

Journal of Applied Biosciences 186: 19747- 19770
ISSN 1997-5902

Suivi des paramètres physico-chimiques de la rivière Agbado, exploitée pour l’approvisionnement en eau potable de la ville de Savalou au centre du Bénin

Flavien E. DOVONOU¹, Firmin S. ENINHO¹, Clément K. BALOGOUN², Wilfrid N. ATCHICHOE¹, Daouda MAMA¹, Jean-Pierre VANDERVAERE³,

¹ Université d’Abomey-Calavi. Laboratoire d’Hydrologie Appliquée, Institut National de l’Eau. 01 BP 526 Cotonou, Bénin

² Société Nationale des Eaux du Bénin. Laboratoire d’Analyses et de Suivi de la Qualité de l’Eau Division Savalou 02 BP 612, Bénin

³ Institut de Recherche pour le Développement. Laboratoire Mixte International. 08 BP 841 Cotonou, Bénin

Auteur correspondant : ENINHO S. Firmin, E-mail : firmineninhou01@gmail.com

Submission 25th May 2023. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 31st July 2023. <https://doi.org/10.35759/JABs.187.7>

RESUME

Objectif: La disponibilité des données et informations de façon récurrente sur les ressources en eau en général et particulièrement les eaux de surface contribue à une meilleure gestion de ladite ressource. La présente étude est intéressée sur le suivi de la qualité de l’eau de la rivière Agbado de part son importance qui est une ressource utilisée par la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) pour l’alimentation en eau potable de la ville de Savalou et ses environs.

Méthodologie et résultats: Deux campagnes d’échantillonnage d’eau de la rivière ont été effectuées, une en saison pluvieuse (septembre 2022) et une en saison sèche (décembre 2022) sur quatre sites. Les paramètres physico-chimiques (le pH, la température, la conductivité électrique, la turbidité) ont été mesurés avec des appareils respectifs pH-mètre, conductimètre et turbidimètre. L’oxygène dissous, le fer ont été déterminés sur le terrain. En outre, la dureté totale, les ions calcium, magnésium, chlorure, le TAC, les bicarbonates ont été déterminés par la méthode volumétrique. Le manganèse, les nitrites, les nitrates, l’ammonium ont été déterminés par la méthode colorimétrique au laboratoire. Le suivi des paramètres physico-chimiques révèle une variation spatiale et saisonnière. En effet, se basant sur le système d’évaluation de la qualité des eaux littorales (SEQ-Eau) et les directives de potabilité de l’eau de l’OMS, l’eau de la rivière Agbado est très douce ($2,08 \pm 0,02$ °F ; $3,58 \pm 0,25$ °F), moins oxygénée, turbide ($67,52 \pm 11,14$ NTU ; $17,37 \pm 4,19$ NTU), agressive et ayant une corrosivité importante. Alors que les teneurs en fer, en manganèse et en nitrates ($19,37 \pm 7,18$ mg/l ; $28,12 \pm 8,50$ mg/l) témoignent que la rivière révèle une qualité passable.

Conclusion et application des résultats: On retient de cette étude que la rivière Agbado ne se trouve pas dans un état de pollution avancée. Toutefois, un suivi régulier des paramètres physico-chimiques sur une longue période permettra d’avoir plus de données et informations sur son état

de santé en vue de prendre des mesures idoines pour sa protection d’autant plus qu’elle est une source de production d’eau potable.

Mots clés : Suivi, Savalou, paramètres physico-chimiques, approvisionnement en eau potable, qualité de l’eau, rivière Agbado.

ABSTRACT

Objective: The availability of data and information on a recurring basis on water resources in general and surface water in particular contributes to better management of the said resource. This study focuses on monitoring the water quality of the Agbado River because of its importance, which is a resource used by the National Water Society of Benin (SONEB) for the drinking water supply of the city of Savalou and its surroundings.

Methodology and Results: Two river water sampling campaigns were carried out, one in the rainy season (september 2022) and one in the dry season (december 2022) at four sites. The physico-chemical parameters (pH, temperature, electrical conductivity, turbidity) were measured in situ with respective pH-meter, conductimeter and turbidimeter devices. Dissolved oxygen, total iron were determined in the field. Also, total hardness, calcium, magnesium, chloride ions, TAC, bicarbonates were determined by the volumetric method. Manganese, nitrites, nitrates, ammonium were determined by the colorimetric method in the laboratory. The monitoring of physico-chemical parameters reveals a spatial and seasonal variation. Indeed, based on the coastal water quality assessment system (SEQ-Eau) and the OMS potability water standards, the water of the Agbado river is very soft (2.08 ± 0.02 °F; 3.58 ± 0.25 °F), less oxygenated, turbid (67.52 ± 11.14 NTU; 17.37 ± 4.19 NTU), aggressive and with significant corrosivity. While the iron, manganese and nitrate contents (19.37 ± 7.18 mg/l; 28.12 ± 8.50 mg/l) testify that the river reveals a passable quality.

Conclusion and Application of results: from this study that the Agbado River is not in an advanced state of pollution. However, regular monitoring of physico-chemical parameters over a long period will provide more data and information on its state of health in order to take appropriate measures for its protection, especially since it is a source of drinking water production.

Keywords: Monitoring, Savalou, physico-chemical parameters, drinking water supply, water quality, Agbado River.

INTRODUCTION

De nombreux rapports et études dont particulièrement ceux fournis par les institutions de l’organisation des nations unies, attirent la sonnette d’alarme sur la dégradation des ressources en eau. L’une des plus récentes est celle publiée par la Banque Mondiale en août 2019, sous le titre : Qualité inconnue : l’invisible crise de l’eau (Damania *et al.*, 2019). En conclusion, ce rapport indique que le monde est confronté à une invisible crise de la qualité de l’eau, qui réduit d’un tiers la croissance économique potentielle des zones fortement polluées, et menace le bien-être humain et environnemental. Face aux risques de qualité insuffisante de l’eau (adaptée à un

but ou à un usage particulier), les Experts ont préconisé comme action prioritaire la mise en place d’une politique subséquente d’obtention des informations et données de façon récurrente sur la qualité des ressources en lien avec la Cible 6.3 : ‘‘Qualité de l’eau et eaux usées’’ des Objectifs du Développement Durable (ODD) indique : «D’ici à 2030, améliorer la qualité de l’eau en réduisant la pollution, éliminant le dépôt d’ordures et diminuant la libération de produits chimiques et de matières dangereuses, réduisant de moitié la proportion d’eaux usées non traitées, et augmentant sensiblement le recyclage et la

réutilisation de ces eaux en toute sécurité, à l'échelle mondiale» (Damania *et al.*, 2019). Selon la politique nationale de l'eau, l'état des lieux du secteur de l'eau au Bénin montre que le pays dispose, toutes proportions gardées, d'importantes ressources en eau. « Malheureusement, le niveau de connaissance de la ressource demeure faible au point où les informations disponibles sont insuffisantes pour permettre une bonne planification » mentionne ce document. Il n'existe pas un mécanisme de suivi des prélèvements opérés annuellement pour couvrir les besoins des différentes branches d'activités. Avec la croissance démographique et l'utilisation plus accrue de l'eau par les populations pour des buts de consommation et d'autres fins, il est évident que la quantité et la qualité de l'eau seront influencées dans la nature. Vu la vulnérabilité de l'eau, il est plus aisé et moins onéreux d'alimenter la population en eau potable à partir des eaux souterraines. Mais l'accès à cette dernière pose d'énormes problèmes à cause de la nature cristalline du substratum géologique dans plusieurs localités, obligeant les acteurs du secteur de l'eau à faire recours aux eaux de surface (Zogo, 2010). Ainsi, l'eau, source de vie, peut devenir un danger pour l'environnement et pour les utilisateurs si elle n'est pas de qualité

MATERIEL ET METHODES

Présentation de la zone d'étude : La commune de Savalou est l'une des six (06) communes du département des Collines de la République du Bénin qui s'étend sur une superficie de 2674 km² ; soit 2,3 % du territoire national. Elle est comprise entre 7°35 et 8°13 de la latitude Nord d'une part et 1°30 et 2°6 de la longitude Est d'autre part (PDC III Savalou). La commune de Savalou est limitée à l'Est par les communes de Glazoué et de Dassa-Zoumè,

acceptable (Agassounon *et al.*, 2014). Cependant, les eaux de surface doivent être gérées et protégées en raison de leur vulnérabilité à la surexploitation et à la pollution (Merhabi *et al.*, 2019). La rivière Agbado située dans la commune de Savalou avec une longueur de 121 km et un bassin versant couvrant une superficie de 2703 km², (2,04% du territoire national), la rivière Agbado subit des pressions anthropiques, d'autant plus que les branches, agriculture, pêche et chasse occupent 63,0% de la population active (Rapport EIES, 2020). La rivière Agbado constitue une source importante pour l'Approvisionnement en Eau Potable de la ville de Savalou. Malgré l'importance de ce cours d'eau et les dangers auxquels il est confronté, il n'existe pas une base de données et d'informations relatives aux paramètres physico-chimiques jugés pertinents pour un meilleur suivi de la qualité de ce cours d'eau et si rien n'est fait on peut assister à une pollution voire une dégradation de la ressource. C'est dans le sens de la correction de cette insuffisance que s'inscrit la présente étude qui vise de façon générale à faire le suivi des paramètres physico-chimique de la rivière Agbado afin d'apprécier sa qualité.

au Sud par la commune de Djidja, au Nord par Bantè et à l'Ouest sur environ 65 km (limite Nord- Sud) par la République du Togo comme indique la figure 1. Cette commune est subdivisée en quatorze (14) arrondissements dont quatre (04) urbains (Aga, Agbado, Attakè et Ouèssè). Les dix (10) villages ou quartiers de villes sont : Djaloukou, Doumè, Gobada, Kpataba, Lahotan, Lema, Logozohè, Monkpa, Ottola, Tchètti.

