

Étude des paramètres physico-chimiques des eaux du marigot Houet réutilisées pour le maraîchage à l'ouest du Burkina Faso

Hadara DABRE^{1,2*}, Alain Péoulé Kouhouyiwo GOMGNIMBOU², Abdramane SANON³,
Michel Kiropori GOMGNIMBOU⁴ et Ibrahim SANGARE⁵

¹ Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA), Laboratoire Régional d'Analyse des Eaux, 01 BP 55 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

² Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherche Agricole, Laboratoire Sol-Eau-Plante, Station de Farako-Bâ, 01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

³ Université Thomas SANKARA, Centre Universitaire de Tenkodogo, Laboratoire d'étude et de Recherche sur la Fertilité du Sol, Université Nazi Boni de Bobo Dioulasso, 12 BP 417 Ouagadougou 12, Burkina Faso

⁴ Institut Supérieur des Sciences de la Santé, Laboratoire de Recherche du Centre MURAZ, 01 BP 390 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

⁵ Institut Supérieur des Sciences de la Santé, Laboratoire du Centre Hospitalier Universitaire Sanon Sourô, 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

(Reçu le 11 Juillet 2025 ; Accepté le 11 Août 2025)

* Correspondance, courriel : hdabre@yahoo.fr

Résumé

Ce travail de recherche étudie des paramètres physico-chimiques des eaux du marigot Houet réutilisées pour le maraîchage à l'Ouest du Burkina Faso. Pour mieux comprendre la pollution de ces eaux, un échantillonnage aléatoire stratifié a été réalisé sur six points de prélèvement P1, P2, P3, P4, P5 et P6 situés sur le marigot sur trois campagnes notamment la saison sèche chaude, la saison des pluies et la saison sèche froide. Les résultats montrent que les eaux usées ont une température maximale moyenne de $27,41 \pm 2,1$ °C en saison sèche chaude et minimale de $24,66 \pm 4,7$ °C en saison froide, soit une augmentation de 100,28 % par rapport à la saison froide. Le pH varie entre $7,13 \pm 0,37$ et $7,81 \pm 1$ restant dans la fourchette recommandée par l'OMS. Les concentrations de sodium, de phosphates, de nitrates, d'ammonium respectivement de $116,3 \pm 62,5$ mg/L, de $553 \pm 224,0$ mg/L, de $11,4 \pm 5,0$ mg/L et $6,2 \pm 2,1$ mg/L sont élevées, particulièrement en saison sèche chaude, et sont tous non conformes aux seuils OMS recommandés pour l'irrigation. Au regard du seuil de non-conformité évaluée, une gestion adaptée de ces eaux usées réutilisées pour l'irrigation des produits maraîchers s'impose afin de limiter les risques sanitaires et agro-environnementaux.

Mots-clés : eaux usées, irrigation, qualité physico-chimique, pollution, Burkina Faso.

Abstract

Study of the physico-chemical parameters of Houet marigot water reused for market gardening in western Burkina Faso

This research study examines the physical and chemical parameters of water from the Houet backwater that is reused for market gardening in western Burkina Faso. To better understand the pollution of these waters, stratified random sampling was carried out at six sampling points (P1, P2, P3, P4, P5, and P6) located on the backwater during three campaigns, namely the hot dry season, the rainy season, and the cold dry season. The results show that the wastewater has an average maximum temperature of 27.41 ± 2.1 °C in the hot dry season and a minimum temperature of 24.66 ± 4.7 °C in the cold season, representing an increase of 100.28 % compared to the cold season. The pH varies between 7.13 ± 0.37 and 7.81 ± 1 , remaining within the range recommended by the WHO. The concentrations of sodium, phosphates, nitrates, and ammonium are 116.3 ± 62.5 mg/L, 553 ± 224.0 mg/L, 11.4 ± 5.0 mg/L, and 6.2 ± 2.1 mg/L, respectively, are high, particularly in the hot dry season, and all fail to meet the WHO thresholds recommended for irrigation. In view of the assessed non-compliance threshold, appropriate management of this wastewater reused for irrigating market garden produce is necessary in order to limit health and agro-environmental risks.

Keywords : *wastewater, irrigation, physico-chemical quality, pollution, Burkina Faso.*

1. Introduction

La dernière décennie est marquée par une croissance rapide des populations des villes des pays en développement [1]. Cette explosion démographique et l'urbanisation poussée soumettent les populations à des difficultés relatives à l'approvisionnement en produits alimentaires frais et à la disponibilité des terres exploitables [2]. L'agriculture représente l'opportunité d'assurer la sécurité alimentaire, les conditions de santé, l'économie locale et l'intégration sociale des jeunes [3]. En Afrique subsaharienne, on estime que 10 % de la population des villes utilisent des eaux usées ou eaux de surface polluées pour l'irrigation des légumes [4]. Les modifications climatiques observées ces dernières années, caractérisées par l'augmentation de la température moyenne et par la rareté des pluies, ont pour corollaires la dégradation de la qualité et la disponibilité de l'eau [5]. L'accès à l'eau potable, l'usage de l'eau agricole et la pollution des eaux sont autant de problèmes auxquels est confronté le Burkina Faso [6]. L'agriculture irriguée urbaine et périurbaine de la région des Hauts Bassins contribue à l'économie locale et a un fort impact sur la production économique locale [7]. L'irrigation des cultures avec les eaux usées traitées ou non, diluées et même brutes est une pratique répandue dans les zones urbaines et péri-urbaines dans la plupart des pays sahéliens [5, 7 - 10]. Ces eaux usées constituent une ressource importante et une alternative intéressante de par leur pouvoir fertilisant mais aussi leur disponibilité [8, 11]. Cependant, ces eaux usées sont employées généralement sans traitement préalable ou avec un traitement partiel favorisant ainsi une contamination des légumes et des sols irrigués. En effet, les eaux usées contiennent de nombreux polluants tels que les solides en suspension, les microorganismes pathogènes, les métaux lourds, les pesticides, qui peuvent les rendre inadéquates pour l'irrigation [12, 13]. Les eaux de surface, essentielles pour l'agriculture et la consommation humaine, sont souvent polluées par des déchets de toute nature, ce qui affecte la santé publique et l'économie locale [10]. Les pratiques agricoles intensives et l'urbanisation rapide contribuent à cette pollution, notamment dans les zones péri-urbaines où les déchets solides et les effluents liquides sont souvent déversés dans les cours d'eau [7]. Au Burkina Faso, des récentes études sont parvenues au risque de la pollution des eaux d'irrigation et des légumes [7, 9, 14 - 16]. Ces études ont été focalisées sur les bonnes pratiques agricoles, les risques sanitaires et environnementaux associés à la réutilisation des eaux usées en agriculture, ainsi que sur le non-

respect des normes de réutilisation. Cependant, elles n'explorent pas les variations spatio-temporelles de la qualité de l'eau, ni les interactions entre les campagnes et les points de prélèvement. Cette étude s'inscrit dans ce cadre et a pour objectif d'évaluer le niveau de pollution des eaux du marigot Houet en déterminant leurs caractéristiques physico-chimiques.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

