mesure de l'intensité lumineuse avant et après le passage dans la vapeur atomique permet de déterminer la concentration de la solution étudiée.

PRÉPARATION DES SOLUTIONS ÉTALONS

Pour doser chaque élément chimique, il faut d'abord un étalonnage du spectrophotomètre à partir des solutions étalons avant de faire passer chaque échantillon.

La détermination des teneurs de nos échantillons en élément chimique a été réalisée par rapport à la courbe d'étalonnage avec une série de solutions étalons de concentrations bien connues. Les solutions étalons permettent donc d'étalonner l'appareil de mesure. Les concentrations des solutions étalons sont choisies en tenant compte des concentrations prévisibles des solutions étudiées. Celles-ci doivent être comprises entre les gammes des solutions étalons.

2.3.2.2 LIGNES DIRECTRICES SUR LES CONCENTRATIONS DE QUELQUES ETM

Le tableau 1 présente la concentration maximale admissible de quelques ETM toxiques dans les ressources en eau selon les normes internationales.

Tableau 1. Lignes directrices sur les concentrations de quelques ETM toxiques dans les ressources en eau

ETM	Fe	Hg	Cd	Pb	As	Cr	Cu	Ni	Zn
Concentration dans l'eau de surface OMS, 2006 ($\mu\text{g/L}$)		<0,5	<1	-	-	<2	-	<20	-
Limites de qualité des eaux brutes douces superficielles utilisées pour la production d'eau potable France, 2007 (mg/L)	0,2	0,001	0,005	0,05	0,1	0,05	-	-	5
Lignes directrices sur l'eau potable fixées par l'OMS, 2006 (mg/L)	300	0,001	0,003	0,01	0,01	0,003	2	0,07	3

Source: OMS, 2006; OMS, 2011; Arrêté français du 11/01/2007

3 RÉSULTATS

3.1 LES PEP ET ECU COLLECTÉS

3.1.1 PEP COLLECTÉS

Quinze (15) PEP par saison a été collecté lors de l'étude. La liste des identités des PMT est mis sous anonymat. L'échantillon de PEP est préparé instantanément en notre présence avec collecte des plantes et l'ECU. 73% des recettes sont en association. Le nombre de plantes par recette vari d'une plante à six plantes. Deux modes de préparation ont été recensé dont 67% en macération puis 33% en décoction. Les recettes sont à administrer par voie orale. Les parties de plantes utilisées sont à majorité les feuilles (54,29%), les tiges feuillées (17,14%) et les fruits (11,43%). Les maladies traitées par ces PEP sont entre autres les IST/VIH, hernie, paludisme, maux de ventre, anémie, hernie, etc. les noms des plantes ne sont pas listés dans le tableau ci-dessous pour des raisons de conservation des connaissances des PMT.

3.1.2 ECU COLLECTÉS

Les eaux de consommation utilisées (ECU) pour la préparation des PEP sont de plusieurs catégories. Nous avons regroupé ces eaux en 05 catégories notamment les eaux de pluie, les eaux de puits, les eaux de forage, les eaux de surface (fleuve et rivière) et les eaux de fontaines. Sur les 15 échantillons par saisons, 27,5% sont des eaux de pluie collectées, 26% sont des eaux de puits ensuite 19,5% sont des eaux de forage suivi de 14% des eaux de surface (fleuve et rivière) et 13% des eaux de fontaines de la Togolaise Des Eaux (TDE). Le canton de Sédomé comporte à elle seule les 14% des eaux de surface comme ECU tandis que le canton de Gbotto comporte les 13% des eaux de fontaines.

3.2 ELÉMENTS PHYSICOCHIMIQUES DES PEP ET ECU

3.2.1 ELÉMENT PHYSICOCHIMIQUES DES PEP

Les valeurs statistiques des teneurs en élément traces (Fe, Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Ni, As et Hg) des eaux en saison sèche et en saison pluvieuse varient de façon hétérogène. Les teneurs en fer total (Fe²⁺ et Fe³⁺) varient de 0 à 14,8 mg/l en saison sèche et de 0,05 à 12 mg/l en saison pluvieuse. Pour le Cd, elles oscillent respectivement entre 0 et 0,014 mg/l en saison sèche et entre 0 et 0,002 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en Pb varient de 0 à 0,103 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,113 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs varient respectivement de 0 à 0,15 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,091 mg/l en saison pluvieuse pour le Cu. Les teneurs en Cr obtenue en saison sèche varient de 0,099 à 0,13 mg/l contre 0,012 à 0,285 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en Zn varient de 0 à 3,206 mg/l en saison sèche et de 0 à 1,426 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs Ni varient de 0,021 à 0,195 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,131 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en As obtenue en saison sèche varient de 0 à 15,06 µg/l contre 0 à 12,38 µg/l en saison pluvieuse. Pour le Hg, les teneurs sont de 0 à 42 µg/l en saison sèche et de 0 à 7,51 µg/l en saison pluvieuse.

