

Qualité Physico-Chimique et Bactériologique de l'Eau dans le Delta de l'Oueme

Olivier V. AZONNAKPO¹ ; Euloge K. AGBOSSOU² ; Taofiki AMINOU³

¹Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH, Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin,

²Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin. Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau (LHME), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin.

³Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin.



Résumé – L'étude de la qualité des eaux dans le delta de l'Ouémé à travers les caractéristiques physico-chimiques mesurées permet de constater que les paramètres considérés varient dans l'espace et selon les périodes hydrologiques.

Au total, 30 points de prélèvement ont été identifiés et retenus pour l'analyse physico-chimique et 30 pour l'analyse bactériologique. Pour la physico-chimie : des campagnes de prélèvements ont été organisées au cours de la saison sèche et pendant la saison pluvieuse au niveau des différentes sources d'approvisionnement en eau. Pour l'analyse bactériologique : les mêmes campagnes de prélèvements ont été organisées au niveau des ménages et points de distribution.

Généralement, pendant la période pluvieuse la plupart des variables (conductivité et matières azotées) sont faibles à cause des apports d'eau que le milieu reçoit et qui contribuent à leur dilution. En effet, le paramètre conductivité est étroitement lié à la nature et à la concentration de substances dissoutes du milieu. Ainsi, dans la zone deltaïque, les valeurs de la conductivité sont faibles pendant les deux périodes considérées.

Au niveau des nitrites, les valeurs obtenues sont faibles dans les eaux analysées à l'exception de deux eaux dont les teneurs sont supérieures à la normale dans la saison pluvieuse. Donc, dans la zone deltaïque, on trouve par endroit des traces de nitrites dans les eaux. Au niveau des chlorures, les concentrations obtenues varient entre 7,1 mg/L et 580,23 mg/L. Ces valeurs montrent que les eaux de la zone deltaïque ont une concentration élevée en chlorure.

En ce qui concerne l'analyse bactériologiques, les résultats montrent que la totalité des échantillons prélevés était polluée par la présence de germes et de coliformes. Ils montrent que presque toutes les eaux analysées sont souillées par les germes totaux, les coliformes fécaux et coliformes totaux. En effet, la présence d'un de ces micro-organismes pathogènes dans un volume de 100 ml d'eau d'échantillon, indique que ces eaux ne cadrent pas avec les seuils recommandés et sont hors des normes de l'OMS (OMS, 1994) et du Bénin (MSP, 2001).

Les contaminations des eaux sont le plus souvent causées par des risques permanents de pollution exogène (eaux de ruissellement des pluies, rejets d'eaux usées, infiltration des latrines, etc.)

Toutefois, la détection d'une pollution d'origine fécale n'est pas synonyme de présence de bactérie forcément pathogène, mais plutôt d'un risque épidémiologique potentiel. Cependant, pour le bien-être de l'homme, il faut que tous les germes soient systématiquement éliminés lors des traitements de ces eaux en vue de leur potabilité.

Mots clés – Delta De l'Ouémé, Germe, Analyse D'eau, Pollution De L'eau, Prélèvement, Saison.

I. INTRODUCTION

La question de l'eau mais surtout celle de sa qualité est l'une des questions les plus stratégiques de notre temps.

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se fonde sur la mesure de paramètres physico-chimiques et la teneur des éléments métalliques ainsi que par la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques considérés

comme indicateurs de la qualité de l'eau (Bli-Effert et Perraud, 2001). L'étude sur la qualité de l'eau dans le delta de l'Ouémé est réalisée du fait que l'eau est l'aliment le plus abondant, indispensable, irremplaçable pour tout organisme et l'installation des agglomérations. Les détritux de types déchets ménagers, les engrais chimiques utilisés dans l'agriculture, la pêche, l'extraction des sables, la réalisation des infrastructures routières ont des impacts sur la qualité de l'eau. Ces impacts contribuent à la pollution chimique et bactériologique de l'eau.

La nature physique et chimique des eaux est liée principalement au substratum hydrogéologique du bassin et induite par les pluies qui sont les principaux facteurs hydrogéologiques qui engendrent les écoulements (Le Barbé *et al.*, 1993 ; Kamagaté, 2006). Les principales activités pratiquées par les populations du Delta de l'Ouémé sont l'agriculture, le tourisme, le commerce, la pêche, l'extraction des sables (Adjakpa et Akpo, 2008). Parmi ces activités, l'agriculture est la plus pratiquée et son développement en association avec les activités ménagères introduisent dans le cycle de l'eau des substances chimiques dont une partie importante atteint les nappes souterraines, les rivières et les plans d'eau (Grosclaude, 1998). Or, beaucoup de personnes utilisent l'eau des fleuves et des rivières pour satisfaire tous les besoins domestiques et agricoles.

Un certain nombre de critères, de paramètres doivent être conformes aux normes avant que la qualité de l'eau ne réponde aux besoins de l'homme. Il est donc indispensable qu'une eau destinée surtout à la consommation et à l'usage domestique et même agricole doit être conforme aux normes de qualité physico-chimique et bactériologique recommandées par l'OMS et le Bénin (Hounsou, 2011). La surveillance de la qualité de l'eau ne peut réussir qu'en ayant une bonne connaissance des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux dans le Delta de l'Ouémé afin d'évaluer et d'apprécier le degré de productivité et la qualité de l'hydro système.

II. MÉTHODOLOGIE

Pour la détermination des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques, des eaux prélevées dans les cours d'eau, plans d'eaux et nappes souterraines ont été analysés au laboratoire de qualité d'eau de la direction générale de l'eau et au Laboratoire Direction Nationale de la Santé Publique (DNSP) ainsi qu'au Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau (LSTE).

2.1- Collecte de données (Les points de prélèvement et campagne d'échantillonnage d'eau)

Pour le choix des différents points de prélèvement d'échantillon d'eau, un premier travail a été fait pour identifier ces points. Les points de prélèvements se localisent dans des villages ou quartier de ville situés dans des communes du Delta. Ces communes, arrondissements, quartiers et villages ont été retenus suivant les critères ci-après :

- la commune doit être située dans la zone deltaïque (carte de la zone du Delta) et doit être traversée par le cours principal du fleuve Ouémé ;
- les arrondissements, les quartiers ou villages situés dans le delta et qui reçoivent les eaux de déferlement du fleuve Ouémé ;

Les coordonnées de ces points ont été relevées par le GPS de marque eTrax 10 pour un bon repérage de leur position par le Système d'Information Géographique (SIG). Comme les ressources en eau du delta de l'Ouémé concernent à la fois les cours d'eaux, les plans d'eau et les eaux souterraines, ces sources sont prises en compte dans cette étude. Ainsi, des prélèvements ont été effectués aussi bien dans les eaux de surface que dans les nappes souterraines. Pour les eaux souterraines, les échantillons ont été prélevés au niveau des forages publics, puits modernes qui sont des ouvrages d'approvisionnement en eau.

Au total, 30 points de prélèvement ont été identifiés et retenus pour l'analyse physico-chimique et 30 pour l'analyse bactériologique.

- Pour la physico-chimie : des campagnes de prélèvements ont été organisées au cours de la saison sèche et pendant la saison pluvieuse au niveau des différentes sources d'approvisionnement en eau.
- Pour l'analyse bactériologique : les mêmes campagnes de prélèvements ont été organisées au niveau des ménages et des points de distribution.

2.2- Plan de la collecte des données

2.2.1- Les paramètres physico-chimiques

Toutes les espèces chimiques importantes dans l'eau ont été dosées à savoir: les chlorures, le calcium, le magnésium, le sulfate, le carbonate, le sodium et le potassium. Les autres éléments tel que le fer, les matières organiques, la couleur, la turbidité ainsi que la conductivité de l'eau ont été également dosés. La température, le pH, ainsi que le résidu sec (RS) ont été aussi déterminés.

2.2.2- Matériels utilisés

- Flacon de 500 ml
- Fioles en verre et plastique
- Plaque chauffante
- Calotte et puisette
- Eprouvette de 50 ml
- Agitateur magnétique
- Barreau magnétique
- Baguette et papier hygiénique
- Ballons de 100 ml
- Bêchers de 50 ml
- Erlenmeyers
- Burette de 10 ml ou 25 ml
- Cuvette de 10 ml ou 25 ml
- Pipette de 2 ml
- Ciseaux et poires

2.2.3 Prélèvement physico-chimique

L'échantillonnage pour la physico-chimique n'a pas posé de problème particulier. Des flacons plastiques sont suffisants et le volume du prélèvement est de un litre pour une analyse complète. L'échantillon peut être gardé quelques jours mais il est préférable d'effectuer le dosage des éléments chimiques le plus tôt possible. Les composés comme les nitrates et autres peuvent subir des modifications lors de la conservation.

2.3 Méthodes d'analyses

2.3.1 Caractéristiques physico-chimiques

A- Température

La température de l'eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). L'activité métabolique des organismes aquatiques est aussi également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît.

La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes. Des changements brusques de température de plus de 3° C s'avèrent souvent néfastes.

La détermination de la température est faite in situ et repris au laboratoire à l'aide d'un thermomètre incorporé à l'oxymètre étalonné avant chaque manipulation. On lit directement la température exprimée en degré Celsius (°C).

B- Le pH

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H_3O^+). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés.

- Principe

Pour cette détermination, nous utilisons une méthode électrométrique avec électrode combinée selon la norme AFNOR. Cette méthode consiste à plonger dans l'échantillon, une électrode spécifique.

- Mode opératoire

- Appuyer sur le bouton ON/OFF pour mettre l'appareil sous tension ;
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable ;
- Plonger l'électrode dans la solution à mesurer à une profondeur minimum de quatre centimètres ;
- Attendre que la valeur soit stable avant la lecture ;
- Rincer à nouveau l'électrode avec de l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable propre pour réaliser la mesure suivante.