L'étude a été réalisée dans la ville de Bobo-Dioulasso, chef-lieu de la province du Houet, deuxième ville et capitale économique du Burkina Faso. La ville s'étend sur 14 km² et est située entre les latitudes 11° 00' et 11° 30 Nord et longitudes 4° 36' et 4° 00 Ouest' 405 m représenté sur la **Figure 1**. Elle est la première région productrice de fruit et légumes du pays avec 15 % de la production maraîchère du pays [17]. Le Burkina Faso est caractérisé par un climat tropical avec trois saisons distinctes. La saison des pluies qui s'étend de juillet à octobre, suivie de la saison sèche froide allant de novembre à février, et enfin de la saison sèche chaude qui va de mars à juin. La température annuelle moyenne varie entre 25 °C et 32 °C, avec des minimales mensuelles de 18°C en décembre et janvier et des maximales de 37°C en mars et avril.

2-2. Échantillonnage des eaux usées

L'échantillonnage des eaux usées du marigot Houet a été réalisé selon la méthode d'échantillonnage aléatoire stratifié. C'est une technique qui consiste à subdiviser une population hétérogène en sous populations ou strates plus homogènes, mutuellement exclusives et collectivement exhaustives [18]. Ainsi le marigot Houet a été subdivisée en quatre strates correspondant à quatre zones de prélèvement distinctes que sont le premier point de prélèvement (P1), le deuxième point de prélèvement (P2); le troisième point de prélèvement (P3) et le quatrième point de prélèvement (P4) représentés sur la **Figure 1**. La méthodologie d'échantillonnage a été effectuée en deux phases notamment : la Première phase qui a permis d'utiliser des photos aériennes pour la construction des strates et la deuxième phase qui a consisté à collecter des données dans les différentes strates. La construction des strates s'est effectuée par la création d'une carte de la zone d'étude afin d'identifier les sous-zones de prélèvement d'eau en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques notamment la densité d'occupation des maraîchers, la situation géographique par rapport à l'exutoire de la STEP de Dogona [7, 19], etc. Dans chaque sous zone, les points de prélèvement ont été sélectionnés indépendamment les uns des autres. Les échantillons des eaux seront ensuite prélevés au niveau de ces points identifiés P1, P2, P3 et P4 jusqu'à couvrir toute la zone d'étude. Les points P5 et P6 constituent des points de prélèvement des eaux usées à l'entrée et la sortie de la station d'épuration de Dogona représentés sur la **Figure 1**. Les échantillons d'eau ont été collectés sur une période d'un an, couvrant trois saisons distinctes représenté dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Nombre d'échantillons en fonction des campagnes de prélèvement

Campagnes de prélèvement		Points de prélèvements ou strates	Nombre d'échantillons
Cp1	PP1	P1	4
		P2	4
		P3	4
		P4	4
	PP2	P5	4
		P6	4
Cp2	PP1	P1	4
		P2	4
		P3	4
		P4	4
	PP2	P5	4
		P6	4
Cp3	PP1	P1	4
		P2	4
		P3	4
		P4	4
	PP2	P5	4
		P6	4

Légende : Cp1 : campagne en saison sèche allant de mars à juin ; Cp2 : campagne en saison des pluies allant de juillet à octobre ; Cp3 : campagne en saison froide allant de novembre à février ; PP1 : Points de prélèvement sur le marigot Houet ; PP2 : Points de prélèvement sur la station d'épuration ; P1 : 1^{er} point de prélèvement ; P2 : 2^e point de prélèvement ; P3 : 3^e point de prélèvement ; P4 : 4^e point de prélèvement ; P5 : Entrée station d'épuration ; P6 : Sortie station d'épuration

Les prélèvements ont été réalisés en utilisant des flacons stériles en polyéthylène placés dans une glacière pour maintenir l'intégrité des échantillons [20] et conformément aux normes NF EN ISO 19458 et NF EN ISO 5667-3. Les analyses de la température, de potentiel hydrogène et de la conductivité ont été réalisées in-situ tandis que les analyses des autres paramètres minéralogiques ont été effectuées au laboratoire.