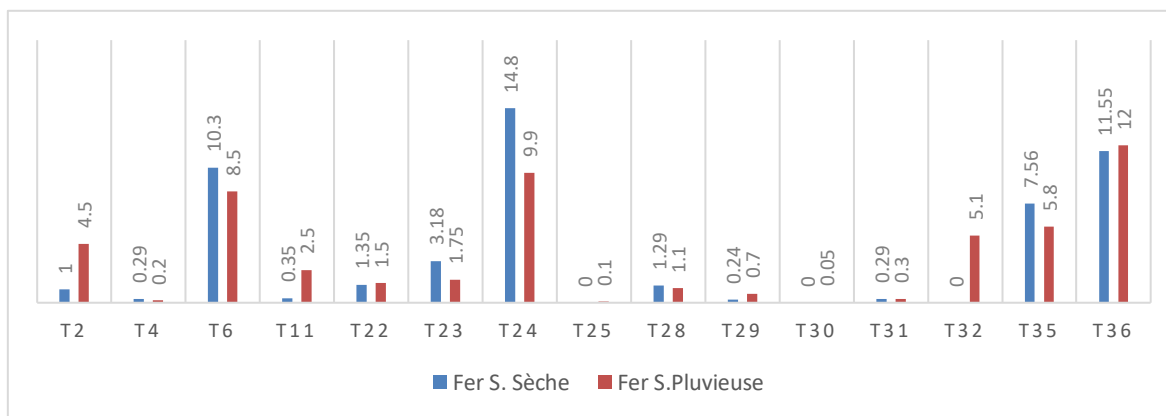


Fig. 2. Variation saisonnière et spatiale du Fer total des PEP

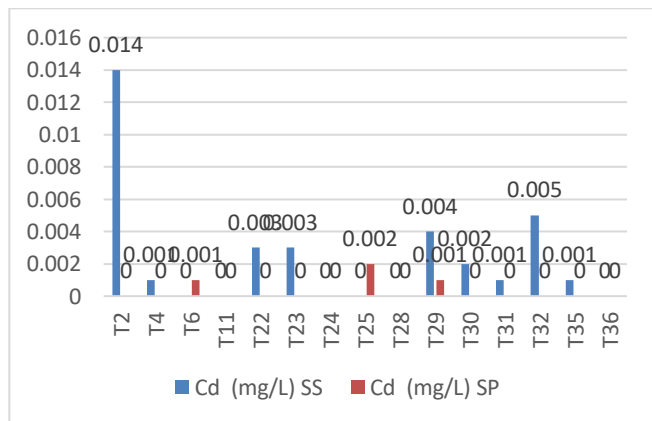


Fig. 3. Variation saisonnière et spatiale du cadmium des PEP

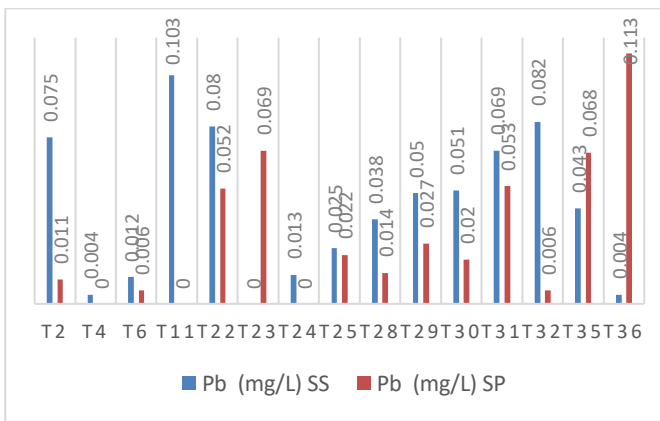


Fig. 4. Variation saisonnière et spatiale du plomb des PEP

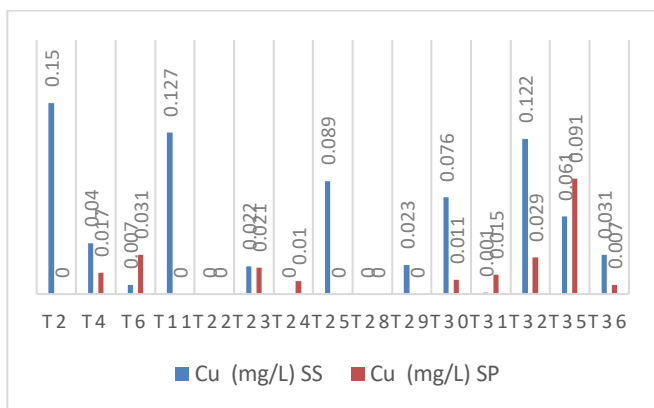


Fig. 5. Variation saisonnière et spatiale du cuivre des PEP

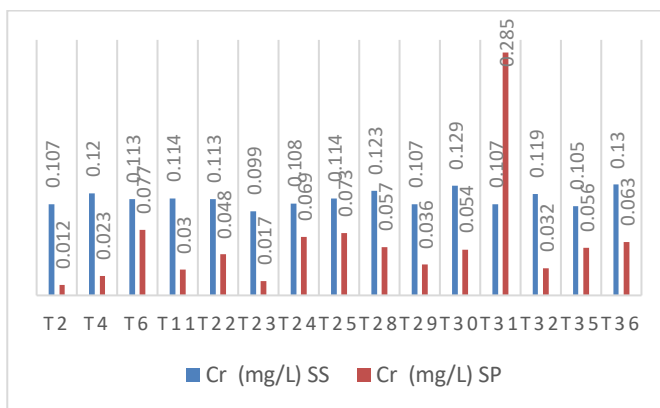


Fig. 6. Variation saisonnière et spatiale du chrome des PEP

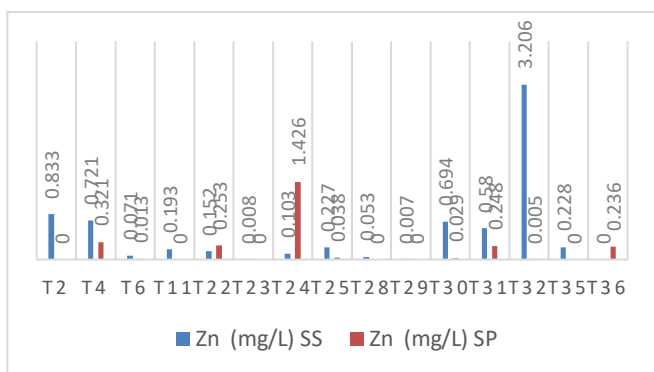


Fig. 7. Variation saisonnière et spatiale du zinc des PEP

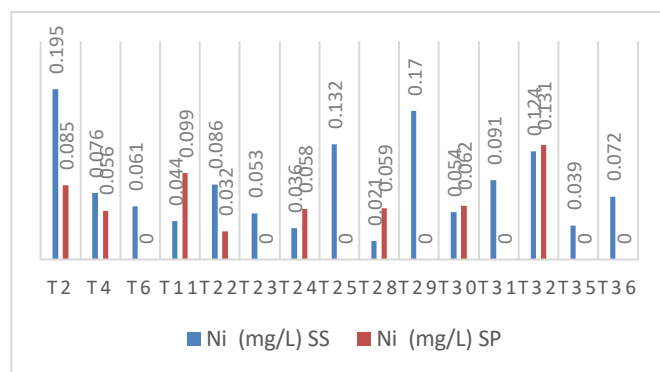


Fig. 8. Variation saisonnière et spatiale du nickel des PEP

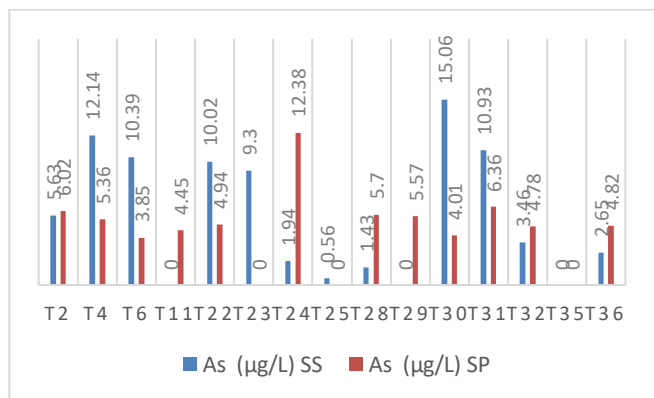


Fig. 9. Variation saisonnière et spatiale de l'arsenic des PEP

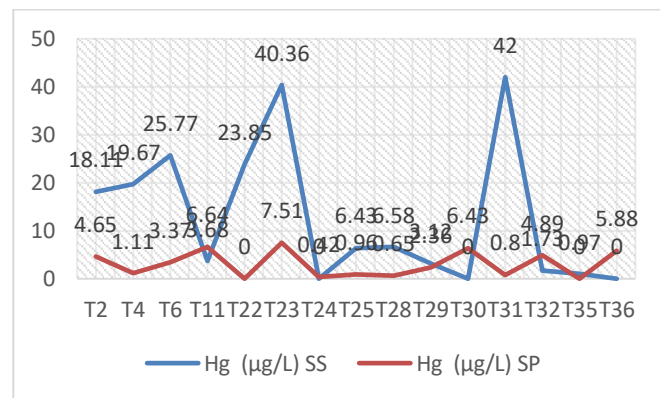


Fig. 10. Variation saisonnière et spatiale du mercure des PEP

3.2.2 ELÉMENTS PHYSICOCHIMIQUES DES ECU

Les teneurs en fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}) varient de 0 à 1,28 mg/l en saison sèche et de 0 à 1,11 mg/l en saison pluvieuse. Pour le Cd, elles oscillent respectivement entre 0 et 0,008 mg/l en saison sèche et entre 0 et 0,001 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en Pb varient de 0 à 0,102 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,061 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs varient respectivement de 0 à 0,049 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,022 mg/l en saison pluvieuse pour le Cu. Les teneurs en Cr obtenue en saison sèche varient de 0,034 à 0,19 mg/l contre 0 à 0,029 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en Zn varient de 0 à 0,016 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,945 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs Ni varient de 0,006 à 0,114 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,201 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en As obtenue en saison sèche varient de 0 à 9,46 µg/l contre 0 à 4,31 µg/l en saison pluvieuse. Pour le Hg, les teneurs sont de 41,36 à 88,1 µg/l en saison sèche et de 1,68 à 15,35 µg/l en saison pluvieuse.