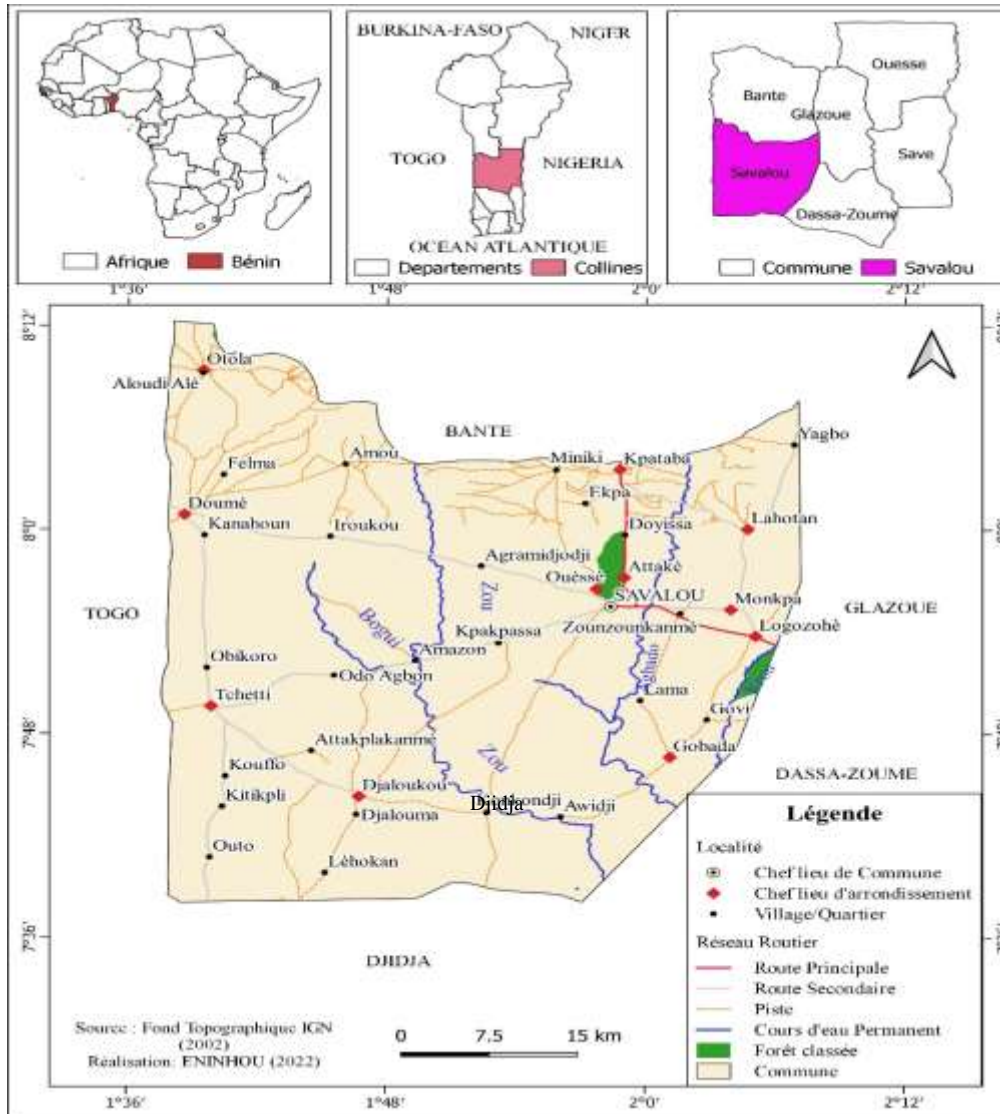


Figure 1 : Carte géographique de la commune de Savalou

La rivière Agbado : Située au centre du Bénin dans le département des collines, la rivière Agbado est un écosystème aquatique, une eau de surface de grande importance. Elle prend sa source dans la commune de Bantè, traverse la commune de Savalou qui abrite sa plus grande portion et se jette dans le fleuve Zou au niveau de la commune de Djidja. D’une longueur d’environ 121 km et avec un bassin versant

couvrant une aire estimée à 2635 km². Des collines de Dassa-Zoumè, l’Agbado reçoit le Klou (560 km² pour 49 km). Affluent du Zou, l’Agbado à l’exutoire du pont de Savalou (1280 km²) fournit un volume de 142 millions de m³ pour un module de 4,49 m³/s (Le Barbe, 1993). La figure 2 présente la carte de localisation de la rivière Agbado et les sites d’échantillonnage.

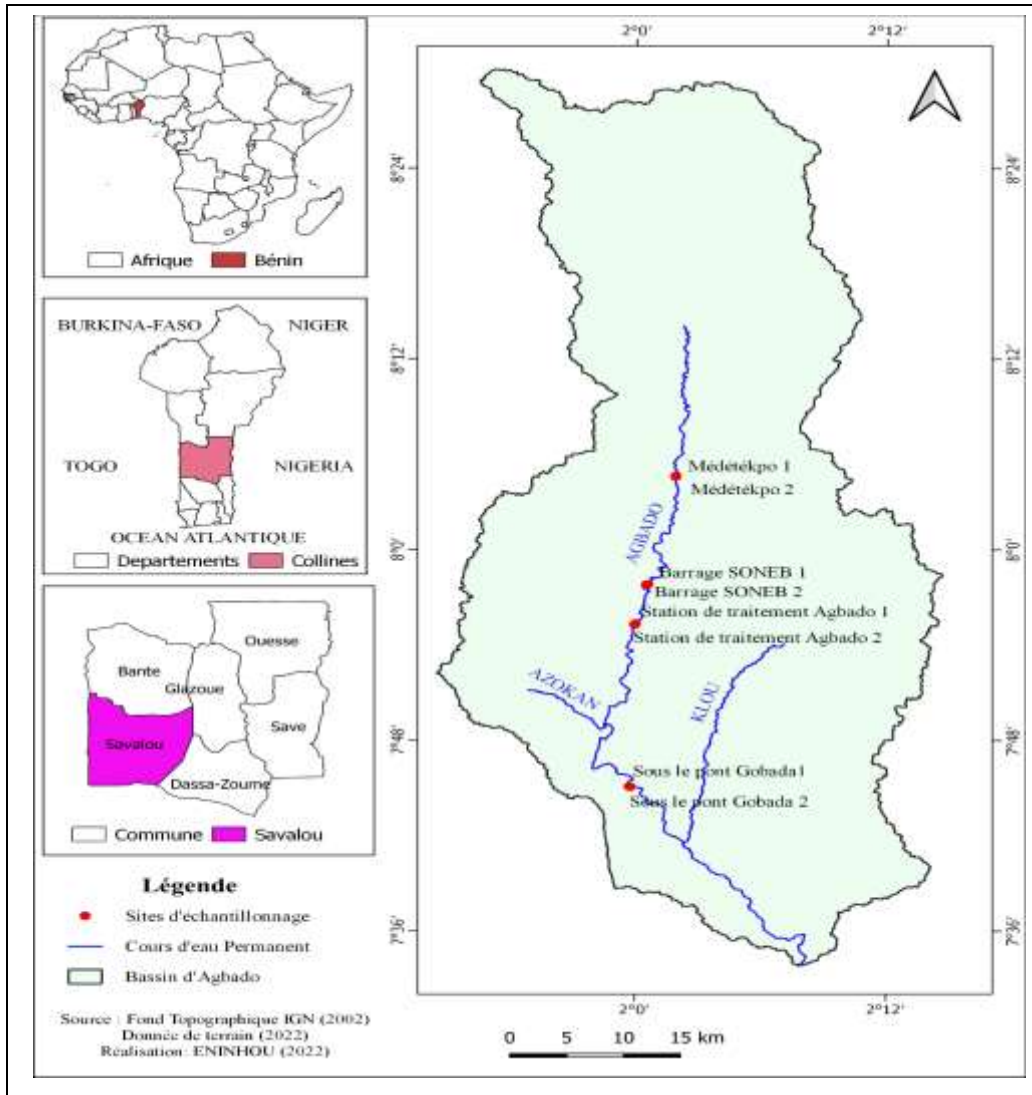


Figure 2 : Carte de localisation de la Rivière Agbado et les sites d’échantillonnage

Choix et description des sites d’échantillonnage :

Les sites d’échantillonnage ont été choisis en se basant sur le fait qu’ils sont des sources d’alimentation en eau de boisson et soit un ancien ou récent point où s’exercent certaines activités comme l’agriculture, la pêche, la fabrication de bois de charbon. Les coordonnées géographiques et la description des sites étudiés se présentent dans le tableau 1.

Matériel de terrain : Le matériel utilisé se compose essentiellement d’un GPS (Global Positioning System) de marque GARMIN pour prendre les coordonnées géographiques

des points d’échantillonnage, un pH-mètre, un conductimètre, un turbidimètre sont utilisés pour l’analyse de certains paramètres de l’eau in situ. De même, des kits de terrain pour le dosage de l’oxygène dissous et du fer sont utilisés. Huit (08) flacons en plastique de 1,5 L propres, étiquetés en fonction du site de prélèvement ont servi à contenir les échantillons d’eau prélevés, une glacière pour la conservation des échantillons, des fiches de relevés et de notes des diverses mesures de terrain.

Échantillonnage et analyse des paramètres physico-chimiques de l’eau : Deux campagnes d’échantillonnages ont été

effectuées : une en petite saison pluvieuse (septembre 2022) et une en grande saison sèche (décembre 2022). Quatre (04) sites ont été identifiés et deux échantillons d'eau (un en amont et un en aval du site) ont été prélevés par site afin d'avoir un nombre représentatif donc au total seize (16) échantillons d'eaux ont été prélevés au cours de ces deux campagnes. Avant l'échantillonnage de l'eau, les flacons ont été préalablement rincés à l'aide de l'eau du site. Après échantillonnage, les échantillons d'eau ont été mis dans une glacière contenant des boules de glace afin de maintenir la température jusqu'au laboratoire. Les échantillons ont été analysés le même jour au laboratoire. Ceux qui n'ont pas été analysés le même jour ont été conservés au froid à 4°C dans un réfrigérateur puis analysés le lendemain. Le pH, la conductivité électrique, la température et la turbidité ont été mesurés respectivement au moyen d'un pH-mètre VWR, d'un conductimètre de marque VWR CO3100H et d'un turbidimètre HACH 200P par méthode électrométrique sur le terrain. Pour ces mesures, les électrodes des appareils sont plongées dans l'échantillon et les valeurs des différents paramètres sont lues directement sur l'écran de l'appareil. Les concentrations en ion calcium, magnésium, chlorure, la dureté totale, les bicarbonates, le Titre Alcalimétrie Complet ont été déterminés par la méthode volumétrique au laboratoire. L'oxygène dissous a été déterminé sur le terrain par méthode volumétrique au réactif O₂N^o5 et le fer total par méthode colorimétrique (Coffret Aquamerck) sur le terrain. Ensuite les teneurs

en ions manganèses, en nitrites (NO₂⁻), nitrates (NO₃⁻), ammoniums (NH₄⁺), sont déterminées par dosage colorimétrique avec carte des couleurs et comparateur coulissant (MColortestTM) au laboratoire d'analyse et de suivi de qualité de l'eau de la division Savalou de la SONEB.

Traitement, analyse des données et interprétation des résultats : Le logiciel QGIS 3.10 a été utilisé pour la réalisation des cartes de localisation de la commune de Savalou et de la rivière Agbado. Le tableur Excel (version 2016) pour réaliser les tableaux-synthèses des données, la statistique descriptive (moyennes, minima, maxima, écart-types) et la construction des graphiques. Les données des sous sites ont servi à la détermination de la moyenne de chaque site. Les directives de qualité de l'OMS pour l'eau de boisson 2017, la réglementation béninoise (décret n°2001-094 du 20 février 2021) fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin ainsi que le Système d'Évaluation de la Qualité des eaux du Littoral (SEQ Littoral, 2003) ont été utilisés pour l'interprétation des résultats. Il s'agit de la grille d'évaluation des eaux de surface. Pour vérifier la relation entre les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, une analyse multivariée, spécifiquement une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1. L'ACP a permis d'établir le lien entre les stations, les périodes et les paramètres physico-chimiques de l'eau.

Tableau 1 : Localisation géographique et description des sites d’échantillonnage)

Nom des Sites	Sous sites	Coordonnées géographiques	Description des sites
Mèdétékpo	Sous site1	N 8° 4’38,50032’’ E 2° 1’54,83496’’	Lieu de réception des eaux usées domestiques des habitants de Mèdétékpo
	Sous site 2	N 8° 4’35,44212’’ E 2° 1’54,69744’’	Zone en aval du pont Mèdétékpo (lieu d’approvisionnement en eau pour les usages domestiques par la population)
Barrage de la Soneb	Sous site 1	N7°57’47,19348’’ E 2° 0’35,08524’’	Zone en amont de la retenue d’eau de la Soneb (Covèdji), pratique des activités agricoles à la berge.
	Sous site 2	N7°57’47,19348’’ E 2° 0’31,1148’’	Zone en aval de la retenue d’eau de la Soneb,
Station de traitement Agbado	Sous site1	N7°55’20,06544’’ E 1°59’59,541’’	Zone en amont de la station de traitement Agbado non loin du pont traversant le goudron (lieu de jardinage et de fabrication du charbon)
	Sous site 2	N 5° 5’16,4496’’ E1°59’58,31232’’	Zone à la station de traitement (le barrage de la station Agbado) lieu de jardinage et fabrication de charbon
Sous le grand pont de Gobada	Sous site1	N 7°45’4,56588’’ E1°59’43,52136’’	Zone de réception des eaux usées domestiques et les déchets ménagers, de présence de forte agglomération
	Sous site2	N7°45’4,11804’’ E1°59’45,66264’’	Zone de lessive de la population de Gobada, pratique des activités des activités agricoles aux alentours du pont

RESULTATS

Le pH : La valeur traduit le degré d’acidité ou d’alcalinité de l’eau, sur une échelle variante entre 0 et 14. Le pH de la rivière Agbado varie de 6,96 à 7,09 pendant la saison de pluie et de 6,92 à 7,12 durant la saison sèche. La valeur

moyenne obtenue en saison pluvieuse est de $7,03 \pm 0,054$ tandis qu’elle est de $7,05 \pm 0,092$ en saison sèche (figure 3). Pour les deux saisons, le pH est sensiblement neutre (pH=7).