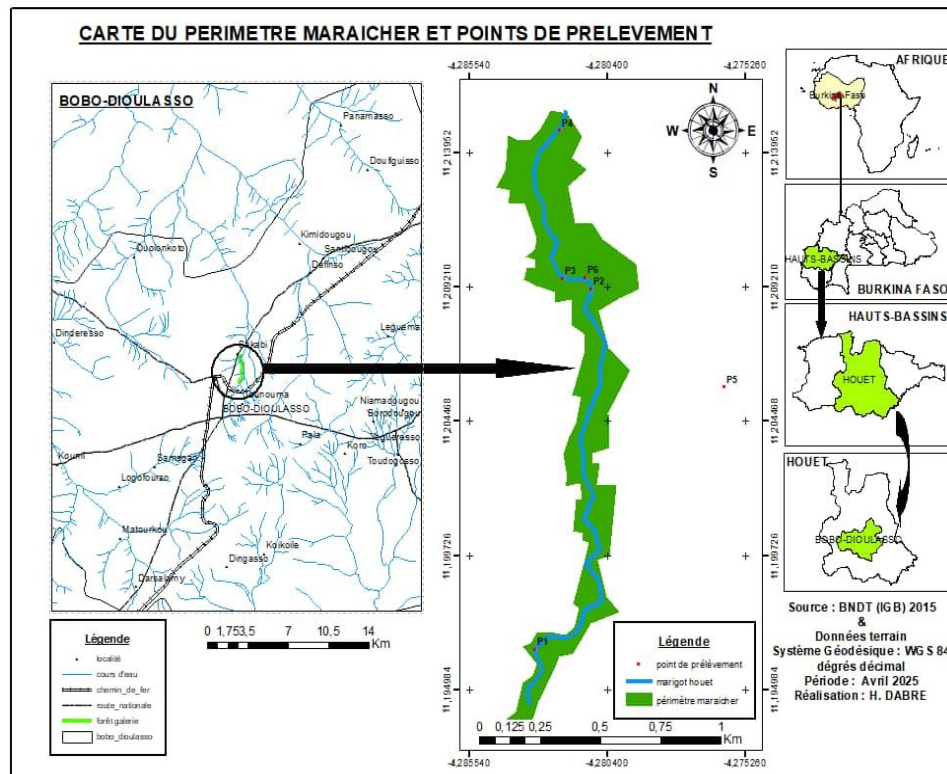


Figure 1 : Carte du site maraîcher de Dogona et des points de prélèvement d'eau

2-3. Méthodes d'analyses des échantillons d'eaux

Les analyses physico-chimiques ont été conduites selon les protocoles décrits par Rodier [20] qui garantissent la reproductibilité et la précision des mesures. Ces méthodes ont été précédemment utilisées avec succès dans des études antérieures [7, 10]. Les analyses de température, de pH, de conductivité ont été réalisées par la méthode potentiométrique en l'aide de pH mètre et de conductivimètre portatifs. Les paramètres minéralogiques comme le sodium (Na^+), le potassium (K^+), l'ammonium (NH_4^+), le sulfate (SO_4^{2-}), le nitrate (NO_3^-), le nitrite (NO_2^-), le phosphate (PO_4^{3-}) et le bicarbonate (HCO_3^-) ont été mesurés par la méthode spectrophotométrique. Quant aux paramètres de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}) et de bicarbonate (HCO_3^-), les échantillons ont été subis des dosages volumétriques. Les équipements utilisés pour les mesures ont été au préalable étalonnés et vérifiés avec des solutions certifiées afin de nous rassurer de la fiabilité des résultats obtenus.

2-4. Traitement et analyse statistique des données

Les données ont été traitées avec le logiciel Microsoft Excel 2016. Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée à l'aide du module XLSTAT 2016 version 2016.02.27444 [21]. Les comparaisons de moyennes ainsi que les tests de corrélation ont été réalisées par le test ppds (LSD) avec un seuil de significativité fixé à 5 % ($\alpha = 0,05$).

3. Résultats

3-1. Détermination des paramètres physiques des eaux du marigot

Le **Tableau 1** montre les paramètres physiques des eaux usées en fonction de la campagne et des points de prélèvements. L'analyse statistique a montré des différences non significatives entre les interactions campagnes et points de prélèvements pour les paramètres température ($p = 0,191$) et pH ($p = 0,363$). Cependant l'interaction entre points de prélèvement et campagne montre des différences très hautement significative ($p = 0,0001$) pour la variable conductivité. L'analyse statistique montre une différence significative entre les campagnes pour la variable température ($p = 0,008$), en revanche on n'a pas noté de différence statistique entre les campagnes pour les paramètres pH ($p = 0,42$) et la conductivité ($p = 0,49$). La température la plus élevée ($27,413 \pm 2,1$) a été observée pendant la campagne 1 (saison chaude). La température la plus basse a été observée pendant la campagne 3 (saison froide). Comparativement à la Campagne 3, la campagne 1 a entraîné une augmentation de la température de 100,28 %. Les résultats ont montré des différences non significatives entre les points de prélèvements pour les paramètres température ($p = 0,13$) et pH ($p = 0,079$), cependant on observe une différence très hautement significative entre les points de prélèvements ($p = 0,0001$) pour la variable conductivité. La conductivité la plus élevée est observée au point P3 situé en l'aval de l'exutoire de la station d'épuration. La conductivité la plus faible est enregistrée au point P1 à l'entrée du périmètre irriguée. Par rapport à ce point de prélèvement, le point P4 située à la sortie du périmètre irrigué entraîne une augmentation de la conductivité de 88,4 %. Pendant les campagnes d'observations, le pH varie entre 7,50 et 7,81 avec une moyenne de 7,62. Tandis que la conductivité varie de 1277,78 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ à 1711,08 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ avec une moyenne de 1481,19 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ pour les campagnes. Concernant les points de prélèvement, il ressort que le pH varie de 7,13 à 7,71 avec une moyenne de 7,47 alors que la conductivité varie de 427,53 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ à 1115,75 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ avec une moyenne de 774,16 $\mu\text{S}/\text{Cm}$.

Tableau 2 : Paramètres physiques des eaux usées en fonction de la campagne et des points de prélèvements

Traitements		Température (°C)	pH (UpH)	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{Cm}$)
Cp	Cp1	$27,413 \pm 2,1^a$	$7,815 \pm 1$	$1711,083 \pm 1305,05^a$
	Cp2	$26,967 \pm 1,86^a$	$7,554 \pm 1$	$1454,708 \pm 1337,59^{ab}$
	Cp3	$24,664 \pm 4,7^b$	$7,502 \pm 0,6$	$1277,783 \pm 1121,61^b$
	$Pr > F$	0,008	0,42	0,49
PP1	P1	$25,075 \pm 4,73^b$	$7,357 \pm 0,31^b$	$538,617 \pm 90,26^{de}$
	P2	$25,692 \pm 3,52^b$	$7,132 \pm 0,37^b$	$427,533 \pm 46,72^e$
	P3	$26,280 \pm 3,56^b$	$7,705 \pm 0,27^{ab}$	$1115,750 \pm 520,59^c$
	P4	$25,748 \pm 3,34^{ab}$	$7,718 \pm 0,22^{ab}$	$1014,750 \pm 520,59^{cd}$
PP2	P5	$28,642 \pm 1,26^a$	$7,673 \pm 1,96^{ab}$	$3225,083 \pm 1231,36^a$
	P6	$26,650 \pm 1,85^{ab}$	$8,157 \pm 0,18^a$	$2565,417 \pm 1002,35^b$
$Pr > F$		0,13	0,079	< 0,0001
Camp*PV		0,191	0,363	< 0,0001

Légende : Cp1 : campagne en saison sèche allant de mars à juin ; Cp2 : campagne en saison des pluies allant de juillet à octobre ; Cp3 : campagne en saison froide allant de novembre à février ; PP1 : Points de prélèvement sur le marigot Houet ; PP2 : Points de prélèvement sur la station d'épuration ; P1 : 1^{er} point de prélèvement ; P2 : 2^e point de prélèvement ; P3 : 3^e point de prélèvement ; P4 : 4^e point de prélèvement ; P5 : Entrée station d'épuration ; P6 : Sortie station d'épuration.