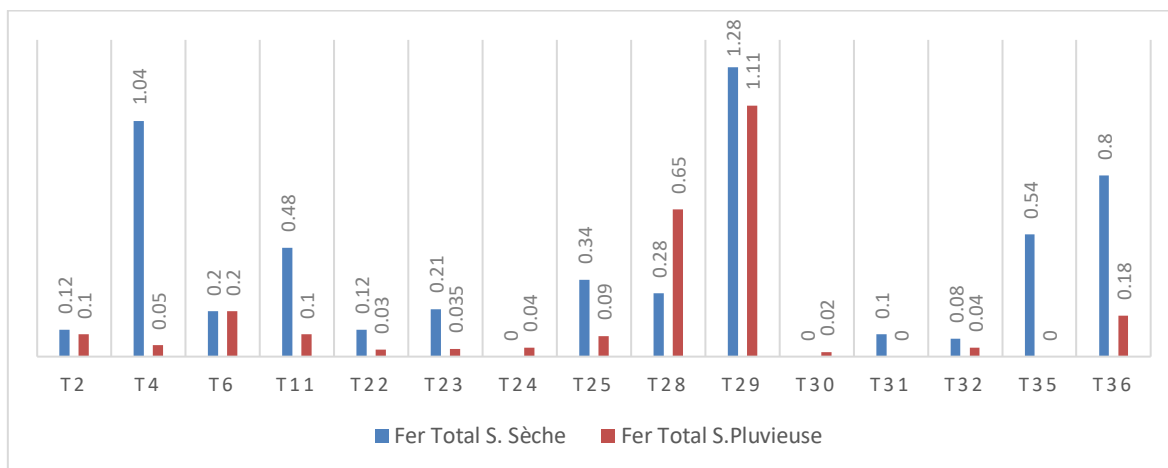


Fig. 11. Variation saisonnière et spatiale du fer total des ECU

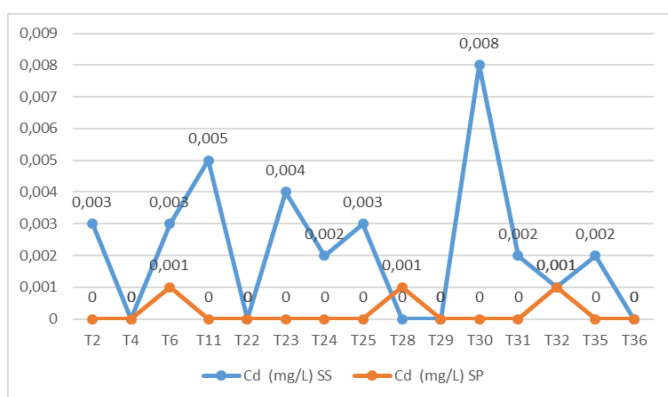


Fig. 12. Variation saisonnière et spatiale du cadmium des ECU

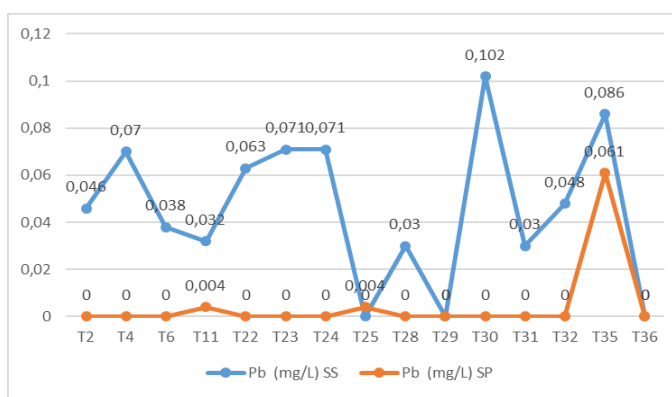


Fig. 13. Variation saisonnière et spatiale du plomb des ECU

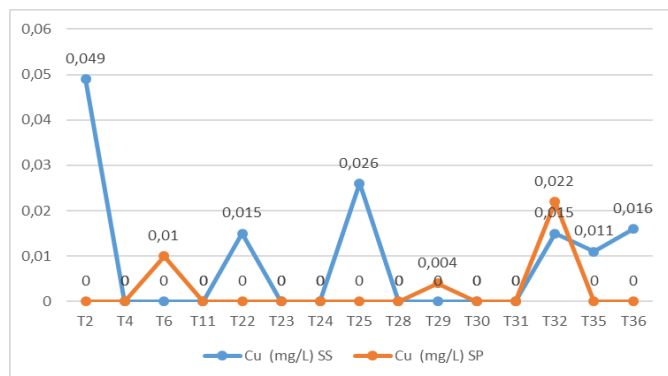


Fig. 14. Variation saisonnière et spatiale du cuivre des ECU

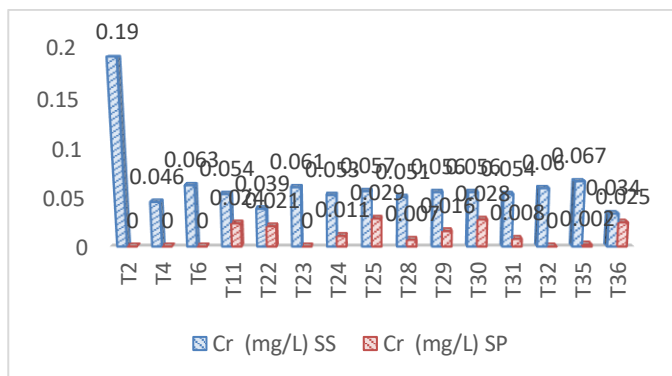


Fig. 15. Variation saisonnière et spatiale du chrome des ECU

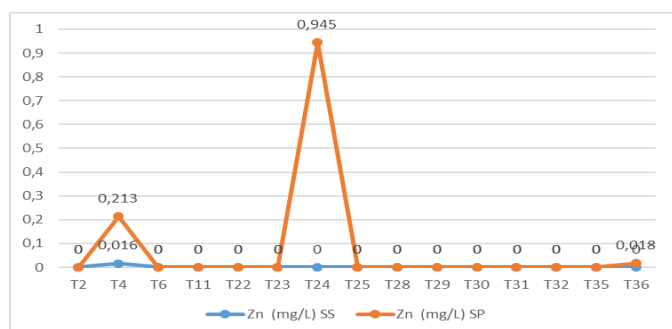


Fig. 16. Variation saisonnière et spatiale du zinc des ECU

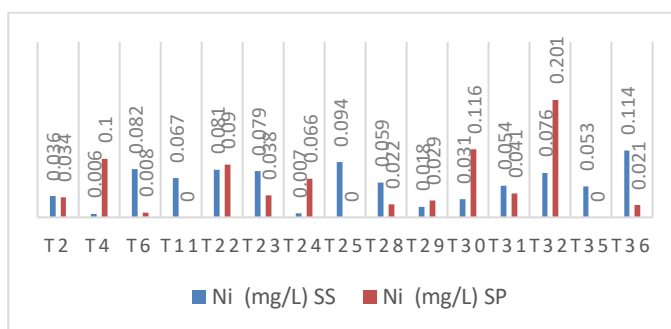


Fig. 17. Variation saisonnière et spatiale du nickel des ECU

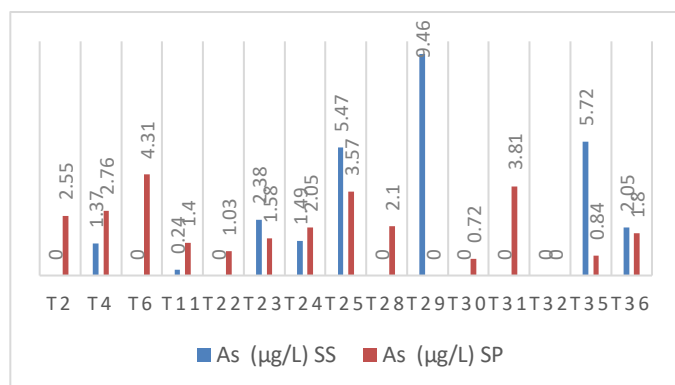


Fig. 18. Variation saisonnière et spatiale de l'arsenic des ECU

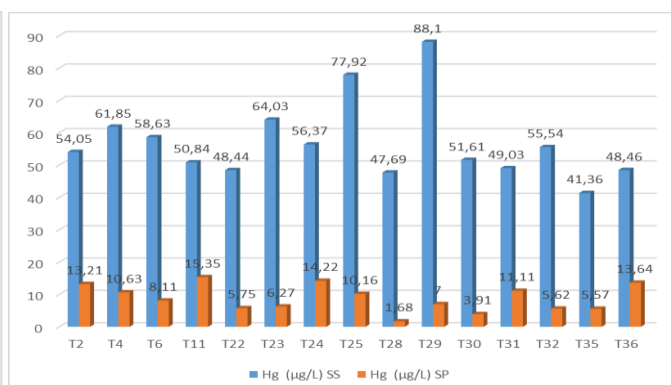


Fig. 19. Variation saisonnière et spatiale du mercure des ECU

4 DISCUSSION

Les paramètres analysés ont été faite simultanément sur les PEP et les ECU. Il s'agit d'une première du genre où les paramètres physico-chimiques ont été recherchés sur les PEP. Selon la revue bibliographique, la plupart des études ont concernés les screening phytochimique et biochimique des plantes et recettes de plantes et la qualité hygiénique de quelques recettes (Gbekley et al., 2017).

Nous avons considéré dans le cadre du présent étude les paramètres similaires pour les PEP et ECU. Ainsi, les résultats ont été comparés prioritairement à la directive de l'OMS, ensuite à la norme française et à la valeur guide de l'UE.

Les éléments traces métalliques (ETM) analysés dans les échantillons des PEP et des ECU sont au nombre de neuf (09) à savoir le fer (Fe), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le zinc (Zn), le nickel (Ni), l'arsenic (As) et le mercure (Hg). Des 09 ETM, seul le Fe n'est pas considéré comme toxiques dans les ressources en eau par l'OMS (2006). En effet, les éléments tels Cd, Hg, Pb, Zn, Ni, Cu, As et Cr autres les apports naturels comme les apports telluriques, sont des éléments chimiques caractéristiques d'une pollution de type urbain (Ayah et al., 2015).