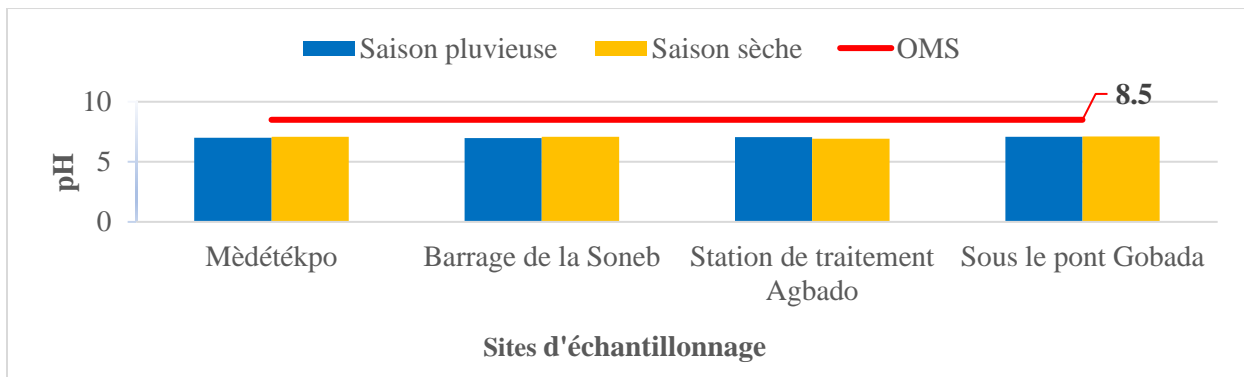


Figure 3 : Variation du potentiel d’Hydrogène (pH) dans les eaux de la rivière Agbado.

Le tableau 2 présente les résultats de l’évaluation du caractère d’agressivité et de corrosivité de l’eau à partir des indices de Langelier et de de Ryznar. Les résultats du test chimique de l’essai au marbre montrent que le pH initial de l’eau est inférieur à celui de saturation au niveau de tous les sites d’échantillonnage pendant les deux saisons sur la rivière Agbado. En effet, l’Indice de Langelier est négatif durant les deux saisons et suivant tous les sites d’échantillonnage. Par conséquent, les eaux brutes de la rivière

Agbado sont agressives. Par ailleurs, l’Indice de stabilité de Ryznar varie entre 8,44 (Mèdétékpo) et 8,64 (Barrage de la Soneb) avec une moyenne de 8,54 pendant la saison pluvieuse et entre 8,10 (Mèdétékpo) et 8,64 (Station de traitement Agbado) avec une moyenne 8,38 pendant la saison sèche. Les valeurs de l’Indice de Ryznar se situent dans la plage (7,5 et 8,5) caractérisant une tendance de corrosivité importante des eaux. Sur ce, on peut dire que les eaux de la rivière Agbado présentent une corrosivité importante.

Tableau 2 : Évaluation du caractère d’agressivité et de corrosivité de l’eau à partir des indices de Langelier et de Ryznar.

Sites \ Indices	Mèdétékpo	Barrage de la Soneb	Station de traitement Agbado	Sous le pont Gobada	Moyenne
Saison pluvieuse					
Indice de Langelier (IL)	-0,715	-0,84	-0,77	-0,71	-0,75875
Indice de Ryznar (IS)	8,445	8,645	8,59	8,515	8,54875
Agressivité	Agressive	Agressive	Agressive	Agressive	Agressive
Caractère	Corrosivité importante	Corrosivité importante	Corrosivité importante	Corrosivité importante	Corrosivité importante
Saison sèche					
Indice de Langelier (IL)	-0,505	-0,64	-0,86	-0,645	-0,6625
Indice de Ryznar (IS)	8,105	8,375	8,64	8,41	8,3825
Agressivité	Agressive	Agressive	Agressive	Agressive	Agressive
Caractère	Corrosivité importante	Corrosivité importante	Corrosivité importante	Corrosivité importante	Corrosivité importante

La température : La température de l’eau joue un rôle important dans la modification des propriétés chimiques, physiques ainsi que les réactions biologiques. Les résultats issus des analyses des eaux de la rivière Agbado montrent que la température de l’eau varie de 28,5°C (Station de traitement Agbado) à 28,95°C (Mèdétékpo) avec une moyenne de

28,7±0,18°C pendant la saison pluvieuse et entre 27,85°C (Station de traitement Agbado) et 28,7°C (Mèdétékpo) avec une moyenne de 28,25±0,41°C pendant la saison sèche. La température de la rivière Agbado est plus élevée pendant la saison pluvieuse que la saison sèche au niveau des quatre (04) sites étudiés (figure 4).

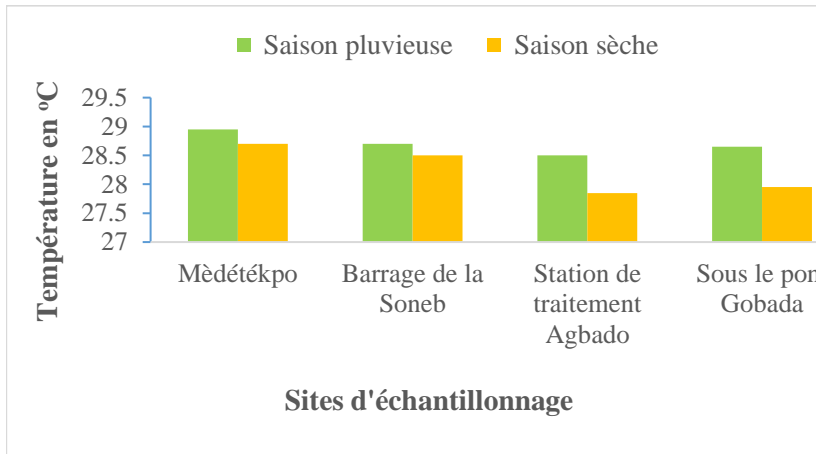


Figure 4 : Variation saisonnière de la température des eaux de la rivière Agbado

L’Oxygène dissous : La figure 5 présente la variation saisonnière de l’oxygène dissous des eaux de la rivière Agbado. L’oxygène dissous varie entre 5,55 mg/L (Sous le pont Gobada) et 7 mg/L (Mèdétékpo) avec une moyenne de $6,47 \pm 0,65$ mg/L pendant la saison pluvieuse et

entre 3,75 mg/L (Sous le pont Gobada) et 4,6 mg/L (Barrage de la Soneb) avec une moyenne de $4,26 \pm 0,39$ mg/L pendant la saison sèche. Les teneurs en oxygène dissous observées sur la rivière Agbado sont plus élevées en saison pluvieuse qu’en saison sèche.

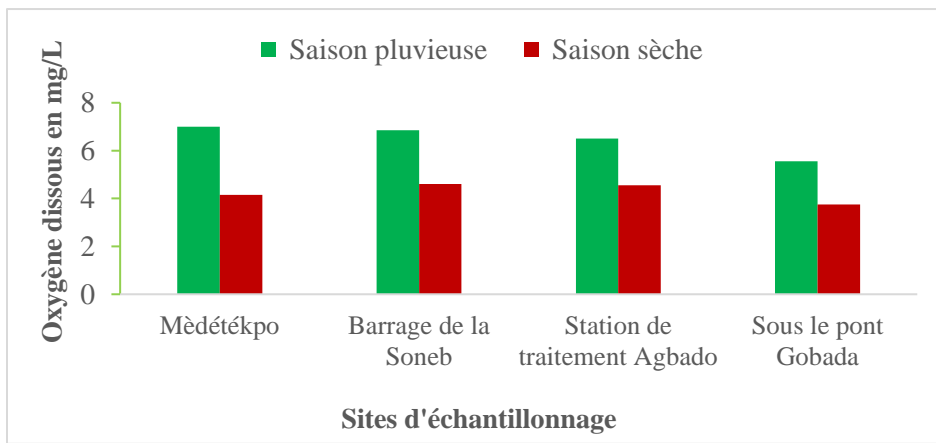


Figure 5 : Variation saisonnière de l’oxygène dissous dans les eaux de la rivière Agbado

La conductivité électrique : La conductivité électrique est la capacité d’une eau à conduire l’électricité. Si l’eau pure est un isolant qui oppose une grande résistance au passage de l’électricité, il n’en est pas de même lorsqu’elle est chargée en sels minéraux d’origine naturelle (sodium, magnésium, magnésium, potassium, calcium) (IBGE, 2005). La conductivité électrique des eaux de la rivière Agbado varie entre 87 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Barrage de la

Soneb) et 93,45 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Sous le pont Gobada) avec une moyenne de $90,17 \pm 3,39$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ pendant la saison pluvieuse et entre 124,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Barrage de la Soneb) et 280,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Mèdétékpo) avec une moyenne de $178,51 \pm 71,21$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ pendant la saison sèche. Les valeurs de la conductivité sont plus élevées pendant la saison sèche qu’en saison pluvieuse (figure 6).

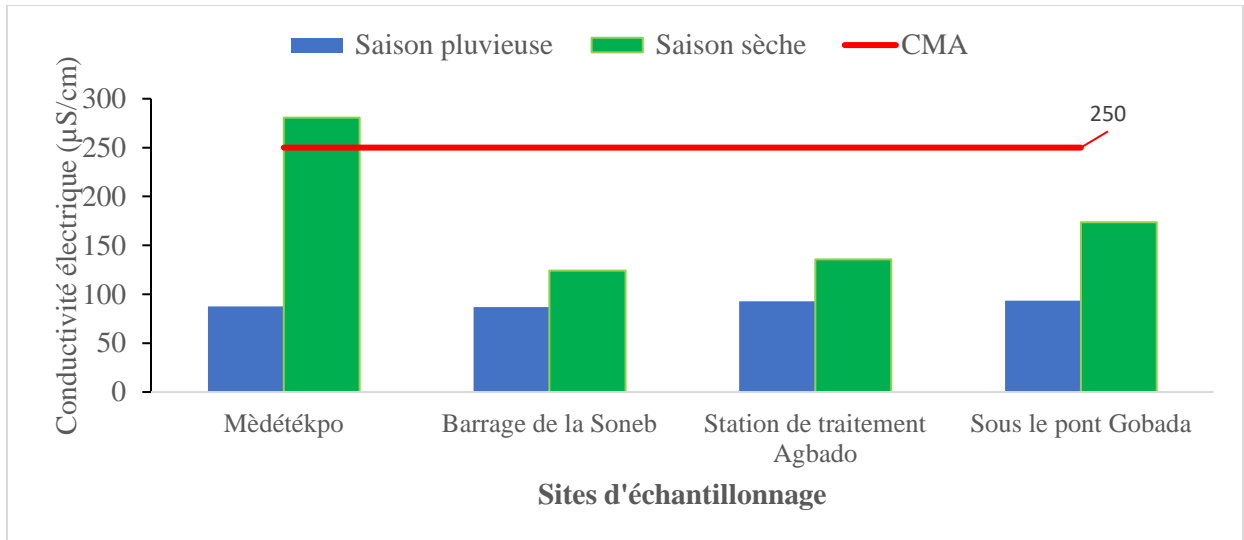


Figure 6 : Variation saisonnière de la conductivité électrique des eaux de la rivière Agbado

La turbidité : La figure 7 présente la variation de la turbidité des eaux de la rivière Agbado pendant la saison pluvieuse et la saison sèche. La turbidité varie entre 56,45 NTU (Barrage de la Soneb) et 82,75 NTU (Sous le pont Gobada) pendant la saison pluvieuse et entre 13,5 NTU (Barrage de la Soneb) et 21 NTU (Sous le pont Gobada). Les valeurs moyennes de la turbidité sont respectivement $67,52 \pm 11,14$ NTU et

$17,37 \pm 4,19$ NTU pendant la saison pluvieuse et la saison sèche. Ces valeurs de turbidité obtenues montrent qu’au niveau des quatre (04) sites, une forte valeur pendant la saison pluvieuse que la saison sèche. Les plus faibles valeurs de la turbidité ont été enregistrées au cours des deux saisons au niveau du Barrage de la Soneb et les plus fortes valeurs Sous le pont Gobada.