3-2. Détermination des paramètres chimiques des eaux usées

L'analyse statistique a révélé des différences non significatives entre les interactions campagnes et les points de prélèvement pour les paramètres calcium (Ca^{2+}) et nitrites (NO_2^-). En revanche, l'interaction entre les points de prélèvement et les campagnes a montré des différences très hautement significatives ($p < 0,0001$) respectivement pour les variables sodium (Na^+), potassium (K^+), magnésium (Mg^{2+}), ammonium (NH_4^+), sulfates (SO_4^{2-}), nitrates (NO_3^-), phosphates (PO_4^{3-}) et bicarbonate (HCO_3^-). L'analyse statistique indique également une différence très hautement significative entre les campagnes pour tous les paramètres de pollution chimique à l'exception des variables calcium (Ca^{2+}) et nitrites (NO_2^-). La concentration en phosphates (PO_4^{3-}) la plus élevée est enregistrée lors de la Campagne 1, avec une différence significative par rapport à la Campagne 3 tandis que la concentration la plus basse est mesurée pendant la Campagne 2, et comparativement à cette dernière, la Campagne 1 entraîne une augmentation en phosphate de 18,13 %. La concentration en nitrate (NO_3^-) la plus élevée ($11,4 \pm 5,0 \text{ mg/l}$) a été également enregistrée pendant la Campagne 1, tandis que la concentration la plus basse ($7,1 \pm 4,5 \text{ mg/l}$) a été observée pendant la Campagne 3, et comparativement à cette dernière, la Campagne 1 entraîne une augmentation en nitrate de 37,71 %. Quant aux concentrations en potassium (K^+), la valeur la plus élevée est remarquable à la campagne 2 et la plus faible à la campagne 3, et par rapport à cette dernière, la Campagne 1 entraîne une hausse de 55,57 %. Les résultats d'analyses des eaux du marigot ont également montré des différences très hautement significatives entre les différents points de prélèvement pour tous les paramètres minéraux sauf les variables calcium (Ca^{2+}) et nitrites (NO_2^-). Les concentrations en sodium (Na^+), potassium (K^+), magnésium (Mg^{2+}), ammonium (NH_4^+), sulfates (SO_4^{2-}), nitrates (NO_3^-), phosphates (PO_4^{3-}) et bicarbonate (HCO_3^-), les plus élevées ont été mesurées à l'aval de l'exutoire de la station d'épuration sur les points P3 et P4, tandis que les plus faibles ont été enregistrées à amont de l'exutoire notamment aux points P1 et P2 du périmètre irrigué.

Tableau 3 : Paramètres de pollution chimique des eaux usées en fonction de la campagne et des points de prélèvements

Traitements		Cations						Anions			
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻	P-PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	meq/l
CP	Cp1	116,3 ± 62,5 ^a	70,9 ± 11,6 ^a	0,9 ± 0,3 ^a	0,7 ± 0,2 ^a	4,2 ± 1,6 ^b	21,9 ± 9,7 ^b	11,4 ± 5,0 ^a	0,3 ± 0,1 ^b	553,0 ± 224,0 ^a	6,7 ± 5,1 ^b
	Cp2	88,6 ± 40,1 ^b	73,9 ± 53,6 ^a	0,8 ± 0,2 ^a	0,6 ± 0,2 ^a	6,2 ± 2,1 ^a	31,2 ± 18,9 ^a	7,6 ± 5,7 ^b	0,6 ± 0,6 ^a	450,4 ± 226,7 ^b	10,2 ± 6,6 ^a
	Cp3	106,8 ± 72,2 ^a	31,5 ± 60,4 ^b	0,9 ± 0,2 ^a	0,5 ± 0,2 ^a	3,9 ± 2,1 ^b	16,5 ± 14,4 ^b	7,1 ± 4,5 ^b	0,1 ± 0,1 ^b	452,7 ± 335,0 ^b	9,4 ± 3,2 ^a
Pr > F		< 0,0001	< 0,0001	0,128	0,032	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,118	< 0,0001	< 0,0001
PP1	P1	45,4 ± 9,2 ^d	31,6 ± 10,8 ^c	1,0 ± 0,2 ^a	0,4 ± 0,1 ^b	2,5 ± 1,0 ^d	9,2 ± 5,9 ^d	3,8 ± 2,0 ^c	0,3 ± 0,3 ^a	238,6 ± 26,3 ^a	3,1 ± 0,9 ^d
	P2	48,1 ± 7,2 ^{cd}	28,0 ± 10,4 ^c	0,8 ± 0,2 ^a	0,6 ± 0,2 ^{ab}	2,6 ± 1,1 ^d	7,4 ± 3,5 ^d	7,8 ± 5,1 ^{bc}	0,3 ± 0,3 ^a	242,5 ± 33,0 ^a	7,2 ± 5,2 ^b
	P3	65,0 ± 17,5 ^{bc}	28,3 ± 4,3 ^c	0,8 ± 0,2 ^a	0,6 ± 0,2 ^{ab}	4,7 ± 2,0 ^c	18,0 ± 5,9 ^{cd}	5,6 ± 3,0 ^c	0,4 ± 0,3 ^a	304,4 ± 59,2 ^d	6,3 ± 0,9 ^{bc}
	P4	83,1 ± 10,9 ^b	27,3 ± 4,2 ^c	0,8 ± 0,1 ^a	0,6 ± 0,1 ^{ab}	4,8 ± 1,4 ^c	23,7 ± 14,9 ^{bc}	6,8 ± 4,0 ^{bc}	0,5 ± 0,4 ^a	370,0 ± 49,2 ^c	5,5 ± 0,9 ^c
PP2	P5	196,6 ± 40,9 ^a	143,8 ± 79,7 ^a	0,9 ± 0,3 ^a	0,8 ± 0,4 ^a	8,0 ± 1,8 ^a	48,4 ± 12,4 ^a	17,7 ± 7,6 ^a	0,3 ± 0,2 ^a	944,8 ± 178,6 ^a	15,7 ± 4,0 ^a
	P6	185,3 ± 31,5 ^a	93,5 ± 40,1 ^b	0,9 ± 0,3 ^a	0,6 ± 0,3 ^{ab}	6,1 ± 1,3 ^b	32,4 ± 5,1 ^b	10,6 ± 4,4 ^b	0,2 ± 0,2 ^a	811,8 ± 78,5 ^b	14,8 ± 3,7 ^a
Pr > F		< 0,0001	< 0,0001	0,128	0,032	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,118	< 0,0001	< 0,0001
Camp *PV		< 0,0001	< 0,0001	0,128	0,032	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,118	< 0,0001	< 0,0001