Le fer (Fe) est naturellement présent dans les eaux souterraines sous forme ferreux (Fe^{2+}) soluble ou sous forme ferrique (Fe^{3+}) insoluble pouvant être complexé, colloïdal ou précipité (Matini et al., 2009). Il est beaucoup plus bénéfique que nuisible sur la santé. Cependant, sa présence dans l'eau ou préparation à base de l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui le précipitent (Belghiti et al., 2013; Hane et al., 2020). Les tableaux 12 et 13 montrent que les teneurs en fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}) dans les PEP et ECU sont très variables mais 76,70% des ECU et 43,33% des PEP restent dans les normes établies par l'OMS. Ces résultats se rapproche des travaux de Wanélus (2016) qui a mesuré dans la région métropolitaine de Port-au-Prince des concentrations qui varient de <0.015 à 0.066 mg/L en Fe. A l'absence d'activités industrielles dans la zone d'étude, la présence du fer dans les différents échantillons pourrait être d'origine géologique (décomposition de la roche et des minéraux). Pour 23,30% des ECU et 56,67% des PEP non conformes et supérieurs aux normes établies par l'OMS, ces résultats concordent avec ceux de Orelie (2017) dont le maxima de concentration en fer mesuré est de 2 mg/L. Ceci pourrait être dû au phénomène de lessivage des sols.

Les teneurs en Cuivre (Cu) varient de 0 à 0,15 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,091 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 0 à 0,049 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,022 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. Quant aux concentrations en Zinc (Zn), elles varient de 0 à 3,206 mg/l en saison sèche et de 0 à 1,426 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 0 à 0,016 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,945 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. Tous les échantillons sont conformes aux normes établies par l'OMS sauf 3,33% des PEP en saison

sèche sont supérieurs à la norme des concentrations en Zn. Nous observons une hausse des concentrations en Cu et Zn dans les ECU vers les PEP. D'autres auteurs ayant travaillé sur la même problématique ont trouvé des résultats qui se rapprochent de ceux de la présente étude. Wanélus (2016) a mesuré dans la région métropolitaine de Port-au-Prince des concentrations qui varient de 0.002 à 0.018 mg/L en Cu et de < 0.015 à 0.35 mg/L en Zn. Orélien (2017) a obtenu une teneur de 0.85 mg/L en Zn et 1.33 mg/L en Cu alors que la norme est de 2 mg/L. Ces situations sont probablement dues aux activités agricoles pratiquées dans la zone. Notons que le cuivre peut être non seulement utilisé comme fertilisant chimique mais aussi dans la fabrication des fongicides (INERIS, 2005). Vu que ces paramètres (Cu et Zn), à concentration élevée, peuvent poser de graves problèmes de santé (Levallois et Phaneuf, 1992; Gaudreau et Mercier, 1998; Mohod et Dhote, 2013), une attention particulière et rapide est nécessaire.

En ce qui concerne le Nickel (Ni), les concentrations varient de 0,021 à 0,195 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,131 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 0,006 à 0,114 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,201 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. 26,66% des ECU et 36,66% des PEP ont des concentrations au-delà de la norme de l'OMS. Les teneurs en Cd oscillent entre 0 et 0,014 mg/l en saison sèche, 0 et 0,002 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 0 et 0,008 mg/l en saison sèche et entre 0 et 0,001 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. 90% des échantillons des ECU et 83,34% des PEP sont conformes aux normes. Les teneurs en Pb varient de 0 à 0,103 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,113 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 0 à 0,102 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,061 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. Nous avons relevé 43,33% des échantillons des ECU et 56,66% des échantillons des PEP qui ont des teneurs supérieurs aux normes. En général, nous constatons des teneurs dans les PEP supérieurs à ceux des ECU. Cette évolution peut être justifiée par des principes actifs et chlorophylles présents dans les PEP qui seront à l'origine de l'augmentation des teneurs. Les plantes présentent plus souvent des bioaccumulations en ETM selon son environnement (Gnandi *et al.*, 2003). Les teneurs en Cr obtenues en saison sèche varient de 0,099 à 0,13 mg/l contre 0,012 à 0,285 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre une concentration en saison sèche variant de 0,034 à 0,19 mg/l et 0 à 0,029 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. L'ensemble des échantillons des PEP et 80% des ECU ont des concentrations dépassant les normes. Les concentrations en As obtenues en saison sèche varient de 0 à 15,06 µg/l contre 0 à 12,38 µg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre des teneurs en saison sèche variant de 0 à 9,46 µg/l et de 0 à 4,31 µg/l en saison pluvieuse. Nous relevons 20% des PEP dont les concentrations dépassent les normes. Les résultats concordent en partie avec ceux de Orélien (2017) dont la valeur mesurée a été inférieure à la limite de quantification (1 µg/L) pour tous les échantillons d'eau analysés.

Les teneurs en Cr et As sont plus élevées dans les PEP, les plantes médicinales seraient responsables du taux élevé des concentrations suite à une bioaccumulation. Pour le Hg, les teneurs sont de 0 à 42 µg/l en saison sèche et de 0 à 7,51 µg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 41,36 à 88,1 µg/l en saison sèche et de 1,68 à 15,35 µg/l en saison pluvieuse pour les ECU. L'ensemble des ECU et 73,33% des PEP ont des concentrations très élevées que la normale fixée par les normes de l'OMS. Les concentrations en Hg sont importantes dans les ECU que les PEP. Ce constat peut s'expliquer par la présence des plantes dans les PEP qui seraient responsables de la dissipation des concentrations en Hg. Selon Mohod et Dhote (2013), les métaux toxiques sont généralement présents dans les effluents industriels, municipaux et urbains. Le faible teneur en arsenic pourrait être lié à l'absence complète d'activités industrielles et d'effluents municipaux dans notre zone d'étude. Par ailleurs, l'usage des pesticides et herbicides dans la zone pourrait en être la cause. Wanélus (2016), dans son travail de caractérisation de l'eau destinée à la consommation humaine dans la région métropolitaine de Port-au-Prince, a trouvé des résultats identiques (< 1 µg/L) à la présente étude. Dans l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire, Ahoussi *et al.* (2013) ont montré aussi que des concentrations très faibles en arsenic (<0.002 mg/L) et autres ETM ont été obtenues dans les eaux des sources exploitées par la population du village Mangouin-Yrongouin. Il semble qu'en absence des activités industrielles, la concentration de ce metalloïde dans les eaux naturelles et autres solutions de consommation humaine ne pose presque pas de problème de conformité aux normes (Orélien, 2017).