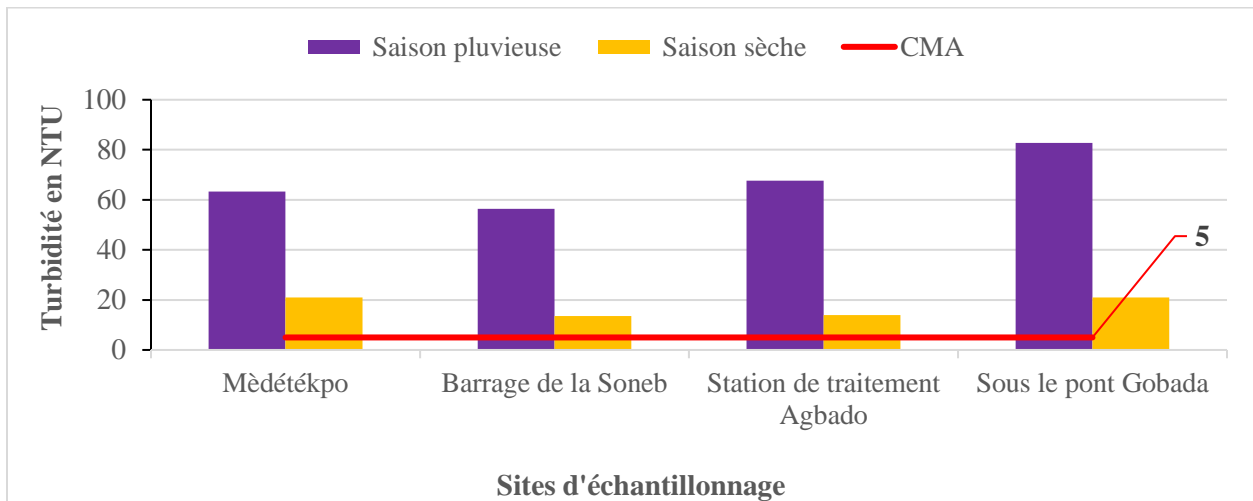


Figure 7 : Variation saisonnière de la turbidité des eaux de la rivière Agbado.

La dureté (Titre Hydrotimétrique) : Les valeurs de la dureté des eaux de la zone étudiée ont été calculées et sont exprimées en °F. La dureté de l’eau varie très faiblement au niveau

des sites étudiés $2,05$ °F (Station de traitement Agbado) et $2,10$ °F (Mèdétékpo) pendant la saison pluvieuse avec une moyenne de $2,08 \pm 0,018$ °F alors qu’elle varie de $3,39$ °F

(Barrage de la Soneb) et 3,9 °F (Mèdétékpo) avec une moyenne de $3,58 \pm 0,21$ °F pendant la saison sèche (figure 8). On retient de cette figure que les valeurs du TH sont plus élevées en saison sèche qu’en saison pluvieuse. Ce qui montre que les eaux de la rivière sont très douces car elles sont dans la plage 0 et 7 °F

(Desjardin, 1997). Cependant, la dureté ne fait pas l’objet d’une norme mais elle peut influencer le goût et la consommation en détergent, une eau dure ne savonne pas assez, la lessive ayant lieu près des plans d’eau la dureté aurait une incidence sur la pollution.

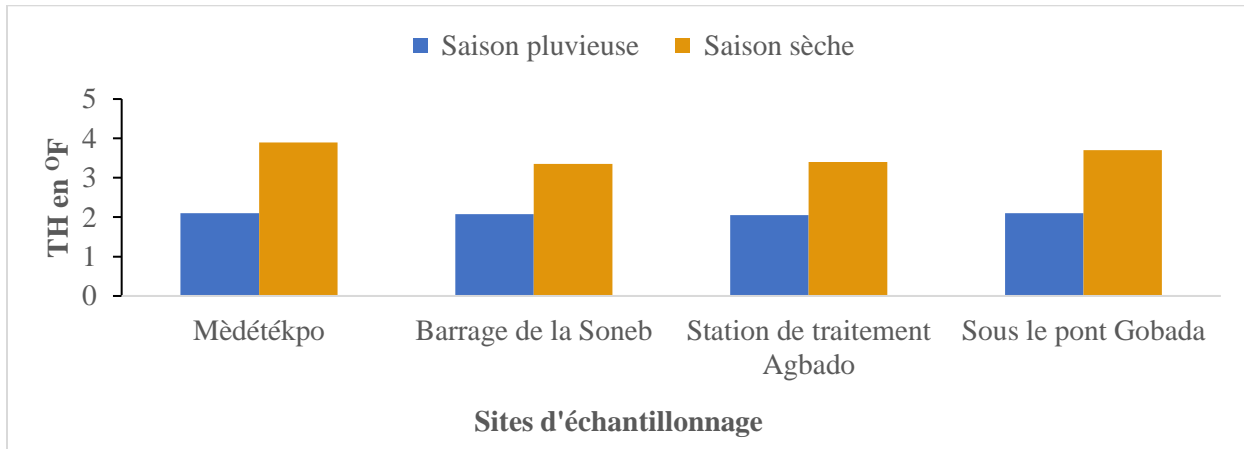


Figure 8 : Variation saisonnière de la dureté totale des eaux de la rivière Agbado

Calcium (Ca²⁺) : La figure 9 présente la variation saisonnière des ions calciums sur les sites d’échantillonnage de la rivière Agbado. Les teneurs en ion calcium des eaux de la rivière Agbado sont comprises entre 8,56 mg/L (Station de traitement Agbado) et 9,98 (Mèdétékpo) mg/L avec une moyenne de $9,31 \pm 0,58$ mg/L pendant la saison pluvieuse et

entre 16,05 (Station de traitement Agbado et Barrage de la Soneb) et 19,26 mg/L (Mèdétékpo) avec une moyenne de $17,12 \pm 1,51$ mg/L pendant la saison sèche. Les plus fortes teneurs en ion Ca²⁺ ont été enregistrées à Mèdétékpo pendant les deux saisons. Ces valeurs de Ca²⁺ sont très inférieures à la Concentration Maximale Admise (100 mg/L).

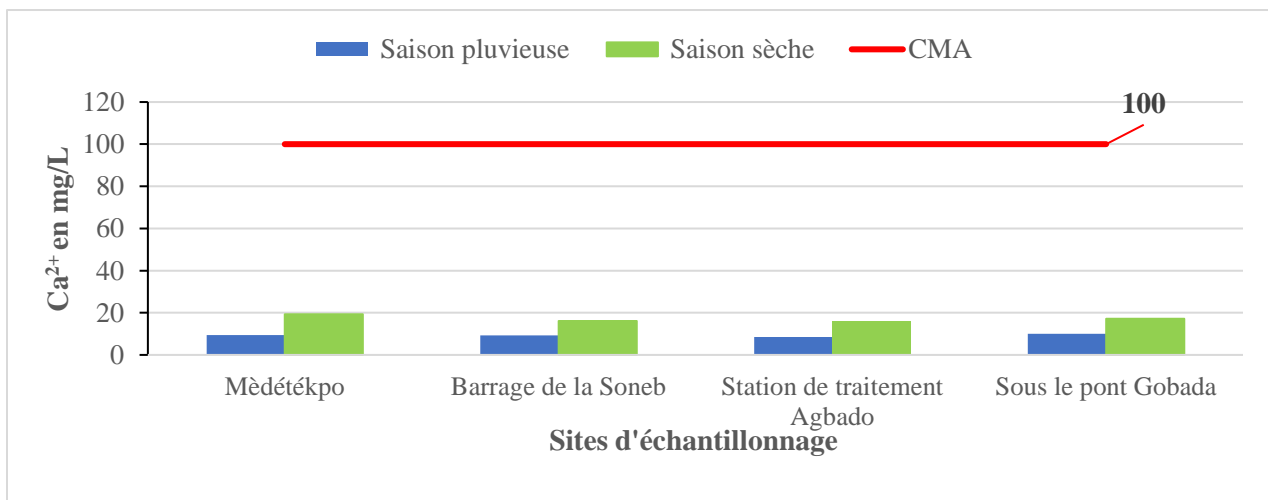


Figure 9 : Variation saisonnière des teneurs en ion calcium de la rivière Agbado

Magnésium (Mg²⁺) : La figure 10 présente la variation saisonnière des teneurs en ion magnésium de la rivière Agbado. Son analyse révèle que la moyenne en ion magnésium enregistrée pendant la période des hautes eaux (3,37±0,27 mg/L) est inférieure à celle des basses eaux (5,78± 0,59 mg/L). Ces teneurs varient entre 3,02 mg/L (Sous le pont Gobada) et 3,67 mg/L (Station de traitement Agbado) pendant la saison pluvieuse tandis qu’elles

varient entre 5,19 mg/L (Barrage de la Soneb) et 6,48 mg/L (Mèdétékpo) pendant la saison sèche. La plus forte valeur de l’ion Mg²⁺ des deux saisons a été obtenue à Mèdétékpo (6,48 mg/L). Les valeurs en ion magnésium sont plus élevées en saison sèche qu’en saison pluvieuse. Ce qui montre l’importance de la dilution des eaux pendant la saison pluvieuse par rapport à la saison sèche.

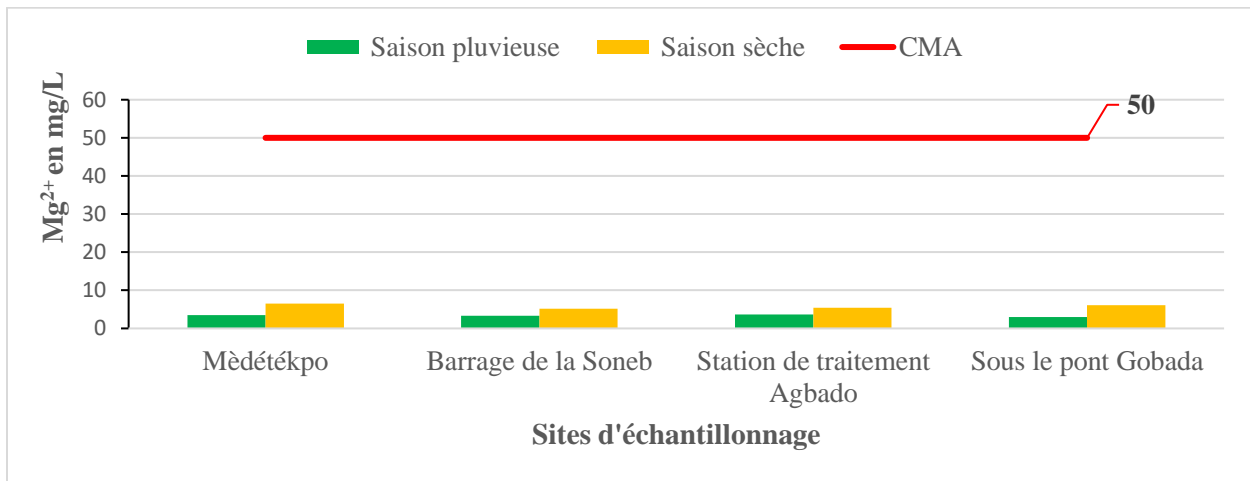


Figure 10 : Variation saisonnière des teneurs en ion magnésium de la rivière Agbado

Chlorure (Cl⁻) : L’analyse de la figure 11 révèle que les teneurs en ion chlorure enregistrées, pendant toutes les périodes d’étude (pluvieuse et sèche) sont inférieures à la norme de potabilité de la CMA fixée à 250

mg/L. Les moyennes 11,98±1,17 mg/L et 26,98±6,37 mg/L ont été obtenues respectivement pendant la saison pluvieuse et la saison sèche.