Légende : Cp1 : campagne en saison sèche allant de mars à juin ; Cp2 : campagne en saison des pluies allant de juillet à octobre ; Cp 3 : campagne en saison froide allant de novembre à février; PP1 : Points de prélèvement sur le marigot Houet ; PP2 : Points de prélèvement sur la station d'épuration ; P1 : 1^{er} point de prélèvement ; P2 : 2^e point de prélèvement ; P3 : 3^e point de prélèvement ; P4 : 4^e point de prélèvement ; P5 : Entrée station d'épuration ; P6 : Sortie station d'épuration ; Ca^{2+} : ion calcium ; NO_2^- : ion nitrite ; Na^+ : ion sodium ; K^+ : ion potassium ; Mg^{2+} : ion magnésium ; NH_4^+ : ion ammonium ; SO_4^{2-} : ion sulfate ; NO_3^- : ion nitrates ; PO_4^{3-} : ion phosphate et HCO_3^- : ion bicarbonate.

3-3. Corrélation de la campagne et des points de prélèvements

Le **Tableau 4** présente la matrice de corrélation entre différents paramètres physico-chimiques. Cette matrice met en évidence une forte corrélation positive significative entre les variables potassium (K^+), nitrate (NO_3^-) et phosphate (PO_4^{3-}). En effet, le phosphate (PO_4^{3-}) présente des corrélations très fortes avec le sodium ($r = 0,952$) et le potassium ($r = 0,792$). Les nitrates (NO_3^-) sont fortement corrélés au phosphate ($r = 0,620$), au sodium ($r = 0,592$) et au potassium ($r = 0,529$). La matrice a également relevé une corrélation positive significative entre la conductivité et plusieurs ions notamment le Na^+ , PO_4^{3-} , HCO_3^- avec des valeurs respectives de $r = 0,756$; $r = 0,746$; $r = 0,733$.

Tableau 4 : Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques

Variables	T	pH	Cond	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
T	1												
pH	0,148	1											
Cond	0,194	0,300	1										
Na ⁺	0,244	0,296	0,756	1									
K ⁺	0,262	-0,087	0,492	0,585	1								
Ca ²⁺	-0,090	-0,100	-0,033	-0,028	-0,118	1							
Mg ²⁺	-0,014	0,004	0,109	0,277	0,170	-0,156	1						
NH ₄ ⁺	0,283	0,217	0,621	0,617	0,607	-0,207	0,153	1					
SO ₄ ²⁻	0,280	-0,044	0,552	0,586	0,636	-0,012	0,211	0,661	1				
NO ₃ ⁻	0,213	0,283	0,376	0,592	0,529	-0,016	0,315	0,454	0,420	1			
NO ₂ ⁻	0,112	-0,113	-0,061	-0,056	-0,053	-0,074	0,033	0,141	0,344	0,071	1		
PO ₄ ³⁻	0,267	0,194	0,746	0,952	0,792	-0,045	0,265	0,669	0,624	0,620	-0,091	1	
HCO ₃ ⁻	0,311	0,290	0,733	0,603	0,510	-0,050	0,044	0,642	0,508	0,357	-0,112	0,632	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha = 0,05$;

Légende : T : Température ; pH : potentiel Hydrogène ; Cond : conductivité ; Ca²⁺ : ion calcium ; NO₂⁻ : ion nitrite ; Na⁺ : ion sodium ; K⁺ : ion potassium ; Mg²⁺ : ion magnésium ; NH₄⁺ : ion ammonium ; SO₄²⁻ : ion sulfate ; NO₃⁻ : ion nitrates ; PO₄³⁻ : ion phosphate et HCO₃⁻ : ion bicarbonate.

4. Discussion

4-1. Variation des paramètres physiques des eaux usées prélevées

Notre étude a permis de mettre en évidence les paramètres physiques de l'eau selon les points de prélèvements et en fonction de la période de l'année. Les résultats de l'interaction entre point de prélèvement et campagne montrent des différences très hautement significative ($p = 0,0001$). Cette situation s'explique par le déversement direct ou indirect des eaux usées domestiques et industrielles dans le marigot. La conductivité des eaux usées du marigot a augmenté de 88,38 % selon que les eaux quittent du point P1 situé en l'entrée du périmètre irriguée au point P4 situé à la sortie. Les rejets des eaux usées traitées de la station d'épuration de Dogona, les lixiviats des dépôts d'ordures ménagères, et les apports agricoles du site maraîcher ainsi que les conditions hydrologiques comme la dilution, la baisse de débit ont contribué à augmenter la conductivité des eaux du marigot aux points P3 et P4 situés en aval du point de déversement P6 de la station d'épuration [22, 23]. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Abahi [24] au niveau de la rivière Klou au Centre du Bénin où que quelle soit la saison, les faibles valeurs de conductivité sont enregistrées au niveau des stations Klou 1 et 2 tandis que les fortes valeurs de ces paramètres sont observées sur les stations Klou 3 et 4 en contact direct avec les eaux usées industrielles. Une différence significative entre les campagnes pour la variable température a été observée. Cette situation expliquerait principalement

par l'augmentation de l'ensoleillement et des températures ambiantes propres à cette période de l'étude au Burkina Faso qui va de mars à juin. En effet, la saison chaude se caractérise par un rayonnement solaire plus intense, une durée d'ensoleillement prolongée et des températures atmosphériques élevées, qui entraînent un réchauffement significatif des masses d'eau de surface comme le marigot Houet. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par [25] qui a trouvé que les valeurs de la température des effluents de l'Oued El Gourzi en Algérie variaient entre 5,8 et 16,7°C en avril avec une moyenne de 15,5°C et de 4,3 à 25,1°C pour une période d'étude allant de janvier à juin. Néanmoins les valeurs des paramètres physiques des eaux usées du marigot Houet, à l'exception de la conductivité au niveau des points P3 et P4 situé en aval de l'exutoire de la station d'épuration, restent conformes à la norme de réutilisation des eaux usées en agriculture [26, 27]. Cette situation peut entraîner une forte salinisation des sols agricoles affectant ainsi sa structure et sa perméabilité à cause de la forte charge minérale des eaux d'irrigation des cultures maraîchères [28].