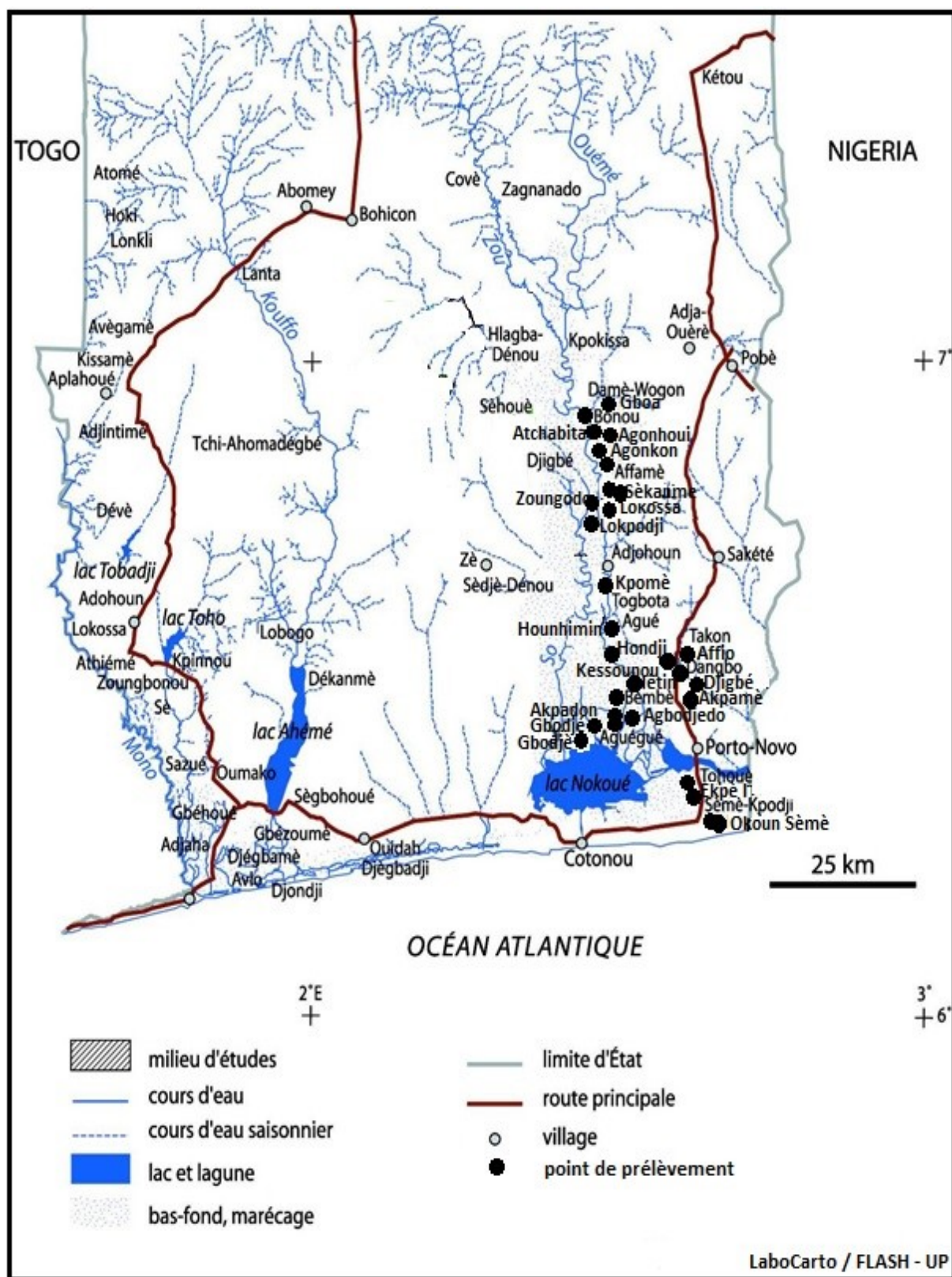


Figure N°V-01 : La carte présentant les points de prélèvements ci-contre.

C- La conductivité

- Principe

La détermination de la conductivité se fait par la mesure de la résistance électrique de la solution. Un voltage est appliqué entre deux électrodes plongées dans l'échantillon, et la chute du voltage due à la résistance de la solution est utilisée pour calculer la conductivité par centimètre.

- Mode opératoire

- Retire l'électrode de son étui de protection
- Rincer l'électrode à l'eau distillée
- Plonger la cellule dans l'échantillon à analyser
- Appuyer sur ↑↑+ ON/OFF pour mettre l'appareil sous tension
- Vérifier que Arng soit affiché si non appuyer sur ↑↑
- Vérifier que n FL soit affiché sinon appuyer sur TC jusqu'à apparition
- Vérifier que la température et l'unité Sal soient affichées sinon sur χ jusqu'à leur apparition.
- Appuyer sur la touché χ jusqu'à ce que s'affiche TDS sur l'écran
- Attendre que la valeur soit stable avant de prendre la mesure des solides totaux dissous (TDS)
- Appuyer sur la touché χ jusqu'à ce que s'affiche Lin, ARNG et le lire la valeur de la conductivité en mS.cm^{-1} (millisiemens par centimètre).
- Retirer l'électrode de la solution à mesurer et mettre dans son étui de protection.

D- Turbidité

- Principe

Méthode néphélométrique ; le faisceau lumineux traverse horizontalement la cuvette contenant l'échantillon, une partie de cette lumière est diffusée par effet Tyndall grâce aux particules en suspension.

Le photomultiplicateur d'électron situé à un angle de 90° par rapport au faisceau lumineux capte les photons diffusés et transforme cette énergie lumineuse en signal électrique dont le potentiel est fonction de la turbidité.

- Le fonctionnement du turbidimètre

- Appuyer sur le bouton d'alimentation électrique situé à l'arrière de l'appareil ;
- Remplir une cuvette propre jusqu'au trait (30 ml) avec de l'eau à analyser en évitant la formation de bulle d'air ;

- Tenir la cuvette par le bouchon et l'essuyer avec mouchoir doux sans peluches pour retirer les gouttes d'eau et les traces de doigts ;
- Placer la cuvette dans le puits de mesure et fermer le capot ;
- Presser la touche SIGNAL.AVG pour choisir le mode d'intégration du signal (actif ou non)
- Presser la touche UNITS pour sélectionner l'unité de mesure N.T.U ;
- Lire et noter le résultat affiché ;
- Ouvrir le capot et retirer la cuvette du puits de mesure ;
- Vider la cuvette et la rincer avant la mesure suivante.

E- Conductivité / Solides totaux dissous (TDS)

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en *millisiemens* par mètre (mS/m) à 20°C . La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et $1500\ \mu\text{S/cm}$.

La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductrimètre électrique qui permet de mesurer également les solides totaux dissous.

F- Potentiel redox (Eh)

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox (ou disponibilité en électrons) affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe...). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand les concentrations d'oxygène diminuent, le milieu devient plus réducteur ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox. Dans les eaux naturelles, des comparaisons relatives de l'évolution du potentiel redox peuvent être utiles pour suivre les degrés de changement du système aquatique. Le potentiel redox se mesure en mV.

G- Dureté totale

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{++} et Mg^{++} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre.

La méthode spectrométrique est la plus courante par sa capacité à mesurer de très faibles concentrations de calcium et magnésium.

- Principe

L'indicateur utilisé est la colmagite qui forme une coloration bleue-violette en solution fortement alcaline et vire au rouge en présence de calcium et de magnésium libre. L'analyse du calcium et du magnésium est effectuée en complexant le calcium avec l'EDTA pour détruire la coloration due à ces deux éléments (calcium, magnésium). En mesurant la coloration rouge dans ces différents états, les concentrations du calcium et du magnésium sont obtenues.

- Mode opératoire

- Allumer le spectrophotomètre DR/4000, presser la touche de fonction PROGRAM. HACH. Sélectionner le numéro de programme mémorisé pour la dureté du magnésium 225. presser ENTER et régler la longueur d'onde à 522 mn.
- Verser 100 ml d'eau à analyser dans une éprouvette graduée, bouchée de 100 ml.
- Ajouter une goutte de solution d'EDTA à une autre cuvette (échantillon préparé) et agiter pour mélanger.
- Placer le blanc dans le puits de mesure, fermer le capot et presser sur la touche ZERO. L'affichage indique : 0,00 mg / l mg-CaCO₃.
- Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Fermer le capot
- Presser sur la touche de fonction READ et lire le résultat en mg/l de mg-CaCO₃ ou mg.
- Sans retirer la cuvette du puits de mesure, presser select programme et entrer le numéro de programme mémorisé pour la dureté du calcium 220. presser ENTER. L'affichage indique : 0,00 mg/l Ca-CaCO₃.
- Placer la troisième (3ème) cuvette dans le puits de mesure. Fermer le capot et presser la touche READ. Lire le résultat en mg/l de CaCO₃.

H- Dosage du fer

- Principe

Le réactif ferrozine forme un complexe de couleur violette avec les traces de fer dans l'échantillon tamponné à pH 3,5. Cette méthode peut être utilisée aussi pour l'analyse des échantillons contenant de la magnétite (oxyde de fer noir) ou des ferrites.

- Le mode opératoire

- Allumer le spectrophotomètre DR/4000
- Presser la touche de fonction PROGRAM. HACH. Sélectionner le numéro de programme mémorisé pour le fer (Fe), méthode ferrozine en entrant 2175 au clavier numérique. Presser ENTER.

- L'affichage indique : PROGRAM. HACH : 2175 fer, ferrozine. La longueur d'onde (d) 562 nm est automatiquement sélectionnée.
- Remplir une cuvette jusqu'au trait 25 ml avec l'échantillon
- Ajouter le contenu d'une gélule de solution de ferrozine à la cuvette (échantillon préparé).
- Agiter pour mélanger.
- Presser la touche de fonction DEMAR.MINUT. Une période de réaction de 5 minutes commence.

I- Chlorures

- Principe

Le chlore présent dans l'échantillon sous forme d'acide hypochloreux et/ou d'ion hypochlorite réagit immédiatement avec le DPD [N, N -diethyl-p- phénylène - diamine] en même temps que le chlore présent dans l'échantillon pour former une coloration rouge proportionnelle à la concentration du chlore.

Note : si la solution vire temporairement au jaune après addition du réactif, ou provoque l'affichage HORS – GAMME, diluer un nouvel échantillon et recommencer l'essai. Une légère perte de chlore peut se produire lors, de la dilution. Multiplier le résultat par le facteur de dilution approprié.

- Mode opératoire

- Mettre l'appareil sous tension
- Entrer le numéro 80 du programme mémorisé pour le chlore libre et total
- Ajuster la longueur d'onde à 530 nm
- Placer le blanc (25 ml d'échantillon).
- Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche ZERO
- Parallèlement remplir une autre cuvette de 25 ml avec l'échantillon.
- Ajouter le contenu d'un sachet de réactif DPD pour chlore libre à l'échantillon
- Agiter pendant 20 secondes (en présence de chlore une coloration rose se développe)
- Placer immédiatement le mélange d'échantillon plus réactif dans le puits de mesure.
- Appuyer READ et le résultat en mg/l s'affiche.