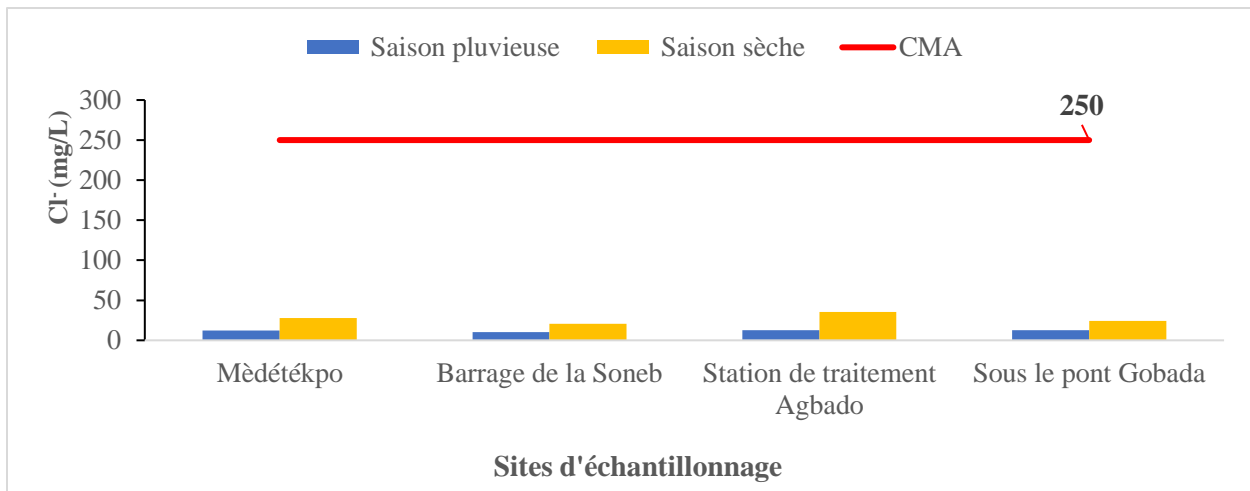


Figure 11 : Variation saisonnière des teneurs en ion chlorure de la rivière Agbado

Le fer total (Fe²⁺/Fe³⁺): Le tableau 3 présente l’évolution des teneurs en Fe²⁺/Fe³⁺ (mg/L) pendant la saison pluvieuse et la saison sèche en fonction des points d’échantillonnage. Les teneurs en fer total varient de 0,15 mg/L (Mèdétékpo) à 0,3 mg/L (Station de traitement de Soneb) pendant la saison pluvieuse et de 0,3 (Station de traitement Agbado et Sous le pont Gobada) à 0,35 mg/L (Mèdétékpo) pendant la saison sèche. Les valeurs moyennes respectives des teneurs en fer pendant la saison pluvieuse et la saison sèche sont 0,23±0,07 mg/L et 0,32±0,02 mg/L.

Le manganèse (Mn²⁺): Contrairement aux teneurs en fer, les teneurs en manganèse des

eaux de la rivière Agbado varient de 0,08 à 0,15 mg/L avec une moyenne de 0,10±0,02 mg/L pendant la saison pluvieuse et de 0,12 à 0,5 mg/L avec une moyenne de 0,23±0,17 mg/L pendant la saison sèche. Les valeurs élevées de Mn²⁺ ont été observées au niveau du Barrage de la Soneb et au site Mèdétékpo respectivement pendant la saison pluvieuse et la saison sèche. La forte valeur du Mn²⁺ observée pendant la saison sèche au site Mèdétékpo (0,5 mg/L) est largement supérieure à la norme de l’OMS qui fixe la teneur maximale des ions manganèse à 0,1 mg/L pour les eaux de consommation.

Tableau 3 : Variation saisonnière des teneurs en Fe²⁺ et en Mn²⁺ des eaux de la rivière Agbado.

Sites	Mèdétékpo	Barrage de la Soneb	Station de traitement Agbado	Sous le pont Gobada	Moy	Min	Max	Ecart -type
Paramètres								
Fe ²⁺ en mg/L SP	0,15	0,3	0,3	0,2	0,23	0,15	0,3	0,07
Fe ²⁺ en mg/L SS	0,35	0,35	0,3	0,3	0,32	0,3	0,35	0,02
Mn ²⁺ en mg/L SP	0,1	0,15	0,08	0,1	0,10	0,08	0,15	0,02
Mn ²⁺ en mg/L SS	0,5	0,125	0,175	0,15	0,23	0,12	0,5	0,17

(SP : Saison pluvieuse ; SS : Saison sèche)

Le TAC et le TAC d’équilibre : À partir du tableau 4, le TAC varie légèrement de 4,12 à 4,35 °F pendant la saison pluvieuse avec une moyenne de 4,24±0,09 °F. Après contact au marbre, le TAC varie de 4,08 à 5,3 °F avec une moyenne de 4,47±0,56. Le TAC et le TAC d’équilibre (TAC après contact au marbre) ont des teneurs les plus élevées au niveau du site Sous le pont Gobada et les plus faibles au site Barrage de la Soneb pendant la saison pluvieuse. En revanche, pendant la saison sèche, le TAC varie entre 5,3 et 10 °F avec une moyenne de 7,65±2,10 et celui d’équilibre varient de 7,5 à 11,85 °F avec une moyenne de 9,18±1,97. Les sites Mèdétékpo et Station de traitement Agbado ont enregistré respectivement les plus fortes et les plus faibles

teneurs du TAC et du TAC équilibrant pendant la saison sèche. Il est important de retenir de ces résultats que les TAC après contact au marbre sont supérieurs aux TAC initiaux pendant les deux saisons et au niveau de tous les sites. Quant à l’agressivité de l’eau, le CO₂ agressif varie de -0,33 à 4,18 mgCO₂/L pendant la saison pluvieuse et de 3,52 à 9,68 mgCO₂/L pendant la saison sèche. Les teneurs en CO₂ agressif obtenues pendant la saison pluvieuse sont inférieures à celles obtenues pendant la saison sèche. Les plus fortes teneurs en CO₂ agressif ont été observées aux sites Mèdétékpo (8,14 mg de CO₂/L) et à la Station de traitement Agbado (9,68 mg de CO₂/L) pendant la saison sèche.

Tableau 4 : Variation saisonnière du TAC et du TAC d’équilibre des eaux de la rivière Agbado.

Sites	Mèdétékpo	Barrage de la Soneb	Station de traitement Agbado	Sous le pont Gobada	Moy	Min	Max	Ecart-type
Saison pluvieuse								
TAC en °F SP	4,225	4,125	4,275	4,35	4,24375	4,125	4,35	0,09
TAC éq en °F SP	4,15	4,08	4,35	5,3	4,47	4,08	5,3	0,56
CO ₂ Agressif SP	-0,33	-0,198	0,33	4,18	0,9955	-0,33	4,18	2,14
Saison sèche								
TAC en °F SS	10	6,6	5,3	8,7	7,65	5,3	10	2,10
TAC éq en °F SS	11,85	7,9	7,5	9,5	9,1875	7,5	11,85	1,97
CO ₂ Agressif SS	8,14	5,72	9,68	3,52	6,765	3,52	9,68	2,70

TAC éq : Titre Alcalimétrique Complet équilibrant (TAC après contact au marbre)

Les ions bicarbonates (HCO₃⁻) : L’ion HCO₃⁻ est présent dans tous les sites d’échantillonnages comme le présente la figure 12. La teneur en ion HCO₃⁻ varie faiblement entre 50,32 à 53,07 mg/L pendant la saison pluvieuse avec une moyenne de 51,77±1,15 mg/L. Par contre, elle varie de 64,66 à 122

mg/L pendant la saison sèche avec une moyenne de 93,33±25,63 mg/L. La plus forte valeur de HCO₃⁻ a été obtenue à Mèdétékpo et la plus faible à la Station de traitement Agbado. Les teneurs moyennes en HCO₃⁻ pendant la saison sèche dépassent largement celles obtenues pendant la saison pluvieuse.

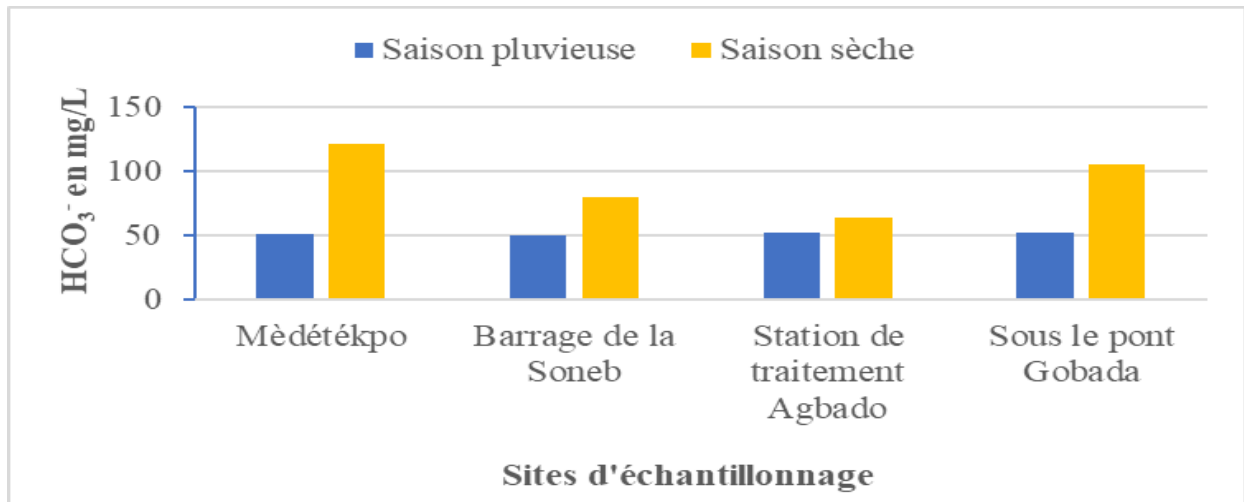


Figure 12 : Variation saisonnière des ions HCO₃⁻ des eaux de la rivière Agbado

Les nitrites : La concentration en nutriments est très importante dans l’évaluation de la qualité d’une eau. La figure 13 présente la variation saisonnière des ions nitrites dans les

différents sites étudiés de la rivière Agbado. Les teneurs en nitrite (NO₂⁻) sont relativement faibles et presque constantes. Ces teneurs ont une valeur moyenne de 0,025 mg/L durant la

saison pluvieuse et une valeur moyenne de 0,057 mg/L durant la saison sèche. La valeur maximale de nitrite (0,065 mg/L) a été observée au site Sous le pont Gobada pendant la saison sèche. Le nitrite fait partie de la composition naturelle des sols, des eaux et des

végétaux. Cependant, sa concentration y est très faible. Les teneurs en nitrite pendant les deux saisons sont inférieures à la norme béninoise (3,2 mg/L) et aussi inférieures à la directive OMS, 2017 (3 mg/L).