4-2. Évolution des paramètres chimiques des eaux usées en fonction de la campagne et des points de prélèvements

Les résultats mettent en évidence une influence significative des saisons sur la qualité chimique des eaux du marigot. Comparativement à la saison des pluies (Campagne 2), on a enregistré une augmentation de 18,13 % phosphates (PO_4^{3-}) pendant la saison sèche chaude (Campagne 1). Cette situation est imputable à un effet de concentration dû à l'évaporation plus accentuée et à la réduction du débit d'eau usée en saison sèche qu'en saison des pluies comme les résultats de l'étude de [7] l'ont montré sur le même site d'étude. L'augmentation de la concentration en K^+ de 55,57 % pendant la saison sèche pourrait s'expliquer par le déversement des eaux issues du lessivage des sols agricoles fertilisés avec des engrais minéraux pendant la saison pluvieuse. Ce phénomène a également été observé par [29] dans leur étude sur l'évaluation de la qualité des cours de la ville de Taza au Maroc. L'analyse des paramètres de pollution minérale des eaux du marigot Houet a montré une forte hétérogénéité spatiale sur le site maraîcher de Dogona. Cette variation de la qualité des eaux est liée à la diversité des origines des eaux usées sur le site. En effet, les eaux usées du marigot Houet constituent un mélange d'eaux pluviales, d'eaux souterraines et des eaux usées domestiques provenant du centre-ville de Bobo-Dioulasso. Les eaux usées de la station d'épuration sont quant à elles constituées exclusivement d'eaux usées domestiques et industrielles déversées par les grands édifices de ladite ville et potentiellement très chargées en sels minéraux et en matière organique. La forte concentration en sels minéraux des eaux usées traitées de la station d'épuration a probablement entraîné une augmentation de la charge minérale des eaux du marigot après déversement, justifiant ainsi les fortes teneurs en ces ions dans les eaux usées réutilisées par les maraîchers situés en aval de l'exutoire de la station d'épuration notamment au niveau des points P3 et P4. Ce phénomène a été également observé par Traoré [30], qui ont démontré que les eaux du fleuve Niger à Bamako au Mali étaient influencées négativement par le déversement des effluents traités de la station d'épuration de la dit ville ce qui a contribué à la dégradation de la biodiversité à travers l'altération du cadre de vie des hommes et des ressources halieutiques. Les fortes concentrations en ions Na^+ , K^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} et HCO_3^- observées aux niveaux des mêmes points P3 et P4 s'expliqueraient par le fait du mélange des eaux du marigot et celles traitées de la station d'épuration fortement minéralisées à cause des détergents utilisés par les populations, des engrais chimiques et organiques appliqués dans les champs par les maraîchers mais également à cause des lixiviats des dépotoirs d'ordures ménagères riches en sels minéraux [31]. La station d'épuration reçoit également les eaux usées des industries agroalimentaires situées dans la zone industrielle de la ville de Bobo-Dioulasso qui utilisent du bicarbonate d'ammonium et de calcium comme additif alimentaire [10], bien qu'elle ne soit pas apte à traiter ces types de polluants. Ces résultats sont similaires à ceux de [22] qui ont obtenues des concentrations moyennes en ions bicarbonates, ortho phosphates, potassium et sodium respectivement de 1537,2 mg/L, 39,15 mg/L, 39 mg/L, 390 mg/L sur les eaux usées réutilisées sur le périmètre maraîcher irrigué de Sebkhia à

Nouakchott en Mauritanie. La forte présence en ion ammonium en ces mêmes points témoigne d'une pollution organique récente, probablement dû aux eaux usées des fosses des riverains directement rejetés dans le marigot mais également de la forte charge organique des eaux usées traitées de la station d'épuration. Ces résultats corroborent ceux de [32], qui a montré que les teneurs élevées en NH_4^+ constituent un indicateur fiable de contamination anthropique des eaux de surface de la région d'Adiaké au sud-est côtier de la Côte d'Ivoire. Les concentrations en sodium allant de $65,0 \pm 17,5$ mg/L à $83,1 \pm 10,9$ mg/L enregistrées en aval de l'exutoire de la station d'épuration dépassent les seuils critiques pour la réutilisation agricole sur tous les points contrôlés alors que la valeur limite recommandée par l'OMS et la FAO est de 69 mg/L. Une concentration excessive en sodium peut entraîner une forte salinisation des sols agricoles affectant ainsi sa structure et sa perméabilité [28]. Parallèlement, bien que le phosphore soit un nutriment essentiel pour les cultures, des teneurs excessives peuvent entraîner une eutrophisation des écosystèmes aquatiques. Les concentrations en phosphates obtenues sur l'ensemble contrôlés sur le marigot notamment au point P1, P2, P3 et P4 dépassent largement la norme de 15 mg/L fixé par l'OMS pour la réutilisation agricole des eaux usées [26, 27]. Ces résultats sont largement supérieurs à ceux obtenus par [33] qui oscillaient entre 0,74 et 2,21 mg/L sur les eaux usées de la rivière dans la ville de Bukavu, République Démocratique du Congo. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par [10] sur le même site en saison des pluies montrant des teneurs allant de 0,5 et 1,06 mg/L largement inférieur à la norme OMS [27], confirmant une grande variabilité de la qualité des eaux usées du marigot Houet en fonction de la qualité des eaux usées qui l'alimente et des saisons. Les résultats d'analyses de NO_3^- au niveau des points P2, P3 et P4 du marigot respectivement de $7,8 \pm 5,1$ mg/L ; $5,6 \pm 3,0$ mg/L et $6,8 \pm 4,0$ mg/L sont tous non conformes aux directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) qui est de 5 mg/L excepté le point P1 situé en l'entrée du périmètre irrigué [26, 27]. Cette situation peut entraîner également l'eutrophisation du milieu aquatique et conduire à la mort des espèces aquatiques. Ces résultats sont largement inférieurs à ceux obtenus par [33] sur la qualité des rivières des eaux usées ménagères et pluviales dans la ville de Bukavu, République Démocratique du Congo qui variaient entre 14,91 et 21,3 mg/L de nitrate.

