

Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux du fleuve San Pedro, San Pedro, sud-ouest de la Côte d'Ivoire

Christine Josiane Marie-Paule KPENOU^{1*}, Bi Youzan Aimé GBAMBLE², Kouamé N'DRI¹, Brice-Martial DALLY¹, Lébé Prisca Marie-Sandrine KOUAKOU¹ et Jonas Yao ANDJI-YAPI¹

¹ Université Felix Houphouët BOIGNY, UFR des Sciences de la Structure, Matière et Technologie (SSMT), Laboratoire de Constitution et Réaction de la Matière (LCRM), 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

² Université de San Pedro, UFR des Sciences De la Mer (SDM), BP V1800, San Pedro, Côte d'Ivoire

(Reçu le 22 Mai 2023 ; Accepté le 08 Août 2023)

* Correspondance, courriel : kpen8@yahoo.fr

Résumé

Cette étude a pour objectif de déterminer les paramètres physico-chimique et bactériologique des eaux du fleuve San Pedro au sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Les paramètres physiques (le pH, la conductivité électrique, la température, la turbidité, les matières en suspension, et l'oxygène dissous), chimiques (l'orthophosphate, le nitrite et le nitrate) et bactériologiques (les streptocoques fécaux, les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants et les *Escherichia coli*) sont déterminés tant in situ qu'au laboratoire selon les méthodes normalisées. Le pH est acide dans l'ensemble et conforme aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Les eaux du fleuve sont fortement minéralisées (173,4 $\mu\text{s}/\text{Cm}$) au niveau de l'embouchure du fleuve San Pedro et la mer. De l'amont vers l'embouchure, on a une forte teneur en matières en suspension (62,9 mg/l) avec une variation relativement faible de la température dont le maximum est 31,1°C. Les eaux du fleuve varient d'une eau légèrement trouble à une eau trouble. La teneur en oxygène dissous n'est pas homogène sur l'étendue du fleuve. La pollution phosphorée et azotée se traduit par la présence de l'orthophosphate et, du nitrate et du nitrite dans les eaux du fleuve San Pedro. La présence bactérienne (streptocoques fécaux, coliformes totaux, coliformes thermotolérants et *Escherichia coli*) indique une contamination fécale. De toutes ces analyses, il en ressort que les eaux du fleuve San Pedro ne correspondent pas aux normes d'une eau potable et nécessite donc un traitement avant toute consommation.

Mots-clés : *eaux du fleuve San Pedro, paramètre physico-chimique, microbiologie, pollution, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Physicochemical and bacteriological characteristics of the waters of the San Pedro River, San Pedro, southwest of Côte d'Ivoire

This study aims to determine the physicochemical and bacteriological parameters of the waters of the San Pedro River in the southwest of Côte d'Ivoire. The physical parameters (pH, electrical conductivity, temperature, turbidity, suspended solids, and dissolved oxygen), chemical parameters (orthophosphate, nitrite, and nitrate), and bacteriological parameters (fecal streptococci, total coliforms, thermotolerant

coliforms, and *Escherichia coli*) are determined both in situ and in the laboratory using standardized methods. The pH tends to be overall acidic and aligns with the criteria set forth by the World Health Organization (WHO). The river waters are highly mineralized (173.4 $\mu\text{s/cm}$) at the mouth of the San Pedro River and the sea. From upstream to the mouth, the river exhibits a high content of suspended solids (62.9 mg/l) alongside a relatively minor temperature fluctuation, reaching a maximum of 31.1°C. The river waters range from slightly cloudy to turbid. The dissolved oxygen content is not uniform across the extent of the river. The presence of orthophosphate, nitrate, and nitrite in the waters of the San Pedro River indicates phosphorus and nitrogen pollution. Bacterial presence (fecal streptococci, total coliforms, thermotolerant coliforms, and *Escherichia coli*) suggests fecal contamination. Based on these analyses, the waters of the San Pedro River do not meet the standards for potable water and thus require treatment before consumption.