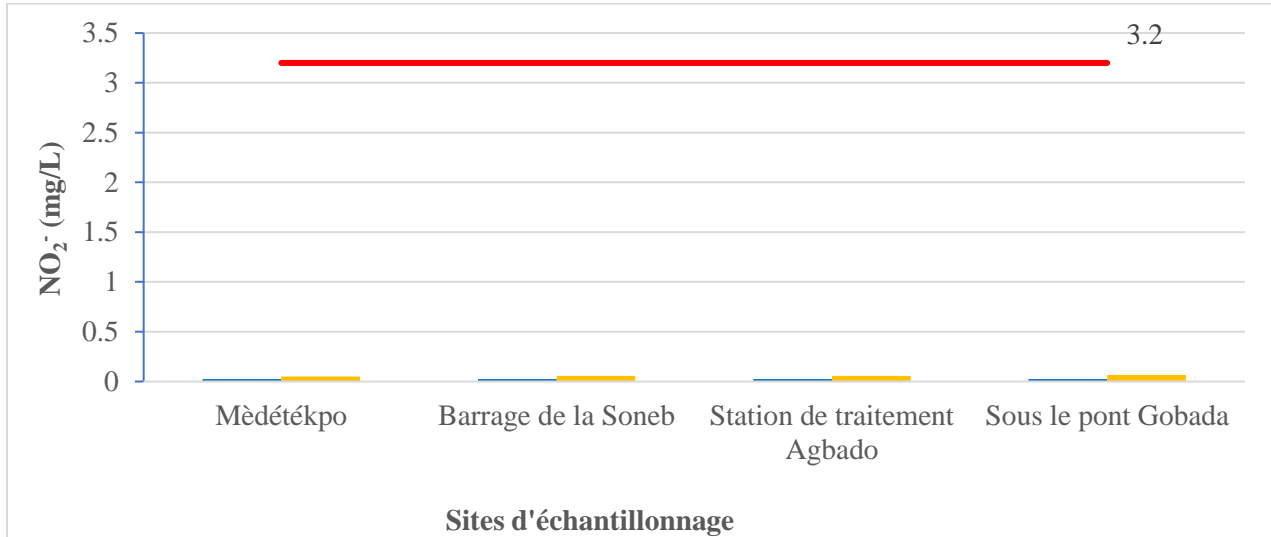


Figure 13 : Variation saisonnière des ions nitrites des eaux de la rivière Agbado

Les ions nitrates : La teneur en nitrate varie entre 10 mg/L (Médétékpo) et 25 mg/L (Barrage de la SONEB) avec une moyenne de $19,37 \pm 7,18$ mg/L durant la saison pluvieuse. Cette teneur varie entre 17,5 mg/L (Barrage de la Soneb) et 35 mg/L (Station de traitement Agbado et Sous le pont de Gobada) avec une moyenne de $28,12 \pm 8,50$ mg/L pendant la

saison sèche. Ces teneurs obtenues en nitrates sont inférieures à la valeur guide de l’OMS (50 mg/L) et également inférieures à la valeur maximale recommandée par la norme béninoise (45 mg/L) pour l’eau potable. La figure 14 présente la variation de la teneur en nitrate suivant les sites d’échantillonnage.

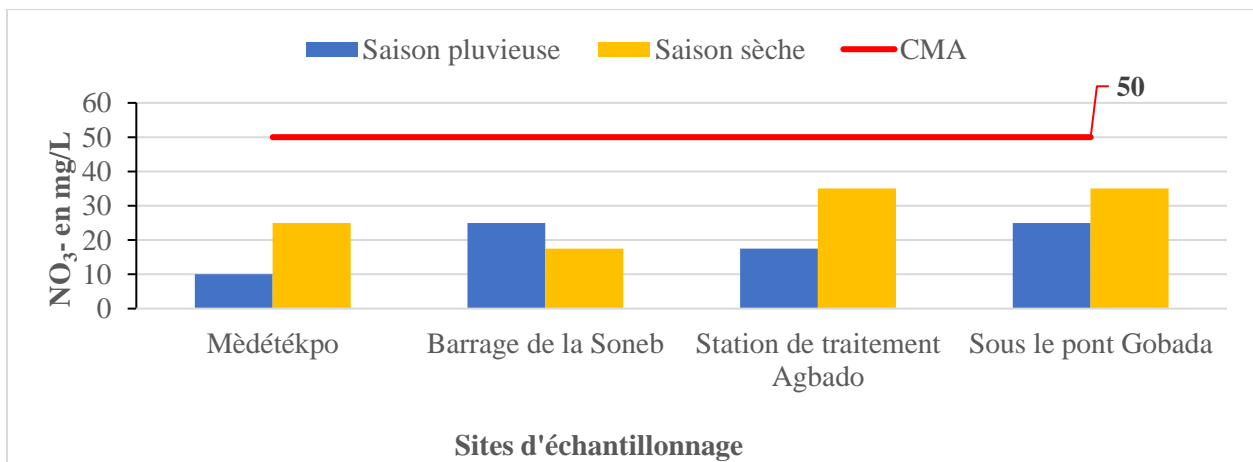


Figure 14 : Variation saisonnière des ions nitrates des eaux de la rivière Agbado

Les ions ammoniums (NH_4^+) : Les ions ammoniums (NH_4^+) proviennent de la dégradation des protéines animales (cycle de l'azote), des effluents domestiques (urée) et des ruissellements urbains (Potier *et al.*, 2008). L'ammonium étant toxique pour l'organisme humain, la présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau. C'est un élément indicateur de la pollution (Bassirou, 2002). Les teneurs en ion ammonium étudiées sont très faibles au niveau de tous les sites d'échantillonnage pendant les deux saisons. Ces teneurs sont toutes inférieures à la plus faible valeur du comparateur (0,02 mg/L). Les ions ammoniums sont sous formes de trace dans la rivière Agbado. Ceci confirme les résultats obtenus par Adido à la Station de traitement Agbado en juin 2022.

Analyse en Composantes Principales (ACP) des paramètres physico-chimiques : L'Analyse en Composantes Principales est l'une des méthodes d'analyse de données multivariées les plus fréquemment utilisées. Elle permet d'étudier des ensembles de données multidimensionnelles avec des variables quantitatives. Les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP), basée sur une matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques de l'eau ont montré que 80,7 % de la variance des données sont représentées par deux axes (Tableau 5).

Le premier axe de l'ACP (Fact 1) explique 54,76 % de la variation des paramètres physico-chimiques alors que le second axe (Fact 2) explique 25,94 %. La première composante principale est positivement corrélée aux paramètres tels que l'oxygène dissous, le magnésium et le manganèse et négativement corrélée aux paramètres tels que le pH, la turbidité, la conductivité électrique, le chlorure, le TAC, les bicarbonates et le CO_2 agressif. La deuxième composante principale est positivement corrélée à la température, le calcium et la dureté tandis qu'elle est négativement corrélée par le magnésium et le fer (figure 15 A). La projection des sites étudiés sur le plan factoriel des deux (02) composantes principales est présentée par la figure 15 B. Après analyse de cette figure, il en ressort que le site Mèdétékpo et Barrage de la Soneb corrélés positivement à l'axe CP2 (Fact 2) présentent la même tendance de variation avec les paramètres tels que la température et le manganèse. Alors que le site (Station Agbado) corrélé négativement à l'axe CP1 (Fact 1) présente un assemblage aux paramètres tels que la conductivité, les ions chlorures et les bicarbonates. Par ailleurs, les paramètres tels que la turbidité, les nitrates, le CO_2 agressif, la dureté et le calcium présentent une même tendance de variation au niveau du site (Sous le pont Gobada).

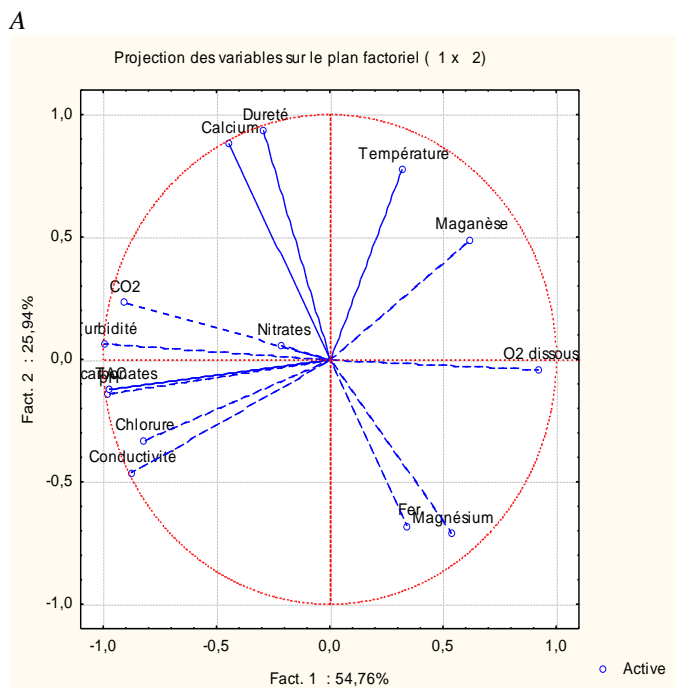


Figure 15 A : Projection des paramètres physico-chimiques et les sites dans les deux premières composantes principales

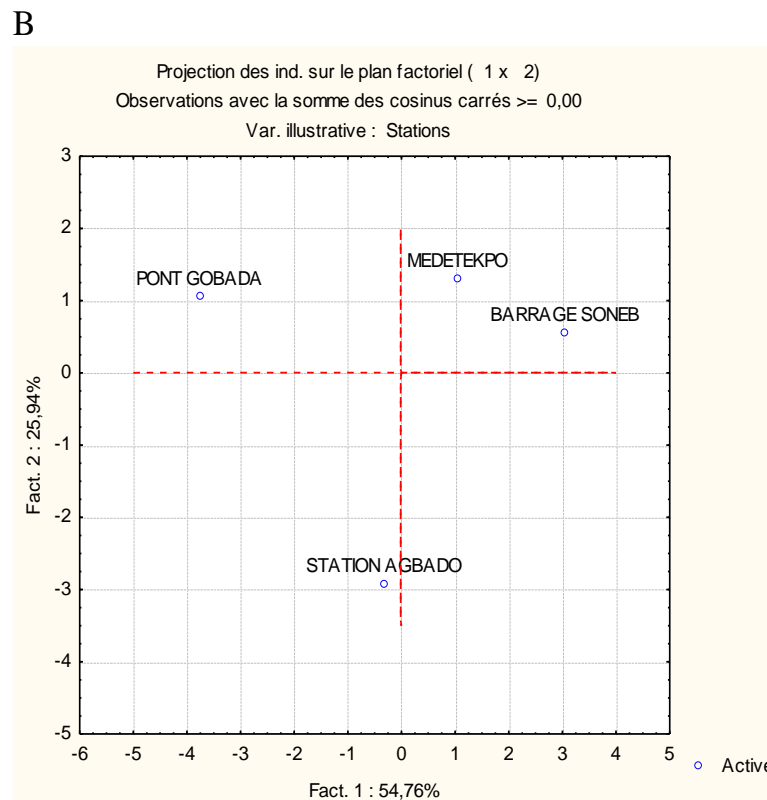


Figure 15 B : Projection des sites sur le plan factoriel des deux composantes principales

Tableau 5 : Corrélations entre les composantes principales et les paramètres physico-chimiques de l’eau

Paramètres	Fact. 1 (54,76 %)	Fact. 2 (25,94 %)
pH	-0,98	-0,14
Température (°C)	0,32	0,77
O ₂ dissous (mg/L)	0,92	-0,04
Turbidité (NTU)	-1,00	0,06
Calcium (mg/L)	-0,45	0,88
Magnésium (mg/L)	0,54	-0,71
Conductivité (µS/cm)	-0,88	-0,46
Dureté (°F)	-0,29	0,93
Chlorure (mg/L)	-0,82	-0,33
Fer (mg/L)	0,34	-0,68
Manganèse (mg/L)	0,62	0,49
TAC (°F)	-0,98	-0,12
Bicarbonates (mg/L)	-0,98	-0,12
CO ₂ agressif (mg/L)	-0,91	0,23
Nitrates (mg/L)	-0,21	0,06