J- sulfates

- Principe

Les ions sulfates réagissent avec le baryum du réactif sulfate fer 4 et produit un précipité de sulfate de baryum

insoluble. La quantité de turbidité formée est proportionnelle à la concentration en sulfates. Le réactif contient aussi un agent stabilisant pour maintenir le précipité en suspension.

- Mode opératoire

- Mettre l'appareil sous tension
- Entrer le numéro 680 du programme mémorisé pour les sulfates
- Ajuster la longueur d'onde à 450 nm
- Remplir une cuvette de 25 ml avec l'échantillon
- Laisser pendant une période de réaction de 5 minutes (en présence de sulfate une coloration blanche se développe)
- Remplir une autre cuvette avec 25 ml de l'échantillon (blanc)
- Placer le blanc dans le puits de mesure
- Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche ZERO
- Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure ;
- Appuyer READ, et le résultat en mg/l de sulfates s'affiche.

K- Dosage des nitrites

- Principe

Les nitrites dans l'échantillon réagissent avec l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium qui réagit avec l'acide chromotrope pour produire un complexe coloré rose dont la coloration est proportionnelle à la quantité de nitrites présents.

L- Dosage des nitrates

- Principe

Les nitrates présents dans l'échantillon réagissent avec l'acide chromotrope en milieu fortement acide pour former un produit de couleur jaune avec un maximum d'absorbance à 410 nm.

M- Alcalinité

- Principe

La détermination de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Note : Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalins libres et en carbonates alcalins caustiques.

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonates et bicarbonates.

N- Dosage de l'ammoniac libre

- Principe

Cette méthode détermine « l'ammoniac » en présence de monochloramine. La monochloramine et l'ammoniac libre peuvent exister dans les échantillons d'eau potable lorsque la désinfection à la chloramine est utilisée. L'hypochlorite est ajouté pour se combiner à l'ammoniac libre et former plus de monochloramine. La monochloramine réagit avec le salicylate pour former le 5- aminosalicylate. Ce composé est oxydé en présence d'un catalyseur au nitroprussiate pour former un complexe coloré bleu. La coloration bleue est masquée par la coloration Jaune du réactif en excès pour donner une solution finale de couleur verte.

L'ammoniac libre est déterminé en mesurant les intensités de couleur, avec et sans additions d'hypochlorite.

2.3.2- Analyse Bactériologique

A- Les germes recherchés

Nous avons effectué pendant notre travail la recherche systématique des germes indicateurs de pollution qui sont :

- les organismes coliformes (coliformes totaux)
- les coliformes fécaux (thermo tolérants).

➤ Petits matériels

- Tubes à essai
- Portoir pour tubes à essai
- Pipettes pasteur
- Pipettes graduées
- Plaquons stériles pour échantillons
- Boîtes de pétri stériles
- Lames et lamelles
- Pinces stériles
- Anse d'inoculation et support
- Bec Bunsen
- Papier buvard

➤ Milieux de culture

- Gélose ordinaire
- Gélose lactose à l'éosine et au bleu de méthylène
- Gélose au désoxycholate 1 %
- Bouillon bilié lactose au vert brillant
- Gélose Viande.

B- Prélèvement pour l'analyse bactériologique

Nous avons effectué au total 30 prélèvements pour l'analyse bactériologique. Le prélèvement est effectué avec soins à proximité de l'ouvrage de régulation du volume d'eau. Nous avons utilisé des flacons stériles munis d'un

cordon. Au moment du prélèvement on ouvre le flacon et on l'introduit dans le puits en prenant soin de ne pas contaminer l'échantillon. Ensuite on retire le flacon rempli d'eau. On détache le cordon et le flacon est refermé dans les conditions aseptiques requises jusqu'au moment de l'analyse bactériologique.

C- Analyses des échantillons d'eau

L'identification, à la fois qualitative et quantitative, des coliformes fécaux et totaux, passe par filtration d'un volume de 100 ml de l'eau à l'analyse sur une membrane cellulosique filtrante (MF) ayant des pores de diamètre uniforme égal à 0,45 micron-mètre. Etant donné la très grande charge de l'eau (intensité de la couleur), les échantillons ont subi une dilution au 10^e par de l'eau stérilisée et ramenés après à 100 %. Le liquide a été fixé d'abord par la gélose lactosée au TIC (Triphényl-tétrazolium de chlorure) et au Tergitol 7 avant d'être filtré (AFNOR, 2001). La membrane cellulosique gélosée portant le spécimen est ensuite placée pendant 24 à 48 h en incubation à 37°C pour déceler les coliformes totaux (CT) et à 44°C pour les coliformes fécaux (CF) (Groupe scientifique sur l'eau, 2003). La Technique de Membrane Filtrante (TMF) utilisée dans ce milieu sélectif, est simple, plus rapide et plus sûre (Zogo, 1982 ; Rodier, 1994).

Après incubation, la fermentation regroupe les micro-organismes en colonies en jaune sur la membrane. Dans ces conditions, les coliformes sont identifiés et dénombrés par comptage en microscopie (Hobbie *et al.*, 1977 ; Munro et Bianchi, 1984 ; Adjamossi, 1994). Lorsque les colonies sont en amas dense sur la membrane, on procède au dénombrement d'une portion qui sera extrapolée par une multiplication proportionnellement à la surface de la membrane et par une règle de trois, ainsi le dénombrement total est calculé pour les 100 ml d'échantillon.

III. TRAITEMENT ET ANALYSES DES DONNEES

Parmi les paramètres analysés, il y a des éléments physiques (turbidité, température, pH, conductivité, total des sels dissous), chimiques (K^+ , Ca^{2+} , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , $H_2PO_4^-$, $H_2PO_4^{2-}$ (eutrophisants), Fe, Mn et de l'oxydabilité au $KMnO_4$) et bactériologiques (coliformes totaux, coliformes fécaux).

Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont fait l'objet de plusieurs séries d'analyses statistiques. Tout d'abord, ces derniers ont été comparés aux normes de l'OMS et du Bénin en la matière. Ensuite, l'influence de la saison, de la source d'eau et du site de collecte sur les paramètres physico-chimiques a été mise en œuvre avec le

modèle linéaire à effet mixte. Le site de collecte a été considéré comme facteur aléatoire tandis que la saison et la source d'eau ont été considérées comme fixes. Ce modèle a été exécuté avec la bibliothèque << lmerTest >>. L'effet des mêmes facteurs considérés sur les paramètres bactériologiques a été mise en exergue avec le modèle linéaire généralisé mixte (GLM-mixte) de la famille de Poisson. Ce dernier a été exécuté avec les bibliothèques << lme4 >> et << MASS >>. Par ailleurs, une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée sur l'ensemble des paramètres physico-chimiques et bactériologiques pour décrire le lien entre eux. La saison influençant significativement les deux groupes de paramètres, l'analyse a été faite pour chaque niveau de saison (saison des pluies et saison sèche). Elle a été possible avec les bibliothèques << FactoMineR >> et << factoextra >>.

Les analyses ont été faites dans le logiciel R version 3.6.1 (R Core Team, 2019).

Les grilles des Concentrations Maximales Admises (CMA) de l'OMS et celles du Bénin pour l'eau potable ont été utilisées comme indicateur pour apprécier la qualité des eaux dans le delta de l'Ouémé.

IV. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

L'étude physico-chimique et bactériologique de l'eau souterraine joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc de la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable.

Pour atteindre cet objectif, nous avons déterminé dans cette partie l'évolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de forages, des puits modernes et fleuve au niveau de la zone deltaïque durant la saison sèche et la saison pluvieuse.

Au cours de ce chapitre, nous présenterons et discuterons les principaux résultats obtenus afin de détecter les différentes pollutions et leurs origines.

4.1 Effet de la saison, du site de prélèvement et de la source sur les paramètres physico-chimique de l'eau

Le tableau N°V-01 résume les paramètres physico-chimiques de l'eau. On note une grande variation des valeurs prises par ces différents paramètres physico-chimiques.

Tableau N°V-01: Moyenne, coefficient de variation (cv) des paramètres physico-chimique

Paramètres physico-chimiques	Moyenne	Coefficient de variation
Température		
pH	28,11	7,68
Conductivité	6,30	12,95
Couleur	248,97	93,33
Dureté	73,18	128,44
Nitrate	63,06	105,13
Nitrite	12,40	78,56
Chlorure	0,12	524,86
Matières en suspension	95,11	143,96
Oxygène dissous	45,52	173,51
	1,66	42,31

Le tableau N°V-02 présente l'effet du site de collecte sur les paramètres physico-chimiques de l'eau. Remarquons que le site influence significativement (Prob <0,05) le pH et la

conductivité de l'eau. Le pH et la conductivité dépendent alors du site de prélèvement.

Tableau N°V-02 : Effet du site de collecte sur les paramètres physico-chimiques de l'eau : résultat du modèle linéaire à effet mixte

Paramètres physico-chimiques	AIC	Df	Pr(>Chisq)
Température	144,75	1	0,834
Ph	145,92	1	0,039*
Conductivité	824,01	1	0,049*
Couleur	713,98	1	1
Dureté	659,55	1	0,175
Nitrate	126,87	1	1
Chlorure	727,98	1	0,236
Matière en suspension	627,94	1	1
Oxygène dissous	107,66	1	1

Signif. codes : 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Le tableau N°V-03 présente l'effet de la période et source de l'eau sur la qualité physico-chimique de l'eau. On note que la saison influence significativement (prob < 0.05) la température de l'eau, son pH, sa conductivité, la teneur en chlorure, la quantité de matière en suspension et la quantité d'oxygène dissous. La couleur de l'eau, sa dureté, sa teneur en nitrate, en chlorure dépendent significativement de la source d'eau de même que la quantité de matière en suspension et la quantité d'oxygène dissous (Prob < 0.05). Ce tableau N°V-03 indique que les températures les plus

élevées de l'eau sont constatées en saison sèche. En saison de pluie, l'eau a une plus grande conductivité, une teneur élevée en chlorure, une quantité élevée de matière en suspension et d'oxygène dissous comparativement à ce qu'on constate en saison sèche. Comparativement à l'eau de forage et à l'eau de puit moderne, l'eau de fleuve a un pH plus élevé, une couleur plus intense, une plus grande dureté, une teneur plus élevée en nitrate et en chlorure, une quantité élevée de matière en suspension et une faible quantité d'oxygène dissous.