5 CONCLUSION

L'étude physico-chimique des PEP et ECU a permis de constater que les paramètres présentent généralement de fortes variations saisonnières et spatiales. Cette étude a indiqué une variation significative entre les concentrations saisonnières des paramètres des PEP et des ECU. Selon les positions spatiales d'un canton à l'autre des échantillons, ces derniers sont pollués par les ETM avec des concentrations significativement supérieures aux normes de l'OMS pour plusieurs échantillons à majorité des PEP pendant les deux saisons. En outre, les teneurs sont pour la plupart supérieures en saison pluvieuse par apport fluviale avec des eaux de crues ayant lessivé les sols agricoles. Il a été noté des variations de concentrations beaucoup plus importantes au niveau des PEP. Ces teneurs dans les PEP au détriment des ECU étant aussi dépendantes de la présence des principes actifs et chlorophylles des plantes composantes ces préparations. Selon l'élément, ces plantes libèrent encore plus ou dissipent ce dernier. Cette situation pourrait causer des problèmes de santé nouveaux au détriment des maladies qu'on souhaite guérir.

REFERENCES

- [1] AFNOR. 1997. Eaux: méthode d'Essai. Directive relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine; directive 80/777/ CEE du 15juillet 1980. Ed Afnor Paris. 624p.
- [2] AFNOR. 1997. Qualité de l'Eau (Tome 2), Méthodes d'Analyse 1: Analyse Organoleptique, Mesures Physicochimiques, Paramètres Globaux, Composés Organiques (2e édn). AFNOR: Paris.
- [3] Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Kouassi A. M., Soro B., Biemi J. 2013. Etude hydrochimique et microbiologique de l'ouest montagneux de la Cote d'Ivoire: Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). 17p.
- [4] Ayah, Massabalo. 2015. Contribution des apports anthropiques dans la pollution d'un hydrosystème lagunaire subtropical: hydrogéochimie du système lagunaire de Lomé. Thèse de doctorat de l'Université de Lomé, Lomé, Togo. 209p.
- [5] Badameli, A., et V. Dubreuil. 2010. Diagnostic du changement climatique au Togo à travers l'évolution de la température entre 1961 et 2010. XXVIIIe Colloque de l'association internationale de Climatologie, Liège, 2015, 7p.
- [6] Badassam T.E-E., 2021. Evaluation de la contamination en éléments traces dans les eaux et sédiments de la lagune de Lomé (Togo) et bioaccumulation chez deux espèces de poisson. Thèse de doctorat de l'Université de Lomé, Lomé, Togo. 195p.
- [7] Belghiti M. L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R. 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de la nappe plio-quadernaire de la région de Meknès (Maroc). 16p.
- [8] Bliivi, A., 2005. Erosion côtière dans le Golfe de Guinée en Afrique de l'Ouest: exemple du Togo. Communication en Nairobi du 17 au 29 octobre 2005, REDDA/RIOD/UNCCD, 9p.
- [9] Deneau V., 1956: Singularités climatiques du Bas-Togo. Mémoire de la Météorologie Nationale, Paris.
- [10] DGEA. 2009. Étude de faisabilité des forages manuels au Togo : Identification des zones potentiellement favorables. Direction Générale de l'Eau et de l'Assainissement, Togo. 59p.
- [11] 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), 65p.
- [12] Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. 28p.
- [13] Dolo A., Coulibaly M., Maïga B., Daou M., Arama C., Troye-Blomberg M., Doumbo O. 2012. Réponse humorale anti-Plasmodium falciparum AMA1 et MSP1 dans deux groupes ethniques vivant en sympatrie au Mali. Bulletin de la Société de pathologie exotique 105: 364±369.
- [14] Gaudreau, D. Et Mercier M., 1998. La contamination de l'eau des puits privés par les nitrates en milieu rural. Module de Santé environnementale. Direction de la santé publique. Régie régionale de la santé et des services sociaux de la Montérégie. ISBN 2-89342-107-5. 64 p.
- [15] Gbekley H. E., Katawa G., Karou S. D., Anani K., Tchadjobo T., Ameyapoh Y., Batawila K., Simpore J., 2017. Ethnobotanical Study Of Plants Used To Treat Asthma In The Maritime Region In Togo. Afr J Tradit Complement Altern Med., 14 (1): 196-212 doi: 10.21010/ajtcam.v14i1.22 196.
- [16] Gnandi, K., 2003, Les déchets miniers phosphatés, source de la pollution marine au Togo, J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), série A, Tome 7, vol. 2: pp. 75–90.
- [17] Gueye F. 2019, Médecine traditionnelle du Sénégal: exemples de quelques plantes médicinales de la pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Thèse de doctorat de l'Université d'Aix- Marseille, Marseille, France. 176p.
- [18] Hane M., Diagne I., Ndiaye M., Ndiaye B., Dione C. T., Cisse D. Et Diop A., 2020. Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits et de forage consommées dans la commune de Sinthiou Maléme dans la région de Tambacounda (Sénégal). Int. J. Biol. Chem. Sci. 14 (9): 3400-3412, ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print). DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.34>.
- [19] INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques). 2005a. Zinc et ses dérivés. Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. 69p.
- [20] Institut National de la Statistique et des Études Économiques et Démographiques (INSEED), 2010. Perspectives démographiques du Togo 2011-2031; 26p.
- [21] Issola Y., Marcel A.K., Dougni B.K., Jean B., 2008. Caractéristiques physico-chimiques d'une lagune côtière tropicale: lagune de Fresque (Côte d'Ivoire). Afrique Science, 4 (3): 368-393.
- [22] Jiofack T, Fokunang C, Guedje N, Kemeuze V, Fongnzossie E, Nkongmeneck BA, Mapongmetsem PM, Tsabang N. 2010. Ethnobotanical uses of medicinal plants of two ethnoecological regions of Cameroon. International Journal of Medicine and Medical Sciences, 2 (3): 60-79.
- [23] Koudouvo K, Karou DS, Kokou K, Essien K, Aklikokou K, Glitho IA, Simpore J, Sanogo R, De Souza C, Gbeassor M. 2011a. An ethnobotanical study of antimalarial plants in Togo Maritime Region. Journal of Ethnopharmacology 134 (2011) 183–190. DOI: 10.1016/j.jep.2010.12.011
- [24] Levallois P. et Phaneuf D. 1992. Les risques associés à la contamination de l'eau potable par les nitrates. Bulletin d'information en santé environnementale. Centre de santé publique de Québec. Volume 3 - No 3. 18p.
- [25] Matini L, Moutou JM, Kongo-Mantono MS. 2009. Evaluation hydrochimique des eaux souterraines au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. Afr. Sci., 5 (1): 82-98.