Corrélations significatives ($\geq 0,5$) en gras

DISCUSSION

Les valeurs moyennes du pH montrent que les eaux de la rivière Agbado sont pratiquement neutres pendant les deux saisons. Ces moyennes sont dans les normes 6 et 9 favorables à la vie aquatique des eaux de surface selon Rodier (2008). Les normes béninoises en matière de qualité des eaux de consommation recommandent $6,5 < \text{pH} < 8,5$. Les valeurs enregistrées se situent dans cette gamme de pH. Ces valeurs ne font donc pas ressortir un signe de pollution du milieu étudié. Les valeurs du pH des eaux de la rivière Agbado sont dans les normes de potabilité des eaux de surface. Par ailleurs, les indices de Langelier et de Reyznar montrent que les eaux de la rivière Agbado sont agressives et présentent une corrosivité importante. Les résultats de la température des eaux de la rivière Agbado sont en concordances avec les travaux de Koné *et al.*, (2019) dans le lac Kossou avec une température moyenne de $28,05 \pm 0,66^\circ\text{C}$ pendant la saison pluvieuse et $28,85 \pm 1,08^\circ\text{C}$ pendant la saison sèche. De même, les valeurs moyennes de température

sont très proches de celles obtenues par Akognongbe *et al.*, (2013) dans le bassin de l’Ouémé. Ces auteurs ont trouvé une valeur moyenne de $26,7^\circ\text{C}$ pendant la période humide et une valeur moyenne de $27,0^\circ\text{C}$ pendant la période sèche. Par ailleurs, toutes les valeurs moyennes obtenues sont supérieures à la norme de l’OMS 2008 (25°C) et se situent dans la classe IV (28°C) de la grille d’évaluation des eaux de surface selon (SEQ Littoral, 2003) indiquant une eau de mauvaise qualité. Une température élevée de l’eau stimule la croissance des micro-organismes et peut accroître les problèmes liés au goût, à l’odeur, à la coloration et à la corrosion (OMS, 2017). Les teneurs élevées en oxygène dissous en saison pluvieuse par rapport à celles obtenues en saison sèche sur la rivière Agbado sont approximatives aux valeurs observées récemment par Koné *et al.*, (2022) dans le lac Kossou en Côte d’Ivoire. Ces auteurs ont obtenu des teneurs moyennes en oxygène de $6,74 \pm 1,03 \text{ mg/L}$ pendant la saison pluvieuse et $5,50 \pm 0,88 \text{ mg/L}$ pendant la saison sèche. Les

valeurs moyennes ($6,47 \pm 0,65$ mg/L et $4,26 \pm 0,39$ mg/L), obtenues respectivement pendant la saison pluvieuse et la saison sèche montrent que les eaux de la rivière Agbado sont plus oxygénées pendant la période de pluie que la période sèche. Selon l'OMS (2004), une eau de bonne qualité devrait avoir une concentration en oxygène supérieure à 7 mg/L. Or, toutes les teneurs en oxygène dissous, toutes saisons confondues sont inférieures à 7 mg/L, sauf à Mèdétékpo où la teneur en oxygène dissous est égale à 7 mg/L pendant la saison pluvieuse. Par conséquent, les eaux de la rivière Agbado ne seraient pas de bonne qualité. Cet appauvrissement en oxygène dissous des approvisionnements en eau peut stimuler la réduction microbienne des nitrates en nitrites et des sulfates en sulfures (OMS, 2017). La valeur moyenne de la conductivité électrique pendant la saison pluvieuse est égale à $90,17 \pm 3,39$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ et $178,51 \pm 71,21$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ pendant la saison sèche. Les plus fortes valeurs de la conductivité observées sous le pont Gobada (aval de la rivière) en saison pluvieuse et à Mèdétékpo (amont de la rivière) pendant la saison sèche pourraient s'expliquer par le flux des apports dus au ruissellement. De plus, les sites Mèdétékpo et sous le pont de Gobada reçoivent les eaux usées domestiques de la population de Mèdétékpo et celle de Gobada qui sont toutes en amont de ces deux sites d'échantillonnage. Ce qui pourrait être à l'origine des fortes valeurs de conductivité enregistrées. Toutefois, ces valeurs sont inférieures à la norme béninoise qui recommande 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la Concentration Maximale Admissible (CMA) pour les eaux douces sauf à Mèdétékpo où on obtient une valeur de conductivité supérieure à la CMA. Le site Mèdétékpo en fait l'exception où on a enregistré une valeur supérieure à cette concentration pendant la saison sèche (280,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ainsi, selon Rodier *et al.*, (2009), une conductivité comprise entre $100 < \text{C.E} < 200$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour un cours d'eau est également

synonyme d'une faible minéralisation des sels en présence dans le milieu et par ricochet, comprise entre 60 et 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ traduisant une eau de qualité passable ou moyenne (SEQ Littoral, 2003). Les teneurs en turbidité de la rivière Agbado sont supérieures à la Concentration Maximale Admise (CMA) pendant les deux saisons et au niveau de tous les sites d'échantillonnage. La forte turbidité peut s'expliquer par une forte présence des matières non dissoutes, des colloïdes, des composés organiques et par conséquent, une faible transparence de l'eau. Les valeurs moyennes saisonnières de la turbidité sont très inférieures à celles obtenues en saison pluvieuse par Kpatchia 2014 (106 NTU) sur le fleuve Okpara, qui est une source d'approvisionnement en eau potable de la ville de Parakou. La turbidité est un paramètre caractéristique des eaux naturelles dont l'élimination permet d'éviter le colmatage des ouvrages des traitements et des conduites d'eau et de rendre efficace la désinfection. La turbidité est l'un des paramètres associés à la couleur de l'eau qu'apprécie les populations de Savalou, sont à l'origine de la quasi-totalité des plaintes des abonnés sur le réseau de distribution. Il urge donc, d'en faire un traitement efficace et un suivi régulier de ce paramètre. Ainsi, en se basant sur la grille turbidité du SEQ Littoral, 2003, on peut donc dire que les eaux de la rivière Agbado sont de qualité passable pendant la saison pluvieuse et de bonne qualité pendant la saison sèche. Les eaux de la rivière Agbado ont révélé des valeurs de dureté comprises entre 0 et 7 °F, qui correspondent à la plage des eaux très douces. Les teneurs de dureté observées pendant les deux saisons sont contraires à celles observées par Azonankpo *et al.*, (2020) dans le Delta de l'Ouémé. Les différences de teneurs de dureté pendant notre étude et celle de ces auteurs, peuvent s'expliquer par la nature des écosystèmes étudiés. Les teneurs moyennes saisonnières des ions calcium, magnésium et chlorure sont en dessous des normes de l'OMS

soient 100 mg/L pour le calcium, 50 mg/L pour le magnésium et 250 mg/L pour le chlorure. La moyenne de la teneur en calcium ($9,31 \pm 0,58$ mg/L) pendant la saison pluvieuse est proche de celle observée par Kpatchia (2014) sur le fleuve Okpara pendant la même saison qui est de 10 mg/L, mais contraire à celle obtenue par Akognongbe *et al.*, (2013) dans le bassin de l'Ouémé. Ces auteurs ont enregistré une moyenne de 116,90 mg/L pendant les hausses eaux et une moyenne de 83,25 mg/L pendant les basses eaux. Ainsi, le même constat se fait sur la teneur moyenne en magnésium ($3,37 \pm 0,27$ mg/L) observée sur la rivière Agbado pendant la saison pluvieuse comparativement aux résultats du même auteur sur le même écosystème et pendant la même saison soit 3,27 mg/L. La valeur moyenne de la teneur en chlorure ($11,98 \pm 1,17$ mg/L) obtenue sur la rivière Agbado est également très proche de celle obtenue par Kpatchia (11,36 mg/L), en juin 2014 sur le même fleuve Okpara. On pourrait donc dire que la rivière Agbado et le fleuve Okpara qui sont tous des écosystèmes exploités, pour l'approvisionnement en eau potable présentent les mêmes caractéristiques pendant la saison pluvieuse pour les ions majeurs tels que le calcium, le magnésium et le chlorure. De l'analyse de ces résultats, on retient que les trois ions (calcium, magnésium et chlorure) sont moins concentrés pendant la saison pluvieuse que la saison sèche. Les valeurs en ions Ca^{2+} , Mg^{2+} et Cl^- observées au cours de la saison sèche font presque le double de celles observées pendant la saison pluvieuse au niveau de tous les sites d'échantillonnage. Ce qui peut s'expliquer par le phénomène de dilution des eaux pendant la période humide. A des niveaux supérieurs à 0,3 mg/l, le fer colore le linge et la robinetterie (OMS, 2017). La valeur moyenne du fer des eaux de la rivière Agbado pendant la saison sèche ($0,32 \pm 0,02$ mg/L) est légèrement supérieure à la Consommation Maximale Admissible (0,3 mg/L). Par ailleurs, les valeurs moyennes de

fer total observées pendant les deux saisons sont inférieures à celles obtenues par Akpovo (2014) sur les eaux de puits et de surface de la commune de Savalou. Selon Fandohan 2009, les eaux riches en fer ont un impact sur les caractères organoleptiques de l'eau tels que la couleur. Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à 0,5 mg/L de fer qui peut avoir pour origine la lixiviation des terrains traversés, ou les pollutions industrielles (Rodier, 1996). La valeur moyenne de la teneur en manganèse dans les eaux de la rivière Agbado pendant la saison sèche ($0,23 \pm 0,17$ mg/L) est supérieure à la valeur maximale de l'OMS (0,1 mg/L) pour les eaux de consommation. Ainsi, la teneur en Mn^{2+} observée au site Mèdétékpo (0,5 mg/L) pendant la saison sèche dépasse énormément la norme admise par l'OMS. A des niveaux excédants 0,1 mg/L, le manganèse présent dans les approvisionnements en eau peut conférer un goût indésirable aux boissons et colore la faïence sanitaire et le linge. La présence de manganèse dans l'eau de boisson, comme celle de fer, peut entraîner l'accumulation de dépôts dans le réseau de distribution (OMS, 2017). Ces résultats montrent qu'il faut nécessairement faire la clarification des eaux brutes de la rivière Agbado pour corriger le taux du Mn^{2+} avant la désinfection et ensuite la distribution par la Soneb. Cette teneur élevée en manganèse pendant la saison sèche au niveau du site Mèdétékpo peut être due à la dissolution des roches, aux lessivages des horizons superficiels du sol. Les teneurs moyennes du TAC initial ($4,24 \pm 0,08$) et du TAC équilibrant ($4,47 \pm 0,56$) obtenues pendant la saison pluvieuse sont comprises dans la plage de l'OMS (4 à 5 °F). En revanche, la valeur moyenne du TAC équilibrant ($9,18 \pm 1,97$) dépasse largement les normes de l'OMS. Cette forte teneur de TAC équilibrant peut s'expliquer par une forte concentration des eaux étudiées en ions bicarbonates et carbonates. La moyenne du TAC obtenue en saison sèche dépasse celle obtenue par