Tableau N°V-03: Effet de la période et source de l'eau sur la qualité physico-chimique de l'eau

Facteurs	DenDF	F value	DF	Pr(>F)
Température				
Période	29.702	449.7023	1	<2e-16 ***
Source	35.314	2.2388	2	0.1215
PH				
Période	29.764	5.619	1	0.024 *
Source	38.831	3.007	2	0.061.
Conductivité				
Période	29.853	9.216	1	0.009**
Source	38.198	1.199	2	0.312
Couleur				
Période	60	0,025	1	0,875
Source	60	6,928	2	0,002**
Dureté				
Période	30	0,928	1	0,343
Source	37,71	12,191	2	< 0,001**
Nitrate				
Période	60	0,7523	1	0,389
Source	60	3,559	2	0,035*
Nitrite				
Période	60	0,433	1	0,513
Source	60	0,206	2	0,814
Chlorure				
Période	29,773	10,727	1	0,003**
Source	37,166	23,265	2	< 0,001***
Matière en suspension				
Période	60	21,909	1	< 0,001***
Source	60	68,424	2	< 0,001***
Oxygène dissous				
Période	60	19,259	1	< 0,001***
Source	60	8,9	2	< 0,001***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

4.2- Paramètres physico-chimiques

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour suivre l'évolution des espèces chimiques les plus dominantes dans les eaux de puits modernes, de forages et du fleuve de la zone deltaïque, leurs concentrations et leurs origines. Les paramètres physico-chimiques étudiés sont: la température, le pH, la conductivité électrique, la dureté

totale, NO₃⁻, NO₂⁻, Cl⁻, matières en suspension, O₂ dissous, Couleur et Odeur.

4.2.1- La température

D'une façon générale, la température des eaux est influencée essentiellement par les variations climatiques (Dib, 2009) et par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (Rodier *et al.*, 2005).

Dans la zone d'étude, les résultats obtenus montrent que la température varie selon les saisons, en saison pluvieuse la température est inférieure à 28°C avec un minimum de 24,6°C (E20), par contre en saison sèche, elle est supérieure à 28°C avec un maximum de 31,2°C (E3, E17, E23, E25, E29) (Figure N°V-02), ceci est dû au changement

climatique. Ces valeurs obtenues durant les deux périodes d'observations montrent que la majorité des eaux prélevées ont une température au-delà de la norme fixée par l'OMS qui est de 25°C (Dégbey *et al.*, 2008). L'élévation de la température au niveau des eaux prélevées peut favoriser la prolifération des microbes.

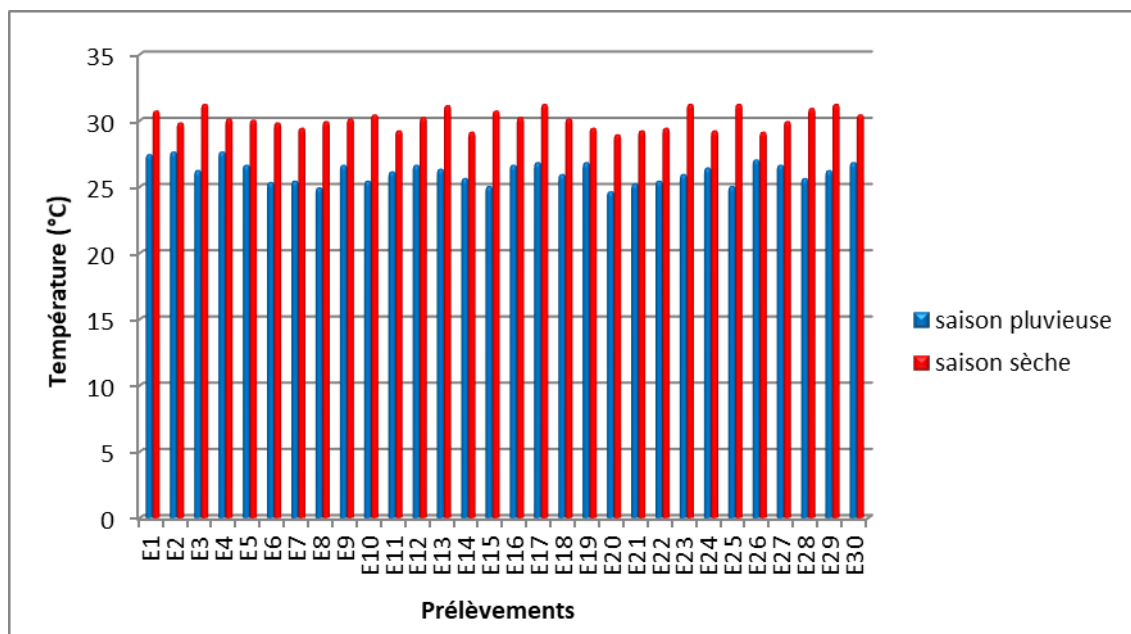


Figure N°V-02 : Variation saisonnière de la température dans les eaux de la zone d'étude

4.2.2- Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés (Saadali, 2007 ; Gouaidia, 2008). Selon l'OMS, le pH de l'eau de consommation doit se situer entre 6,5 et 8,5 (Akodogbo, 2005).

Dans notre secteur d'étude, les valeurs du pH varient entre 4,69 (E8) et 7,73 (E22) pendant la période sèche et de 5,05 (E12) à 7,97 (E21) pendant la saison pluvieuse (Figure N°V-03). Les valeurs obtenues durant les deux saisons (pluvieuse et sèche) montrent que la plupart des eaux prélevées ont un pH qui varie entre 4,69 et 6,46. Il en résulte qu'elles sont légèrement acides et ne respectent pas les normes.

4.2.3- La conductivité

Rodier *et al.* (2009), signalent que la variation de conductivité est induite par la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. La conductivité de l'eau est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (micro-siemens par

centimètre). L'eau douce, tout comme l'eau d'un bassin, devrait avoir une conductivité comprise entre 300 et 1 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Si une eau présente une conductivité inférieure à 300, on peut en déduire qu'elle est pauvre en ions et que, par exemple, la moindre modification du milieu ambiant entraînera une variation brutale de la valeur du pH. Une eau dont la conductivité est supérieure à 1 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ne peut plus être considérée comme une eau douce (Azonnakpo, 2007).

Dans la zone d'étude, les résultats des mesures ont permis d'observer la variation de la conductivité (Figure N°V-04), montrant que celle-ci varie entre 28 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (E9) et 956 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (E2) et ceci pendant les deux périodes considérées. On constate que plus de la moitié des eaux étudiées ont une conductivité dont les valeurs sont comprises entre 28 et 295 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces valeurs n'atteignent pas la valeur minimum qui est de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ainsi, ces eaux sont pauvres en ions.

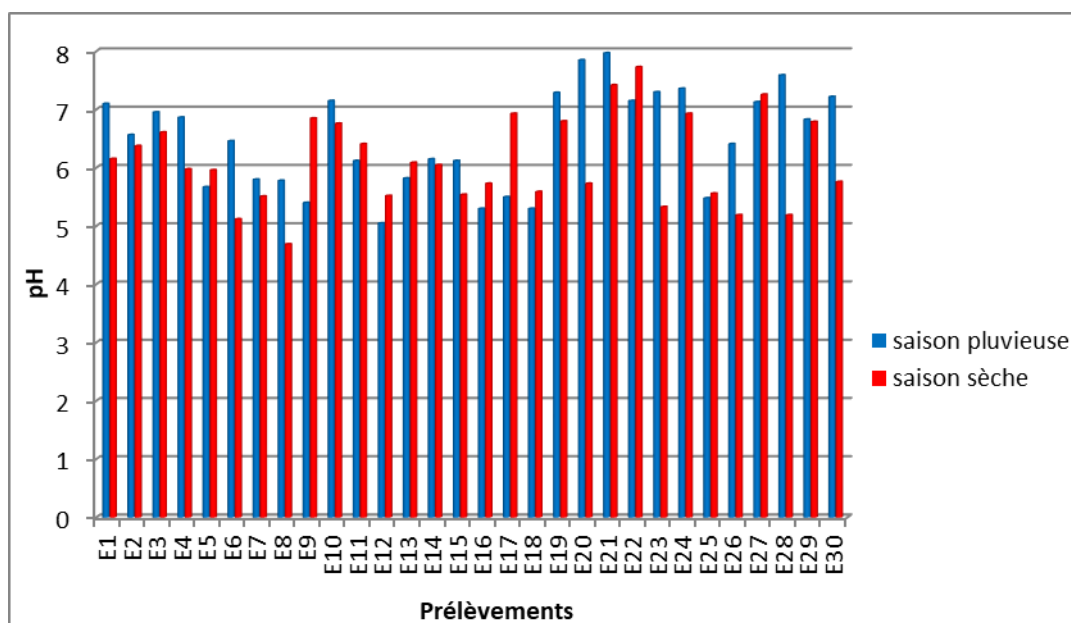


Figure N°V-03 : Variation saisonnière du pH dans les eaux de la zone d'étude

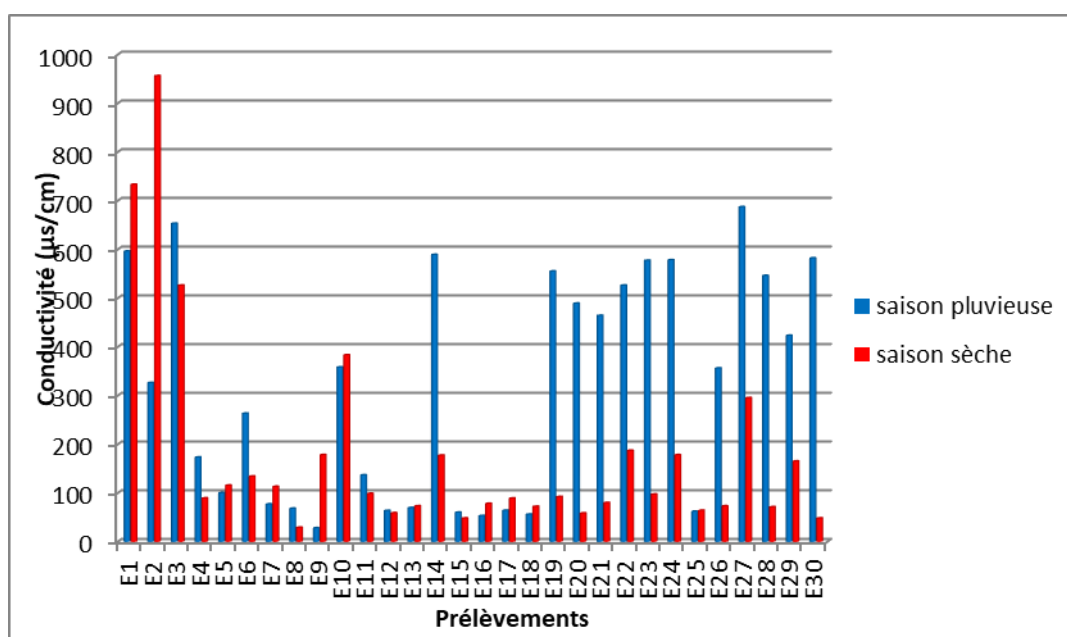


Figure N°V-04 : Variation saisonnière de la conductivité dans les eaux de la zone d'étude

4.2.4- la dureté totale

La dureté totale a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (Hakmi, 2006). Ce paramètre présente une grande variation qui serait liée à la nature lithologique de la formation aquifère (Ghazali et Zaid, 2013). Les eaux

provenant de terrains calcaires ou surtout de terrains gypseux, peuvent avoir des duretés très élevées susceptibles d'atteindre 1g de CaCO_3/L (Rodier *et al.*, 2005; Figarella et Leyral, 2002). Les valeurs de la dureté des eaux de la zone étudiée ont été calculées et sont exprimées en mg/L .