- [26] Mohod C. V., Dhote J. 2013. Review of heavy metals in drinking water and their effect in human health. 5p
- [27] N'Guessan K, Tra Bi FH, Koné MW. 2009. Étude ethnopharmacologique des plantes antipaludiques utilisées en médecine traditionnelle chez les Abbey et Krobou d'Agboville (Côte-d'Ivoire). *Ethnopharmacologia*, 44: 42–50.
- [28] NM 03.7.009, (2012), Qualité des eaux Détermination du pH.
- [29] NM 03.7.011, (2001), Qualité des eaux Détermination de la conductivité électrique.
- [30] NM 03.7.013, 1999, Qualité de l'eau - Dosage des nitrites - Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
- [31] NM. 03.7.012 (1999), Qualité de l'eau Dosage de l'ammonium, Méthode spectrométrique manuelle.
- [32] NM.03.7.001, (2006), Qualité des eaux d'alimentation humaine.
- [33] NM.03.7.002, (2011), Contrôle et surveillance de l'eau dans les réseaux d'approvisionnement public.
- [34] NM.03.7.016, (1990), Qualité des eaux Détermination de l'odeur.
- [35] NM.03.7.017, (1990), Qualité des eaux Détermination du goût.
- [36] NM.03.7.024 (1990), Qualité de l'eau Détermination des chlorures, Dosage volumétrique par la méthode au nitrate mercurique.
- [37] Orélien F., 2017. Étude de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans le sous-bassin versant de Ravine Diable (Anse-à-Veau). Mémoire de Master, Communauté française de Belgique, 85 p.
- [38] Ouro-Sama, K. 2019. Régime alimentaire et étude écotoxicologique liée aux éléments traces d'un poisson Siluriforme (*Chrysichthys nigrodigitatus*, Lacépède, 1803) du complexe Lac Togo-Lagune d'Aného. Thèse de doctorat de l'Université de Lomé, Lomé, Togo. 256p.
- [39] Rodier J., Legude B., Merlet N. Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. et Rodi L. 2009. L'analyse de l'eau. 9th Edition. Dunod.1579p.
- [40] Sokegbe O.Y., Djeri B., Kogno E., Kangnidossou M., Mensah R.T., Soncy K. et Ameyapoh Y., 2017. Les risques sanitaires liés aux sources d'eau de boisson dans le district n°2 de Lomé-commune: cas du quartier d'Adakpamé. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11 (5): 2341-2351. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.31>.
- [41] UE. 2015. Directive (UE) n° 2015/1787 du 06/10/15 modifiant les annexes II et III de la directive98/83/CE du Conseil relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.
- [42] Wanélus F. 2016. Caractérisation physico-chimique de l'eau destinée à la consommation humaine dans la Région Métropolitaine de Port-au-Prince, Haïti. Travail de Fin d'Etudes. 64p.
- [43] WHO (World Health Organization). 2006. Guidelines for drinking-water quality. First addendum to third edition. Volume 1. Recommendations. 595p.
- [44] WHO (World Health Organization). 2011. Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. Geneva. 564p.
- [45] Yao K. M., Métongo B. S., Trokourey A. & Bokra Y., 2009. La pollution des eaux de la zone urbaine d'une lagune tropicale par les matières oxydables (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). *AJOL, Int. Biol. Chem. Sci.* 3 (3): 598-605.