Kpachia (2014) sur le fleuve Okpara. Cette différence peut s'expliquer par la période d'échantillonnage. Selon Quenum, 2009 l'eau a un caractère agressif, si sa concentration en CO_2 agressif est supérieure à 8 mg/L. Alors les eaux de la rivière Agbado sont moins agressives pendant la saison pluvieuse qu'en saison sèche. Les eaux brutes du site Mèdétékpo et de la Station de traitement Agbado sont très agressives pendant la saison sèche. Toutes les valeurs moyennes issues des analyses du HCO_3^- dépassent les normes de potabilité admises par la Consommation Maximale Admise (50 mg/L). Ces fortes teneurs peuvent se traduire par la présence de contamination des eaux de la nappe dans les sites d'étude. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Akognongbe *et al.*, 2013 dans le bassin de l'Ouémé. Ces auteurs ont obtenu une valeur moyenne de 70,8 mg/L et 73,0 mg/L respectivement en période humide et en période sèche. Les nitrites sont toxiques pour l'organisme humain, leur présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau (Semegan 1995). La rivière Agbado présente des traces de nitrites au cours des deux saisons d'études. Les teneurs comprises entre 0,0025 et 0,0065 mg/l pendant les deux saisons d'étude sont conformes à celles trouvées par Adido en juin 2019 à la Station de traitement Agbado. De même, ces teneurs en nitrite trouvées dans la rivière Agbado corroborent à celles trouvées par Zinsou *et al.*, 2015 dans le delta de l'Ouémé. Ces auteurs ont observé des valeurs comprises entre 0,004 et 0,13 mg/l. Ceci pourrait être dû à l'oxydation rapide qui les transforme en nitrates. Les teneurs saisonnières en nitrites des eaux de la rivière Agbado sont inférieures à la norme de l'OMS. Quant aux nitrates, leur présence dans les cours d'eau est due, soit au lessivage des terres

agricoles, soit aux réactions oxydatives de l'azote ammoniacal et des nitrites (Khalaf *et al.*, 2007). La plus forte valeur de nitrate obtenue à la Station de traitement Agbado pourrait être à l'origine des déjections fécales des bœufs qui sont installés non loin de la station les jours du marché de Savalou, les apports des eaux de ruissellement et des engrais chimiques utilisés par les riverains pour le maraichage. De même, la forte teneur de nitrate observée Sous le pont Gobada pourrait être à l'origine de l'usage des engrais chimiques lors des activités agricoles qui se développent le long de ce site par la population de Gobada. Les valeurs élevées ont été enregistrées pendant la saison sèche, et sont probablement liées à l'intensification du processus de dénitrification (Groga, 2012). Toutefois, ces valeurs de nitrates sont inférieures à la Consommation Maximale Admise de potabilité (50 mg/L). Ce qui montre que les eaux de la rivière Agbado présentent une qualité passable (classe III) pendant la saison pluvieuse et une mauvaise qualité (classe IV) pendant la saison sèche surtout les sites Station de traitement Agbado et Sous le pont Gobada (SEQ Littoral, 2003). Les concentrations en ion ammonium au niveau des sites étudiés sont inférieures à 0,1 mg/L pendant la saison pluvieuse et la saison sèche. Ces teneurs très faibles à nulles laissent prédire que cet élément ne constitue pas un risque de pollution pour les eaux de la rivière Agbado. Faut-il le rappeler, selon l'OMS, 2017, plus de la moitié des engrais azotés s'infiltrent dans l'eau ou dans l'air. Dans l'eau, ils peuvent entraîner une hypoxie et des zones mortes, des problèmes résultant d'un manque d'oxygène dissous dans l'eau et dont la résolution peut prendre des siècles.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Au regard de tout ce qui précède, on peut retenir que la rivière Agbado est une eau de surface dont l'exploitation en eau potable soulage la population de Savalou. Nos travaux de recherche sur ce cours d'eau montrent que les paramètres physico-chimiques varient d'un site à un autre et d'une saison à une autre. En effet, les résultats d'analyses montrent que c'est une très douce agressive présentant une importante corrosivité, ayant une température très élevée et moins oxygénée, et puis, une faible minéralisation pendant les deux saisons (pluvieuse et sèche). En ce qui concerne la variation saisonnière, les eaux sont moins concentrées en ion majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^-) pendant la saison pluvieuse que la saison sèche. Par contre, ces eaux sont très turbides donc une faible transparence pendant la saison pluvieuse que la saison sèche à cause de la dilution de l'eau. Le taux élevé du fer et du manganèse serait à l'origine de la couleur rougeâtre observée souvent chez les abonnés après traitement. Par ailleurs, les activités agricoles seraient à l'origine de la concentration élevée en nutriments azotés notamment en nitrites et en nitrates pendant la saison sèche et surtout au niveau des sites

Station de traitement Agbado et Sous le pont Gobada. En outre, on observe une forte corrélation et par conséquent un assemblage des paramètres physico-chimiques au niveau des sites d'étude d'après l'Analyse en Composante Principale.

Toutefois, ces résultats issus de notre étude ne nous permettent pas de donner une idée réelle sur la qualité de l'eau de la rivière Agbado à cause du nombre limité de campagne d'échantillonnage. Pour cela, nous suggérons de :

- poursuivre cette étude en faisant au moins trois campagnes d'échantillonnage par saison voir mensuelles afin de mieux apprécier la variation saisonnière des paramètres physico-chimiques.

- évaluer la qualité microbiologique et biologique de l'eau de la rivière Agbado.

- faire un traitement efficace et un suivi régulier des paramètres physico-chimiques de l'eau brute avant la distribution pour la consommation.

- délimiter un périmètre de sécurité le long des berges de la rivière Agbado surtout le barrage de la station de pompage et de traitement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Akognongbe A., Mama D., Vissin E., et Boko M., 2013. Dynamique saisonnière de la qualité physico- chimique des eaux de surface dans le bassin de l'Ouémé à l'exutoire de Bétérou Rev. Ivoir. Sci. Technol., 24 (2014) 278 – 298 ISSN 1813-3290, <http://www.revist>.

ANAEP-MR (Agence d'Approvisionnement en Eau Potable en Milieu Rural) Bénin 2020, Programme de Solidarité Eau www.pseau.org.

Aziz A., 2004. Pollution anthropique de cours d'eau : caractérisation spatio-temporelle et estimation des flux. Mémoire de thèse de l'Université de Lorraine.

Azonnakpo O., Agbossou E., Aminou T., 2020. Qualité Physico-Chimique et Bactériologique de l'Eau dans le Delta de l'Ouémé. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)* ISSN : 2509-0119. © 2020.

Barbat K., 2016. Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage Béni Haroun. Mémoire de Master Université des Frères M'entourai Constantine Gestion durable des Écosystèmes et protection de l'environnement. Option : Pollution des écosystèmes et Ecotoxicologie République d'Algérie.

Bassirou D., 2002. Colloque international organisé par le Ministère de

- l'Hydraulique et de l'Énergie sur Eau, Environnement, Développement Novembre 2002.
- Bonte L., Pons M., Potier O., and Rocklin P., 2008. Relation between Conductivity and Ion Content in Urban Wastewater" *Journal of Water Science*, 21, 4, (2008), 429- 438.
- Damania R., Desbureaux S., Rodella A. S., Russ J., et Zaveri E., 2019. Qualité inconnue : la crise invisible de l'eau. Rapport du groupe de la banque mondiale.
<https://openknowledge.worldbank.org/handle//3245>.
- Degremont T., 1989. Mémento technique de l'eau, Technique et documentation. Tome 1, p 5, 24 25.
- Degremont T., 1989. Mémento technique de l'eau. Tome 1, 10^{ème} édition. 785p.
- Desjardins R., 1997. Le traitement des eaux. 2^{ème} Édition de l'École Polytechnique de Montréal, 304p.
- Hounsou M., Agbossou E., Ahamide B., et Akponikpe I., 2010. Qualité bactériologique de l'eau du bassin de l'Ouémé : cas des coliformes totaux et fécaux dans les retenues d'eau de l'Okpara, de Djougou et de Savalou au Bénin. *Int. J. Biol. Chem Sci.* 4(2) : 377-390, April 2010.
- Gbaguidi M. A. N., Soclo H. H., Issa Y. M., Fayomi B., Dognon R., Agagbe A., Bonou C., Youssao A., Dovonou L. F., et Sanni A., 2011. Evaluation quantitative des résidus de pyrèthriinoïdes, d'aminophosphate et de triazines en zones de production de coton au Bénin par la méthode ELISA en phase liquide : cas des eaux de la rivière Agbado.
- Girard P., 1993. Techniques isotopiques (¹⁵N, ¹⁸O) appliquées à l'étude des nappes des altérites et du socle fracturé de l'Ouest Africain. Étude de cas : l'Ouest du Niger 44p.
- Groga N, 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse d'écologie fonctionnelle, Université de Toulouse, INP-Ensat, 224pp.
- IBGE, 2005. Observatoire des données de l'environnement 1/16 : "L'eau à Bruxelles" novembre 2005.
- EIES (d'Étude d'Impact Environnemental et Social), 2020. Rapport des travaux de construction du Lycée Agro-Pastoral de Kpataba dans la commune de Savalou, département des collines réalisé par AID Expertise Groupe Sarl en octobre 2020.
- Khalaf G., Slim K., Saad Z., Nakhlé K., 2007. Evaluation de la qualité biologique des eaux du Nahr el Jaouz (Liban) : application des méthodes indicielles. *Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon*, 76 (9-10) : 255-268.
- Koné N., N'da A., Kien N., Boguhé G., et Berté S., 2022. Caractérisation physico-chimique des eaux du lac du barrage hydroélectrique de kossou, fleuve Bandama en Côte d'Ivoire (Rev. Ivoir. Sci. Technol., 39 (2022) 55 - 69 55 ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>).
- Kpatchia A., 2014. Evaluation qualitative et quantitative de l'alimentation en eau potable dans la ville Parakou. Mémoire de master en gestion des infrastructures et service option : eau et assainissement à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.
- Le Barbe L., Alé G., Milliet., G., Texier H., Borel Y., et Gualde R., 1993. Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Edition ORSTOM ; 540p.
- Lounnas A., 2009. Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station hamadi-kroma de skikda. Thèse de doctorat, 120p.

- Merhabi F., Amine H., et Halwani., 2019. Evaluation de la qualité des eaux de surface de la rivière Kadicha. *Journal scientifique Libanais*. 20 (1) : 10-34.
- Monographie de la Commune de Savalou AFRIQUE CONSEIL, Avril 2006. 3-24p. <http://www.google.com>.
- Myrand D., Ferland J., Lacouline R., Lamontagne C., Ouellet M., 2008. Captage d'eau souterraine pour des résidences isolées. Guide technique, Québec B 47p.
- OMS 2004. Directives de qualité pour l'eau de boisson, Vol.1-recommandations. Organisation Mondiale de la Santé, 3ème édition, 110 p.
- OMS 2008. Preventing Violence and reducing its Impacts : How Development Agencies can help, OMS, Genève 2008.
- OMS 2017. Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4ème édition. Intégrant le premier additif. Guidelines for drinking-water quality : 4th ed. Incorporating first addendum.
- PDC (Plan de Développement Communal) Savalou Avril 2016, et 2018-2022.
- Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition. Denod, Paris, 1383.
- Rodier J., 2009. L'analyse de l'eau. Ed. Dunod Paris. ISBN : 978- 2-10054179-9.
- Semega B., M. 1995. Interactions physico-chimiques des eaux de la nappe côtière du Trarza (Mauritanie) à Idini et le long du littoral sud. Thèse de Doctorat de l'Université de Nice, 1995.
- Sintondji L., Agbossou E. et Degnissode B., 2013. Dynamique de dégradation des forêts galeries et comblement du cours d'eau Agbado dans le département des collines au Bénin. *Int. J. Biol. Chem Sci*. 7(4) : 1555-1567, 2013.
- SONEB (Société Nationale des Eaux du Bénin), protocole d'analyse des eaux.
- Zinsou H., Attingli A., Gnohossou P., Adandedjan D., et Laleye P., 2015. Caractéristiques physico- chimiques et pollution de l'eau du delta de l'Ouémé au Bénin.