L'évolution saisonnière de la dureté totale dans notre étude (Figure N°V-05) montre des grandes concentrations en période pluvieuse qu'en période sèche avec des valeurs qui ne dépassent pas le niveau guide qui est de 500 mg/L (OMS, 1994). En effet, les teneurs enregistrées varient entre 8 mg/L (E8) à 244 mg/L (E14) et entre 8 mg/L (E11) à 190

mg/L (E28) respectivement en période sèche et en période pluvieuse. 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.

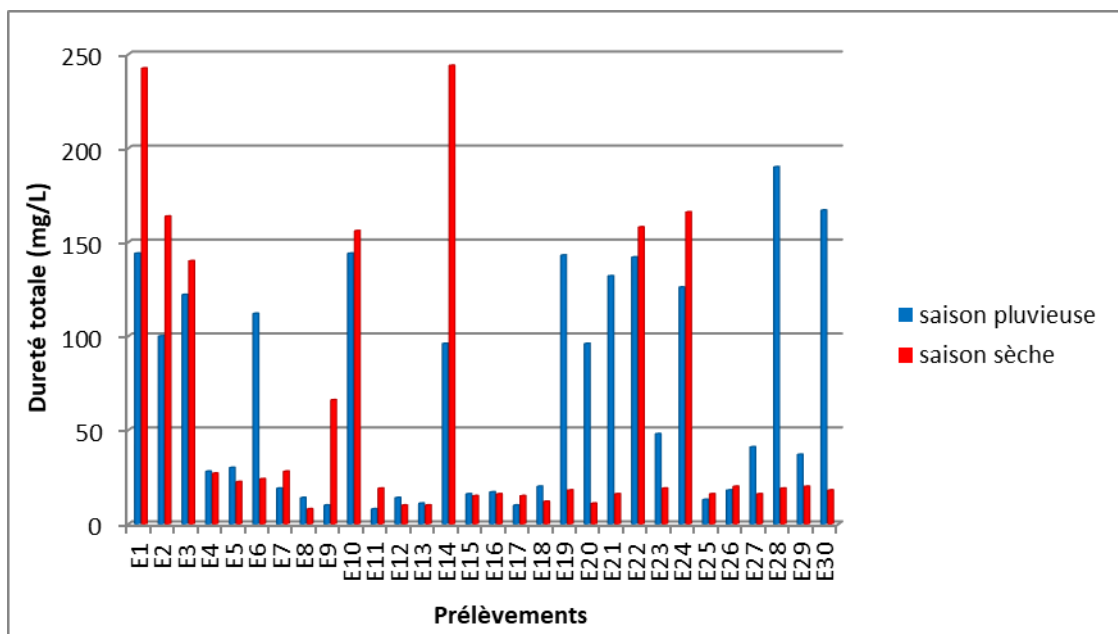


Figure N°V-05 : Variation saisonnière de la dureté totale dans les eaux de la zone d'étude

4.2.5- Les nitrates

Toutes les formes d'azote sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. La valeur maximale de nitrate permise au Bénin pour l'eau de consommation humaine par le décret n°2001-094 du 20 février 2001 est de 45 mg/L (Azonnakpo, 2007).

Les résultats des eaux analysées montrent que la teneur en nitrate varie de 1,76 à 49,368 mg/L (Figure N°V-06). En

effet, pour les deux périodes considérées, le taux de nitrate dans les eaux analysées est inférieur à la valeur guide sauf le taux de nitrate au niveau du prélèvement (E27) qui est de 49,368 mg/L. La présence de ce fort taux de nitrate traduit la pollution chimique de cette eau à travers l'utilisation des engrais chimiques. Cette situation pourrait s'expliquer par le faible niveau de l'assainissement et de l'hygiène de base.

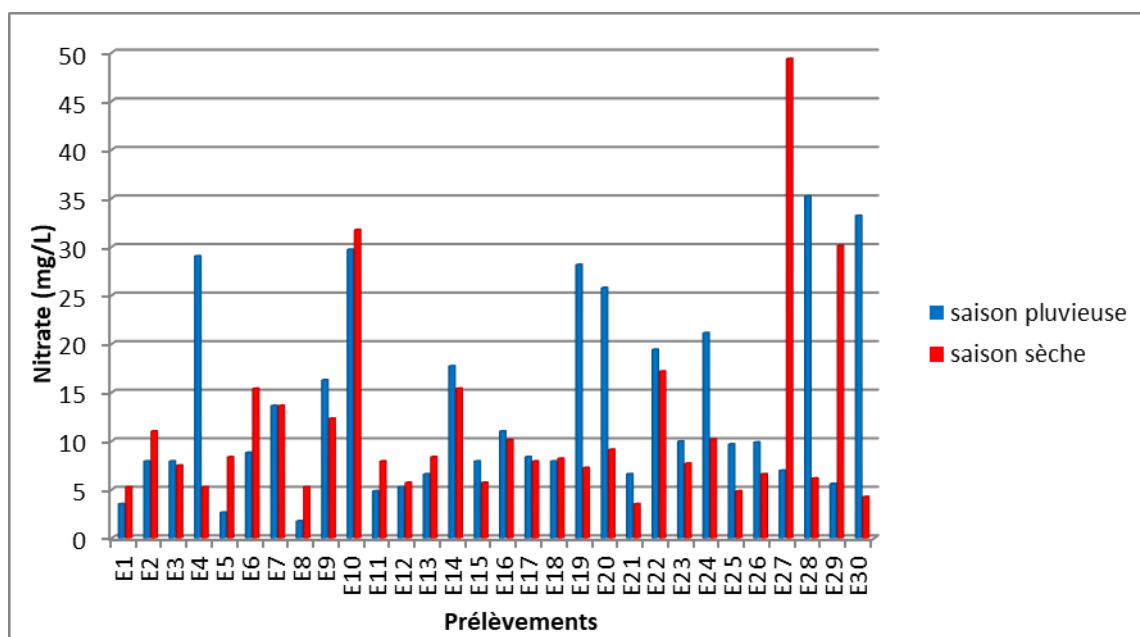


Figure N°V-06 : Variation saisonnière du taux de nitrate dans les eaux de la zone d'étude

4.2.6- Les nitrites

Une teneur d'azote nitreux supérieure à 0,10 mg/L peut faire soupçonner un apport d'eaux riches en matières organiques en voie de décomposition. Cette teneur ne

devrait pas être dépassée dans le cas d'une eau d'origine profonde (Rodier *et al.*, 2009).

La Figure N°V-07 montre la variation saisonnière des teneurs en nitrites dans la zone d'étude.

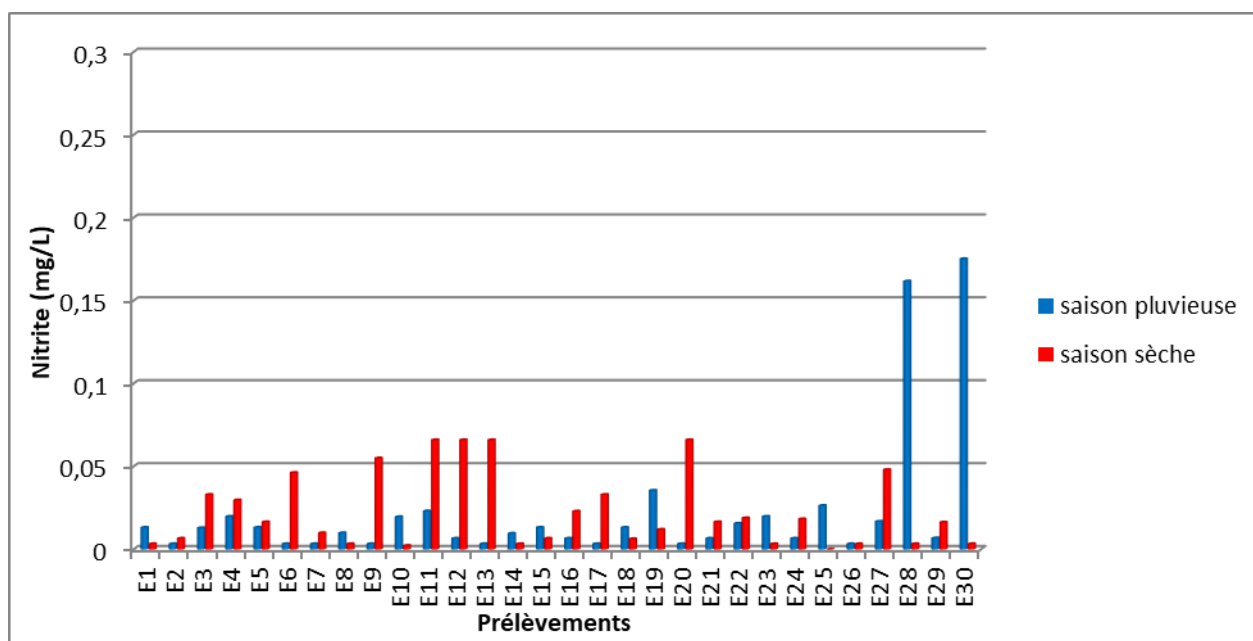


Figure N°V-07 : Variation saisonnière de la teneur en nitrites dans les eaux de la zone d'étude

On remarque sur cette figure que la teneur en nitrites varie au cours de l'étude de 0 mg/L (E25) à 0,066 mg/L

(E11, E12, E13 et E20) en saison sèche et de 0,033 mg/L (E2, E6, E7, E9, E13, E17, E20 et E26) à 0,1752 mg/L

(E30) pendant la saison pluvieuse, dont deux eaux analysées (E28 et E30) présentent des teneurs supérieures à la normale qui est de 0,1 mg/L.