4-3. Relations entre les paramètres physico-chimiques des eaux du marigot

La matrice de corrélation met en évidence des relations significatives entre différents paramètres physico-chimique. Les corrélations positives entre les paramètres (Na^+), (K^+), (NH_4^+), (SO_4^{2-}), et PO_4^{3-} et température s'expliqueraient par le fait que l'augmentation de la température favorise la solubilisation des sels minéraux dans les eaux usées [22]. Des résultats contraires ont été observé par [32] dans leur étude hydrochimique des eaux de surface de la région d'Adiaké au sud-est côtier de la Côte d'Ivoire où la température donnait des corrélations négatives avec sodium (Na^+), le potassium (K^+), les sulfates (SO_4^{2-}), les phosphates (PO_4^{3-}) et les bicarbonates (HCO_3^-) respectivement de -0,30 ; -0,42 ; -0,22 ; -0,62 et -0,09. Les corrélations fortes positives avec le sodium les phosphates et les bicarbonates et conductivité, confirmant que ces ions constituent les principaux sels minéraux responsables de la minéralisation des eaux du marigot Houet. Ces résultats corroborent ceux de [22] qui ont trouvé dans les eaux d'irrigation du périmètre maraîcher de Sebkha à Nouakchott en Mauritanie, des valeurs de 0,845 pour le bicarbonate et de 0,254 pour le phosphate. La forte corrélation positive entre Na^+ et PO_4^{3-} s'expliquerait par des mécanismes communs d'origine et de transport en ces deux ions qui sont souvent associés à des apports anthropiques, notamment agricoles et urbains, qui libèrent simultanément des sels minéraux et des nutriments dans les eaux de surface. En effet, les phosphates sont des nutriments essentiellement présents dans les engrais utilisés en agriculture et dans les détergents domestiques [26]. Leur présence dans les eaux résulte souvent du ruissellement des sols fertilisés, où le sodium se trouvant sous forme de sels solubles (NaCl , Na_2SO_4), est également libéré. Par ailleurs, la forte concentration des eaux usées du marigot Houet en sodium et en PO_4^{3-} participent à cette association ionique dans les milieux récepteurs. De même, la forte corrélation positive entre NH_4^+ et SO_4^{2-} s'expliquerait par le fait que les deux ions sont présents ensemble dans les eaux polluées par les activités

agricoles, notamment à cause de l'utilisation d'engrais contenant à la fois de l'azote et du soufre, comme le sulfate d'ammonium. En effet, les engrais minéraux complexe utilisés par la majorité des maraîchers apportent à la fois des ions ammonium et sulfate dans les sols, qui peuvent ensuite être lessivés vers les eaux de surface ou souterraines [26]. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par [22] sur le périmètre maraîcher de Sebkha à Nouakchott en Mauritanie. En effet, ces auteurs ont trouvé une corrélation négative entre le NH_4^+ et SO_4^{2-} montrant ainsi une variabilité de la corrélation entre ces deux ions en fonction des sites maraîchers et des activités anthropiques.

5. Conclusion

L'étude des paramètres physico-chimiques montre que les eaux usées du marigot Houet sont au préalable faiblement minéralisées et acides pour devenir fortement minéralisées et basiques après le point de déversement dans la station d'épuration de Dogona. Les paramètres physiques comme la température et le pH sont conformes à l'exception de la conductivité. Les valeurs de sodium, de phosphates, de nitrates, d'ammonium sont supérieures aux directives OMS de réutilisation agricole des eaux usées. Tandis que les concentrations en calcium, en magnésium, en sulfate et en nitrite affichent respectivement des valeurs conformes de $0,9 \pm 0,3$ mg/L ; $0,7 \pm 0,2$ mg/L ; $31,2 \pm 18,9$ mg/L et $0,6 \pm 0,6$ mg/L. Les données d'analyse montrent que la minéralisation des eaux du marigot Houet est fortement impactée par trois phénomènes dont les lixiviats des dépôts d'ordures ménagères aux abords du marigot, ensuite les apports minéraux liés aux activités anthropiques et enfin le déversement des eaux usées traitées de la station d'épuration de Dogona. Au vu des résultats obtenus, les eaux usées du marigot Houet doivent subir des traitements spécifiques avant d'être réutiliser pour l'irrigation des cultures maraîchers.

Références

- [1] - UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION, « World population prospects : The 2015 revision, key findings and advance tables ». New York, USA, (2015)
- [2] - J. BREMNER, « Population and food security: Africa's challenge ». Washington, USA, (2012)
- [3] - A. FTOUHI, M. KHEMAKHEM et Y. FIEDLER, « Cahier d'opportunités d'investissement agricole responsable dans la région de Tanger- Tétouan- Al Hoceima au Maroc. Les filières porteuses de l'olivier, du figuier, des plantes aromatiques et médicinales, de l'apiculture et des activités connexes ». Rome, Fao, (2025). doi: 10.4060/cd5213fr
- [4] - I. D. AMOAH, A. ABUBAKARI, T. A. STENSTRÖM, R. C. ABAIDOO et R. SEIDU, « Contribution of wastewater irrigation to soil transmitted helminths infection among vegetable farmers in Kumasi, Ghana », *PLOS Neglected Tropical Diseases*, Vol. 10, N° 12 (2016) 1 - 7 p., doi: 10.1371/journal.pntd.0005161.
- [5] - L. NICOLA, C. SCHOTT et C. MIGNOLET, « Dynamique de changement des pratiques agricoles dans le bassin versant de l'Orgeval et création de la base de données APOCA », (2015)
- [6] - T. FAYAMA, B. NEBIE et V. SAWADOGO, « La "CLEE" des "CLES" une alternative à la production agricole dans le sous-bassin de la haute Comoé au Burkina Faso », *Revue Internationale De La Recherche Scientifique*, Vol. 2, N° 2 (2024) 261 - 277 p., doi: 10.5281/zenodo.10890368.
- [7] - E. S. G. SAURET, L. Z. DENDE, H. M. M. COMPAORE, A. M. A. KINGLO, S. YABRE, M. KOITA, Y. KONATE et H. KAROUI, « Contribution of end member mixing analysis model to characterize the sources responsible for urban river water quality: case of Houet river in Burkina Faso », *American Journal of Water Resources*, Vol. 11, N° 1 (2023) 1 - 10 p., doi: 10.12691/ajwr-11-1-1.