4.2.7- Chlorure

Les chlorures sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels, par la dissolution de la sylbite (KCl) et de l'halite (NaCl) (Saoud, 2014 cité par Ayad, 2017).

Les concentrations en chlorures dans les eaux analysées sont généralement importantes. En période sèche, elles varient entre 7,1 mg/L (E8) et 463,27 mg/L (E14). En période pluvieuse, les valeurs oscillent de 10,65 mg/L (E7) à

580,23 mg/L (E14) (Figure N°V-08). Excepté les sources de prélèvements : E2, E3, E5, E8, E10, E14 et E22 dont les valeurs dépassent 200 mg/L, les autres valeurs sont conformes avec les valeurs d'OMS qui est de 200 mg/L (la concentration admissible). Ainsi, ces valeurs montrent que ces eaux analysées ont une concentration élevée en chlorure, ce qui altère la saveur de l'eau et peut entraîner une dégradation de la qualité de l'eau. Pour Rodier *et al.* (2009), les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Leurs teneurs dans les eaux naturelles sont susceptibles de subir des variations suite au lessivage superficiel en cas de fortes pluies ce qui explique l'augmentation des teneurs de chlorures en saison pluvieuse dans la zone d'étude.

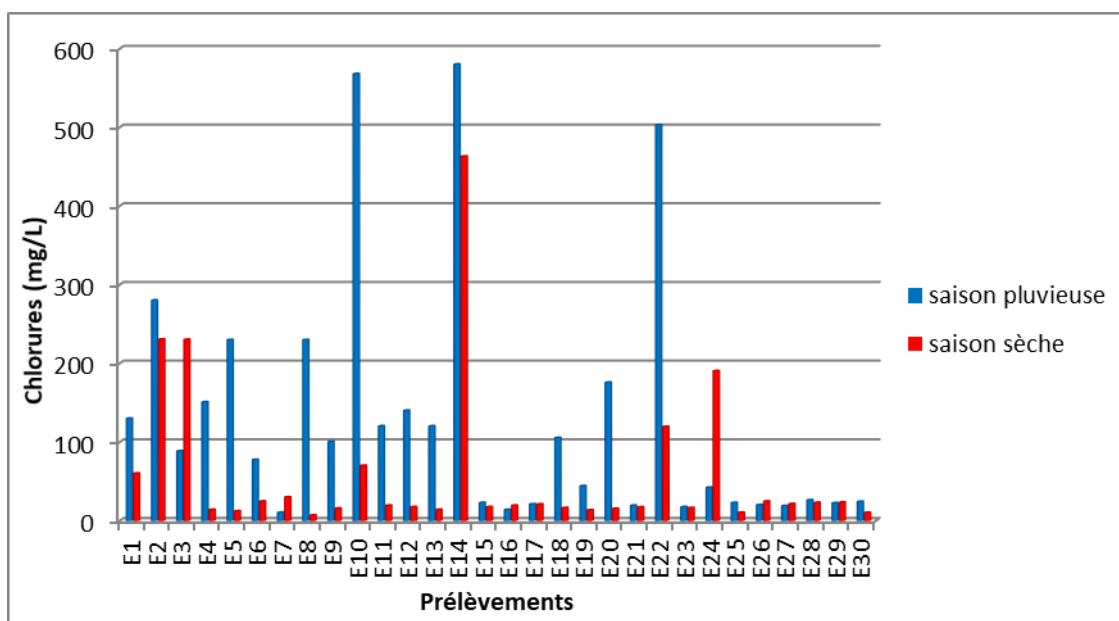


Figure N°V-08 : Variation saisonnière de la teneur en chlorures dans les eaux de la zone d'étude

4.2.8- Matières en suspension

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. (Rodier, 1996). Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution. Une telle hausse peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide (Hébert et Légare, 2000). La teneur en matières en suspension des eaux est fonction de la nature du terrain traversé. Les valeurs des matières en suspension en saison

pluvieuse sont élevées par rapport à celles de la saison sèche. Ceci est dû à des pluies abondantes qui entraînent une très forte érosion des terrains au voisinage du fleuve Ouémé (lessivage des sols) (Ould Mohamedou, 2006).

Dans le secteur d'étude, les teneurs de matières en suspension enregistrées oscillent entre 1mg.L⁻¹ (prélèvements E1 et E13) et 367 mg.L⁻¹ (prélèvement E24) comme valeurs extrême minimale et maximale durant les deux périodes d'études (Figure N°V-09). On remarque que la concentration en matières en suspension est plus importante au niveau de ces points de prélèvement : E08, E14, E22 et E24 (341 mg/L, 287mg/L, 311mg/L et 367 mg/L), cette augmentation est expliquée par l'existence des

terrains agricoles dans ces endroits d'où l'infiltration des produits sanitaires, par les activités humaines et la présence

des animaux autour des points de prélèvement.

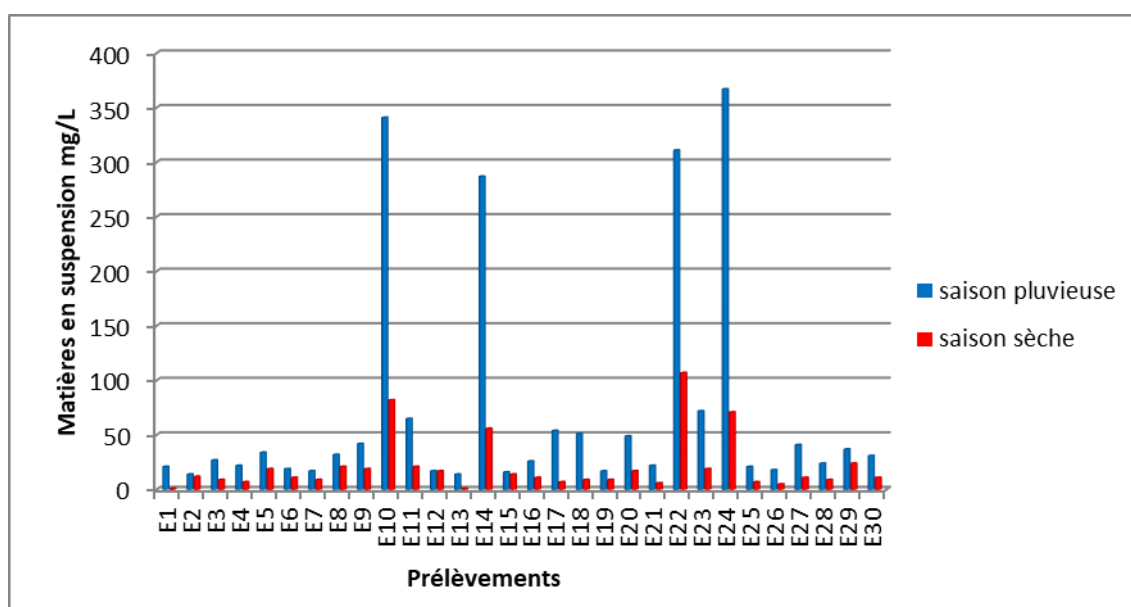


Figure N°V-09 : Variation saisonnière des matières en suspension dans les eaux de la zone d'étude

4.2.9- L'oxygène dissous

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier la température, la pression atmosphérique et la salinité. L'oxygène dissous est aussi fonction de la nature de l'eau. Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre (Rodier *et al.*, 2009).

Pendant les deux saisons d'étude, les valeurs d'oxygène dissous sont faibles dans tous les points d'eaux prélevés (Figure N°V-10). Les concentrations obtenues sont comprises entre 0,41 mg/L et 3,81 mg/L. La valeur

maximale est observée au niveau du point de prélèvement E30.

Les autres sources sont faiblement oxygénées et ceci serait en relation avec les eaux polluées qui s'infiltreraient vers la nappe phréatique ou s'expliqueraient aussi par l'absence de contact eau-atmosphère et du renouvellement perpétuel de l'eau (Tampo *et al.*, 2014). La pluviométrie semble améliorer un peu la teneur en oxygène des eaux par l'apport d'eau bien oxygénée à la nappe et par le froid qui inhibe la prolifération bactérienne et donc minimise leur consommation en oxygène. Pendant la saison sèche, les teneurs en oxygène dissous peuvent descendre jusqu'à 0,41 mg /L (qualité très mauvaise) traduisant ainsi une charge importante en matière organique.

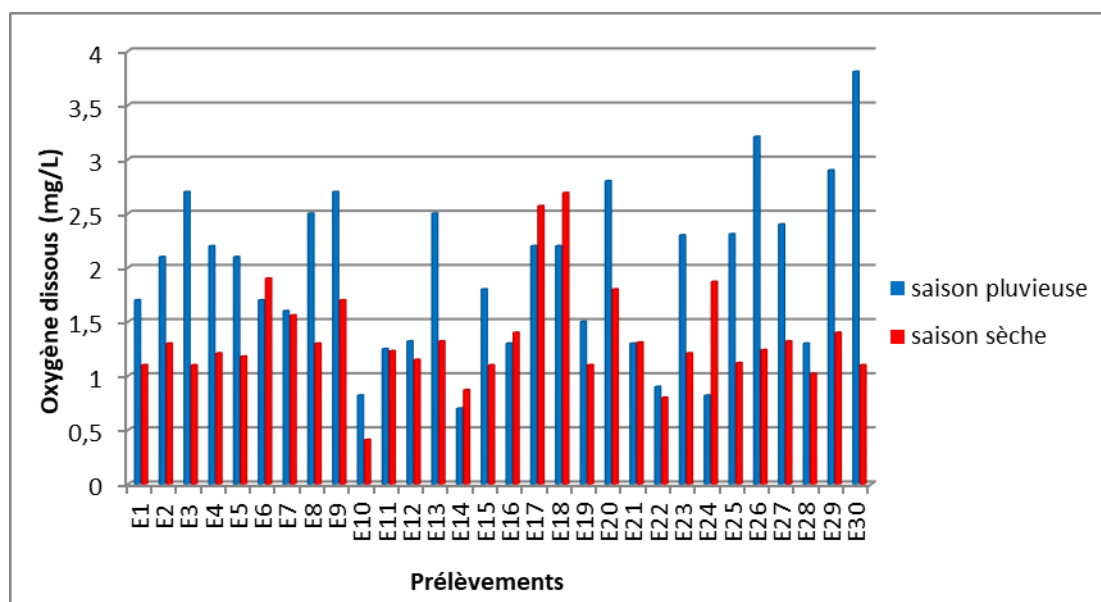


Figure N°V-10: Variation saisonnière de l'oxygène dissous dans les eaux de la zone d'étude

4.2.10- Couleur et odeur

La couleur et l'odeur ont été simplement appréciées ; ces échantillons sont inodores et incolores. Il faut signaler cependant que la clarté n'est pas identique au niveau de tous les échantillons et ceci est en rapport avec la source de l'échantillon. Les eaux prélevées sont très douces et il est possible qu'elles soient contaminées par les matières d'origine fécale. Les résultats des analyses bactériologiques devront nous éclairer.

4.3- Paramètres bactériologiques

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Les organismes pathogènes sont très nombreux et très variés et ne peuvent donc pas faire l'objet d'une recherche spécifique. De plus leur identification est très difficile voire impossible dans le cas des virus car leur durée de vie peut être très courte. Pour ces différentes raisons, il est préférable de rechercher des germes qui sont toujours présents en grand nombre dans la matière fécale des hommes et des animaux à sang chaud, qui se maintiennent plus facilement dans le milieu extérieur qui sont : les Germes totaux, les Coliformes totaux et les Coliformes fécaux.

4.3.1- Les Germes totaux

Les germes totaux à 37°C sont des bactéries d'origine intestinale (humaine ou animale) (El Haissofi *et al.*, 2011; CEAEQ, 2011).

Les résultats obtenus montrent que la majorité des eaux analysées contiennent des germes totaux (Figure N°V-11), excepté les eaux des sources de prélèvements : E13, E16, E19 et E28 qui sont potables par l'absence totale de ces germes. La concentration de cette flore varie entre 1 UFC/ml (E26) et 1111,65 UFC/ml (E10) durant les deux périodes d'étude. La contamination de ces eaux par les germes totaux pourrait être due à la mauvaise protection des sources d'eau, la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène, la pollution avoisinante (élevage des bétails, existence des fosses septiques et des latrines) et l'absence d'un réseau d'assainissement. On remarque aussi que le nombre de sources d'eaux contaminées augmente en période pluvieuse. Selon Figarella et Leyral (2002), si le nombre des germes totaux augmente de manière importante, en particulier après une forte pluie, cela montre que la ressource est mal protégée, se contamine par des eaux d'infiltration.

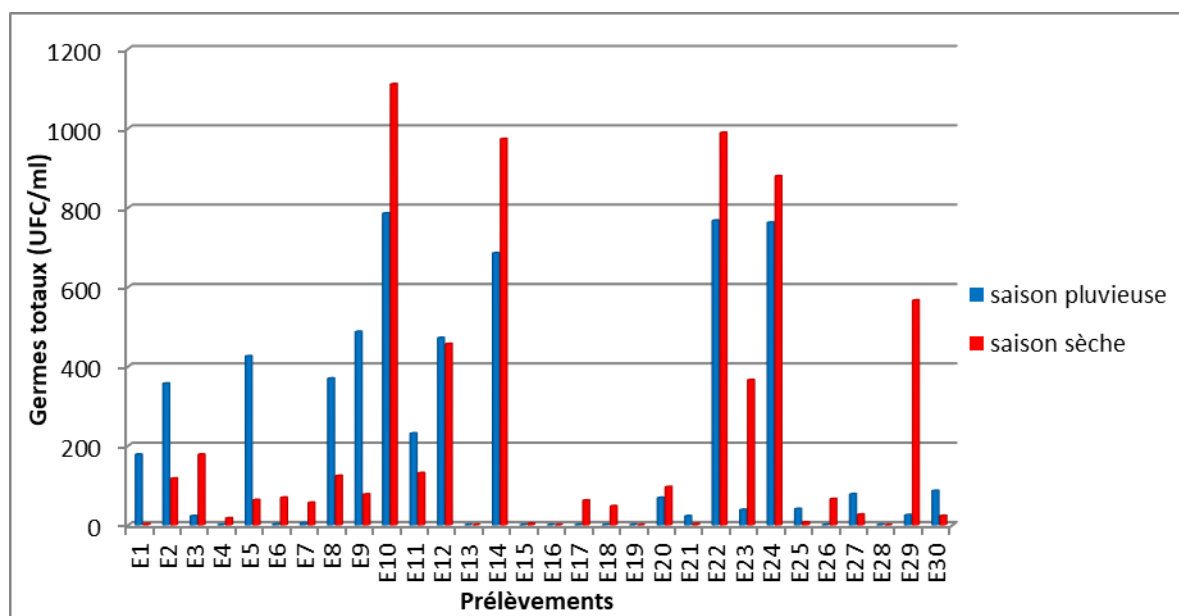


Figure N°V-11 : Variation saisonnière des Germes totaux dans les eaux de la zone d'étude.

4.3.2- Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont d'origine animale et humaine, leur présence dans l'eau indique une contamination récente par des matières fécales (Chevalier, 2003).

La Figure N°V-12 montre des concentrations élevées des coliformes totaux dans les eaux analysées durant les deux périodes d'observations :

Pendant la saison sèche, les concentrations des coliformes totaux varient de 2 UFC/100ml (E19) à 871 UFC/100ml (E22). Pendant la saison pluvieuse, ces concentrations varient de 3 UFC/100ml (E15 et E19) à 1120 UFC/100ml (E14).

Ces valeurs sont élevées en comparaison avec les normes de l'OMS (1994) (<10 UFC/100ml). Cette contamination est causée par les rejets domestiques, par la proximité des sources d'eau avec les tas d'ordure et par l'infiltration d'eau de surface dans les forages et les puits.

4.3.3- Coliformes fécaux (*E. coli*)

La présence des coliformes fécaux, est un signe positif sur l'existence de la contamination fécale d'une eau (Rodier *et al.*, 2009). L'OMS (2004), a rapporté que la présence

d'*E.coli*, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente.

Dans la zone d'étude, la numération des coliformes fécaux montre que pendant la saison sèche, 63 % des puits contrôlés sont dépourvus de ces germes de contamination fécale, alors qu'ils sont présents dans les eaux analysées avec des nombres allant de 2 UFC/100 ml enregistrés dans le prélèvement E23 à 89 UFC/100 ml dans le prélèvement E10. Au cours de la saison pluvieuse, la plupart des eaux analysées sont conformes à la norme de potabilité, elles sont dépourvues de ces germes (0 UFC/100ml), seuls échantillons eaux analysés (E2, E5, E8, E9, E10, E11, E22 et E24) qui sont pollués (Figure N°V-13).

D'après nos prospections dans la zone d'étude, cette contamination serait due au fumier, aux fosses septiques, aux latrines et aux déchets de toute nature dans les localités où se trouvent les ouvrages.

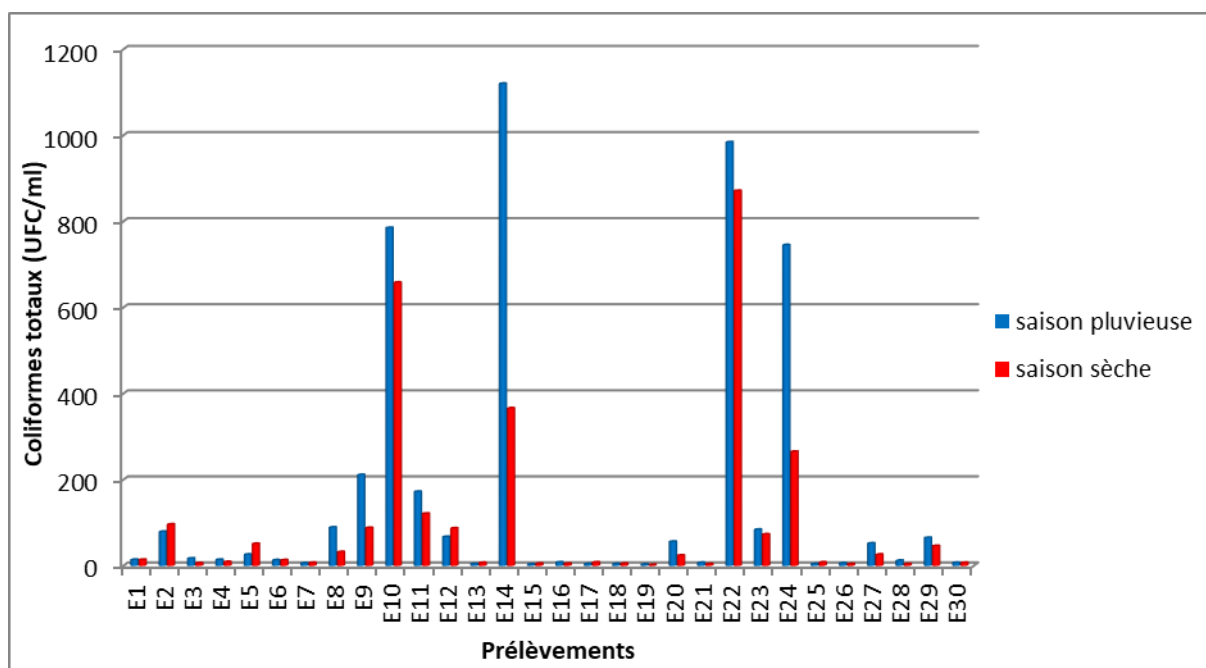


Figure N°V-12 : Variation saisonnière des coliformes totaux dans les eaux de la zone d'étude