- [8] - M. E. GEMMELL et S. SCHMIDT, « Évaluation microbiologique de l'eau d'une rivière utilisée pour l'irrigation de produits frais dans une communauté suburbaine de Sobantu, en Afrique du Sud », *Recherche alimentaire internationale*, Vol. 47, N° 2 (2012) 300 - 305 p., doi: 10.1016/j.foodres.2011.07.016.
- [9] - A. BENMALEK, K. AMIRI, N. E. BEKKARI, A. DEBBAKH et A. MELLAH, « État de lieux des traitements des eaux usées dans les régions arides », *Journal Algérien des Régions Arides*, Vol. 14, N° 2 (2022) 1 - 5 p., doi: 10.16966/2381-5299.107.
- [10] - L. Z. DENDE *et al.*, « Suitability of urban river water for irrigation : the case of the Houet river in Burkina Faso », *International Journal of Hydrology*, Vol. 6, N° 6 (2022)
- [11] - A. N. CHIMI *et al.*, « Valorisation des eaux usées domestiques en agriculture urbaine par culture hydroponique de la laitue (*Lactuca sativa* L. », *Cameroon Journal of Experimental Biology*, Vol. 17, N° 02 (2023) 40 - 46 p., doi: 10.4314/cajeb.V17i2.7.
- [12] - I. DJEGBE *et al.*, « Variation saisonnière de la qualité physicochimique et microbiologique des eaux d'irrigation et des légumes du site maraîcher de Bawéra et risques sanitaires associés », *International Journal of Biological and Chemical Science*, Vol. 12, N° 2 (2018) 781 - 795 p.
- [13] - A. CHADLI, B. BENHASSEINI, N. F. MOURI et H. AGUIAR, « La réutilisation des eaux usées, une alternative durable pour la gestion des ressources en eau de la ville de Sidi Bel Abbes (Algérie) », *Geo Eco Trop.*, Vol. 46, N° 2 (2023)
- [14] - Y. M. SOU, « Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant, risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols », (2009)
- [15] - D. B. OUEDRAOGO, Z. GNANKAMBARY, H. B. NACRO et M. P. SEDOGO, « Caractérisation et utilisation des eaux usées en horticulture dans la ville de Ouagadougou au Burkina Faso », *International Journal of Biological and Chemical Science*, Vol. 12, N° 6 (2018) 2564 - 2577 p.
- [16] - A. P. K. GOMGNIMBOU et N. M. KARA, « Farmers' perceptions of pesticide and chemical fertilizer use in market gardening in the comoé river watershed in Burkina Faso », *Asian Research Journal of Agriculture*, Vol. 15 (2) (2022) 45 - 53 p., doi: 10.9734/ARJA/2022/v15i230154
- [17] - I. N. S. D., Enquête régionale intégrée sur l'emploi et le secteur informel (ERI-SI). Rapport synthèse. Ouagadougou : Burkina Faso, (2019)
- [18] - E. RIVOT, « Notions d'Echantillonnage et incertitudes d'échantillonnage. Note de cours. Agrocampus Ouest, Département Ecologie ». Centre de Rennes France, (2017) 82 p.
- [19] - J. M. KAWAYA, J. P. OTAMONGA, P. NGELINKOTO, P. KABATUSUILA et I. J. MUBEDI, « Caractérisation physico-chimique de l'eau de la rivière Lukunga dans la ville de Kinshasa (RD du Congo) », *Larhyss journal*, Vol. 14, N° 1 (2017) 121 - 136 p.
- [20] - J. RODIER, B. LEGUBE et N. MERLET, *L'analyse de l'eau*, 9e éd. Dunod : Paris, (2009)
- [21] - ADDINSOLF, « Xlstat ». Paris. France, (2016). [En ligne]. Disponible sur: https://help.xlstat.com/dataset/XLSTAT_FR.pdf
- [22] - A. D. N'DIAYE, M. O. S. A. O. KANKOU, B. LO et K. I. NAMR, « Typologie physicochimique des eaux usées dans le périmètre maraîcher irrigué de Sebkhia, Nouakchott », *Cameroon Journal of Experimental Biology*, Vol. 06, N° 02 (2010) 110 - 117 p.
- [23] - P. DRECHSEL, P. HEFFER, H. MAGEN, R. MIKKELSEN et D. WICHELS, *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*. Paris : France, (2015)
- [24] - K. S. ABAHI, H. H. AKODOGBO, R. R. T. GOUTON, A. S. D. D. ADJE, P. M. GNOHOSSOU et C. PISCART, « Evaluation de l'effet des eaux usées industrielles sur la qualité de l'eau de la rivière Klou au centre du Bénin », *European Scientific Journal*, Vol. 19, N° 3 (2023) 148 p., doi: 10.19044/esj.2023.v19n3p148.
- [25] - L. TAMRABET, « Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraîchage ». Thèse de Doctorat, Université Hadj Lakhdar - Batna, Algérie, (2011) 147 p.

- [26] - F. A. O., « Manuel d'utilisation, irrigation avec des eaux usées traitées », Rome Italie, (2003) 73 p.
- [27] - O. M. S, « Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, utilisation des excréta et des eaux ménagères en agriculture », Vol. 4, (2012)
- [28] - K. KHAN *et al.*, « Métaux lourds dans les sols et les cultures agricoles et leurs risques pour la santé dans le district de Swat, dans le nord du Pakistan », *Food and Chemical Toxicology*, Vol. 58, (2013) 449 - 458 p., doi: 10.1016/j.fct.2013.05.014
- [29] - M. B. ABBOU, F. FADIL et M. ELHAJI, « Évaluation de la qualité des cours d'eau de la ville de Taza utilisés dans l'irrigation des cultures maraîchères (Maroc », *Journal of Applied, Biosciences*, Vol. 77, (2014) 6462 - 6473 p., doi: 10.4314/jab.v77i1.7
- [30] - M. M. TRAORE, A. O. TOURE, H. KONE et O. LY, « Impacts des rejets des effluents industriels sur la qualité des eaux du fleuve Niger à Bamako », *Revue Malienne de Science et de Technologie*, Vol. 3, N° 27 (2023) 1987 - 1031 p.
- [31] - W. A. R. MOUMOUNI et A. ZANGUINA, « Caractérisation physico-chimique des lixiviats des décharges : Cas de la décharge non contrôlée de Niamey 2000 (Niamey-Niger », *European Scientific Journal*, Vol. 16, N° 9 (2020) 1857 - 7881 p., doi: 10.19044/esj.2020.v16n9p42
- [32] - S. G. EBLIN, A. P. SOMBO, G. M. SORO, N. AKA, O. KAMBIRE et N. SORO, « Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire », *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 75, (2014) 6259 - 6271 p.
- [33] - L. KAPEPULA, L. MATEO, A. SHEKANI, S. MUYISA, T. NDIKUMANA et B. VAN DER, « Evaluation de la charge polluante des rivières des eaux usées ménagères et pluviales dans la ville de Bukavu, République Démocratique du Congo », *Afrique Science*, Vol. 11, N° 2 (2015) 195 - 204 p.