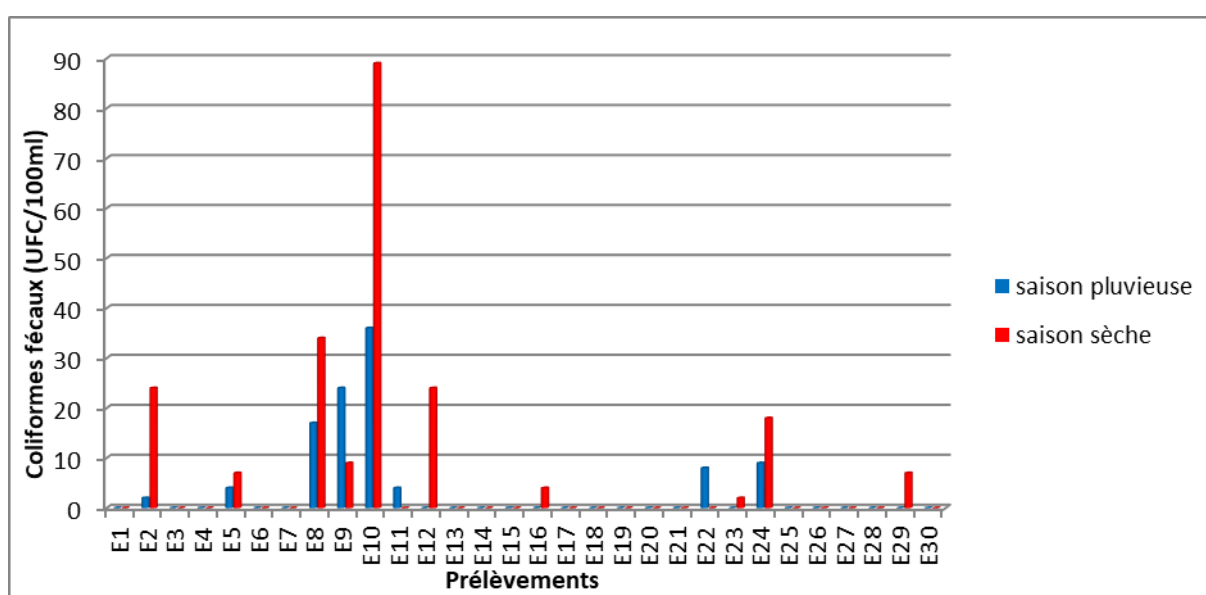


Figure N°V-13 : Variation saisonnière des Coliformes fécaux dans les eaux de la zone d'étude,

V. DISCUSSION

L'étude de la qualité des eaux dans le delta de l'Ouémé à travers les caractéristiques physico-chimiques mesurées permet de constater que les paramètres considérés varient dans l'espace et selon les périodes hydrologiques.

Généralement, pendant la période pluvieuse la plupart des variables (conductivité et matières azotées) sont faibles à cause des apports d'eau que le milieu reçoit et qui contribuent à leur dilution. En effet, le paramètre conductivité est étroitement lié à la nature et à la concentration de substances dissoutes du milieu. Ainsi, dans

la zone deltaïque, les valeurs de la conductivité sont faibles pendant les deux périodes considérées. Ce résultat est conforme avec l'étude de Ben Moussa *et al.*, (2012) qui soulignent également qu'une faible conductivité pour un cours d'eau est également synonyme d'une faible minéralisation des sels en présence dans le milieu. Selon Zinsou *et al.* (2016), pendant la période d'étiage, on enregistre des valeurs élevées de la température, du pH et de la conductivité. Cela est semblable à nos résultats. Au niveau des nitrites, les valeurs obtenues sont faibles dans les eaux analysées à l'exception de deux eaux dont les teneurs sont supérieures à la normale dans la saison pluvieuse. Donc, dans la zone deltaïque, on trouve par endroit des traces de nitrites dans les eaux. Ces résultats sont conformes aux résultats de Yehouenou-Pazou (2005) qui a également trouvé des valeurs largement inférieures à 0,5 mg/L par endroit et seulement des traces dans certaines stations du fleuve Ouémé. Ces mêmes résultats ont été retrouvés par Uzoukwu *et al.*, (2004) dans la rivière d'Ubu dans le delta du Niger au Nigéria. Quant aux nitrates, les valeurs obtenues sont inférieures à la valeur guide qui est de 45 mg/L excepté une eau analysée dont la valeur atteint 49,368 mg/L. Cela signifie que des activités agricoles sont menées dans la zone d'étude et que la pollution chimique de cette eau provient de l'utilisation des engrais chimiques. Ces résultats sont semblables à ceux de Khalaf *et al.*, (2007) qui soulignent que la présence des nitrates dans les cours d'eau est due, soit au lessivage des terres agricoles, soit aux réactions oxydatives de l'azote ammoniacal et des nitrites. Au niveau des chlorures, les concentrations obtenues varient entre 7,1 mg/L et 580,23 mg/L. Ces valeurs montrent que les eaux de la zone deltaïque ont une concentration élevée en chlorure. C'est les résultats qu'Ayad (2017) a trouvés dans les puits de la région d'El Harrouch en Algérie.

En ce qui concerne l'analyse bactériologiques, les résultats montrent que la totalité des échantillons prélevés était polluée par la présence de germes et de coliformes. Ils montrent que presque toutes les eaux analysées sont souillées par les germes totaux, les coliformes fécaux et coliformes totaux. En effet, la présence d'un de ces micro-organismes pathogènes dans un volume de 100 ml d'eau d'échantillon, indique que ces eaux ne cadrent pas avec les seuils recommandés et sont hors des normes de l'OMS (OMS, 1994) et du Bénin (MSP, 2001). Les résultats d'analyses pendant les deux périodes considérées sont similaires aux résultats obtenus par Comlanvi (1994), Desjardins (1997), Servais *et al.*, (2003) qui ont observé des moyennes dépassant les 105 germes par 100 ml dans des eaux pourtant moins exposées.

Les contaminations d'eau sont le plus souvent causées par des risques permanents de pollution exogène (eaux de ruissellement des pluies, rejets d'eaux usées, infiltration des latrines, etc.). Dans ses travaux, Desjardins (1997) a affirmé que la contamination bactériologique élevée est surtout causée par des déversements de rejets domestiques et agricoles. La pollution est d'autant plus importante quand la retenue est plus proche d'une grande agglomération, source d'intenses activités autour du point d'eau ou d'une grande exploitation agricole. Ainsi, les échantillons prélevés ont leurs teneurs de germes totaux, de coliformes fécaux et de coliformes totaux élevées et subissent l'influence des activités de ces agglomérations proches dont les systèmes d'assainissement sont cruellement défaut.

Si les coliformes fécaux constituent un bon test de contamination des eaux par les matières fécales, cette bactérie apparaît toujours en grandes quantités dans les déjections animales et humaines et ne se trouve qu'exceptionnellement dans les sols et les eaux qui n'ont pas été l'objet d'une pollution fécale (Edberg *et al.*, 2000 ; Santé Canada, 2001). Toutefois, la détection d'une pollution d'origine fécale n'est pas synonyme de présence de bactérie forcément pathogène, mais plutôt d'un risque épidémiologique potentiel. Cependant, pour le bien-être de l'homme, il faut que tous les germes soient systématiquement éliminés lors des traitements de ces eaux en vue de leur potabilité.

VI. CONCLUSION PARTIELLE

La qualité de l'eau est l'une des questions les plus préoccupantes de notre temps. L'appréciation de la qualité des eaux de surface se fait suivant la variation des paramètres physico-chimiques et la teneur des métaux lourds ou éléments métalliques ou traces ainsi que par la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques.

Les déchets issus des activités humaines au niveau du bassin versant qui renferme le Delta de l'Ouémé contribuent à la pollution de l'eau à savoir les débris de types déchets ménagers, l'agriculture à travers l'utilisation des engrais chimiques, la pêche, l'extraction des sables, etc.

REFERENCES

- [1] Adjakpa J.B. et Akpo L.E. 2008. Flore ligneeuse du bas Delta de l'Ouémé dans le Sud-Bénin. Journal des Sciences. Vol 8, Numéro 4 : 1-14

- [2] Adjamosi P. 1994. Qualité de l'eau des puits et problèmes de santé à Cotonou. Mémoire de Maîtrise, DGAT/FLASH/UNB, 107 pages.
- [3] AFNOR 2001. Eaux méthodes d'essai. In : Recueil de normes français, Association Français de Normalisation, 6^{ème} édition. 360 pages.
- [4] Bli-Effert C. et Perraud R. 2001. Chimie de l'environnement – air, eau, sols, déchets, ed. DeBoeck Université.
- [5] Grosclaude G. 1998. L'eau. Tome II usage et polluants. INRA, Paris, Pp11-15
- [6] Groupe scientifique sur l'eau. 2003. Nitrates/Nitrites. Dans fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 12 pages.
- [7] Hébert S. et Légare S. 2000. Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5 p.
- [8] Hobbie J.E., Daley R.J. et Jasper S. 1977. Use of Nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.* 33, pp 1225-1228.
- [9] Hounsou M.B. 2011. Evaluation spatio-temporelle de la qualité de l'eau dans le bassin versant du fleuve Ouémé à l'exutoire de Bonou. Thèse de doctorat en agronomie. FSS, Université d'Abomey-Calavi, 217 pages + annexes.
- [10] Le Barbé L., Ale G., Millet B., Texier H., Borel Y. et Guralde R. 1993. Les ressources en eaux superficielles de la république du Bénin. ORSTOM, Paris, 540 pages.
- [11] Munro P. et Bianchi M. 1984. Comparaison de méthodes directes (microscopiques) et indirecte (par mise en culture) dans l'évaluation d'une pollution bactérienne d'origine fécale. Université de Provence, Acte de 2^{ème} Colloque International de Bactériologie marine. CNRS, Brest, 1-5 IFREMER, pp 515-520.
- [12] Ould Mohamedou E. 2006. Evaluation de la qualité physicochimique et métallique des eaux du fleuve Sénégal : cas du Delta Mauritanien localisé dans la ville de Rosso. Mémoire DESA Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail Maroc, 235 p.
- [13] Rodier J. 1994. L'analyse de l'eau. 8^è éd. DUNOD, Paris, France, 1384 pages.
- [14] Rodier J. 1996. L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} éd. Denod, Paris, 1383
- [15] Rodier J., Legube B. et Merlet N. 2009. L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Ed. Dunod, 1579p.
- [16] Tampo L., Ayah M., Kodom T., Tchakala I., Boguido P., Bawa L., Djaneye B. 2014. Impact de la demande en chlore et de la chloration sur la désinfection des eaux de puits des quartiers de Lomé : cas des quartiers de Démakpoé et d'Agbalépédogan (Togo), *Journal of Applied Biosciences*, N° 75, PP: 6272– 6281.
- [17] Walmsley J. 2002. Editorial. *British Journal of Learning Disabilities*, 30: 1–2. doi: 10.1046/j.1354-4187.2002.00176.x
- [18] Zogo D. 1980. Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et traitements des eaux de consommation en République Populaire du Bénin. Mém de fin d'étude, collège polytechnique Uni. Abomey-Calavi, 80 pages.