Keywords : *San Pedro River waters, physicochemical parameter, microbiology, pollution, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

San Pedro était un petit village de pêcheurs installé près d'une rivière. C'est en 1968, que la Côte-d'Ivoire entreprend la plus gigantesque de ses opérations de développement, l'opération San Pedro. Objectif : mettre en valeur une région jusqu'alors totalement enclavée et en marge du « miracle » ivoirien, le sud-ouest du pays. Il s'agit en clair : de désenclaver une région isolée, de mettre en valeur un territoire aux ressources importantes mais inexploitées, de promouvoir un second pôle de développement sur la côte ouest du pays, qui serait non concurrente à celui d'Abidjan [1]. A cette date le petit village autochtone comptait 50 habitants [2]. Un an plus tard, c'est-à-dire en 1969, débute les travaux de création de la nouvelle ville, ville de pointe, centre régional, future porte maritime de tout l'Ouest ivoirien : San Pedro [3 - 5]. Dans la politique de diversification des activités économiques, les pouvoirs publics lancent dès 1970, la promotion des activités touristiques [6]. Des réceptifs hôteliers et des opérations de désenclavement internes ont été réalisés [7]. Chef-lieu du District du Bas-Sassandra, San Pedro est une ville constituée de dix-neuf (19) quartiers regroupés en deux grands secteurs. Le secteur nord regroupe les quartiers évolutifs et de bas standing pendant que celui du sud est constitué de quartiers de moyen et haut standing [8]. La population de San Pedro a évolué, passant de 50 habitants en 1968, 209590 habitants en 2014 [9] à 1060724 habitants en 2021 [10]. Cette augmentation de la population est due premièrement à l'ouverture du port autonome et à la zone industrielle ; secondairement aux nombreuses infrastructures dont l'ouverture de la côtière, le Terminal Industriel Polyvalent de San Pedro (TIPSP), le Centre Hospitalier Régional (CHR), l'Université de San Pedro (USP) [11], la construction du stade Laurent POKO de San Pedro pour la Coupe d'Afrique des Nations (CAN), etc. La desserte en eau potable n'a pas suivi cette croissance démographique. Les installations de la Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI), l'unique société de distribution d'eau potable en Côte d'Ivoire et particulièrement à San Pedro [12], restent donc insuffisantes pour couvrir toute la ville. Ainsi l'on observe des coupures intempestives de l'eau courante dans les quartiers de moyen et haut standing et une alimentation en eau de puits dans les quartiers évolutifs et de bas standing comme partout en Côte d'Ivoire [13]. A San Pedro, l'eau distribuée pour l'adduction en eau potable (AEP) provient principalement d'une prise d'eau de surface : fleuve San Pedro. Alors que, ce dernier est soumis à de nombreuses pressions anthropiques et naturelles dues à la forte urbanisation et de grandes plantations de cultures de rentes (cacao, hévéa, palmier à huile, café) et vivrières (riz, manioc, maïs, banane, légumes) [14]. En effet, ce plan d'eau est un récepteur de polluants d'origines diverses à plusieurs endroits (déchets et effluents domestiques ou industrielles, eau de ruissellement provenant des terres cultivées, etc). Comme l'eau est un élément essentiel pour les êtres vivants, et en particulier pour l'Homme [15], ainsi elle doit être pure dans le sens potable pour sa consommation : ne contiens pas d'éléments chimiques dangereux et de germes nocifs pour la santé [16].

C'est dans ce contexte que le présent article vise à déterminer les paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux du fleuve San Pedro consommées par la population de San Pedro. En d'autres termes, il s'agira (i) d'analyser les paramètres tels que le pH, la conductivité électrique, la température, la turbidité, les matières en suspension, l'oxygène dissous, l'orthophosphate, le nitrate, le nitrite, les streptocoques fécaux, les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants et les *Escherichia coli*, (ii) de comparer les valeurs obtenues aux normes OMS et (iii) déduire les potentiels risques auxquels sont exposés les populations utilisatrices de ladite source d'eau.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

Situé dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes $4^{\circ}15' N$ et $5^{\circ}30' N$, et entre les longitudes $6^{\circ}15' W$ et $7^{\circ}20' W$, San Pedro couvre une superficie de 6912 km^2 . La région de San-Pedro est une zone fortement accidentée ; la pluviométrie est assez régulièrement répartie sur toute l'année ; la moyenne annuelle est de 1475 mm (moyenne de 1976 à 1986). Le sol est de type ferrallitique fortement désaturé gravillonnaire [17]. Le réseau hydrographique de la ville de San Pedro est dominé par le fleuve San Pedro à l'est, la lagune Digboué à l'ouest, le lac central, au sud par l'océan Atlantique et par divers petits cours d'eaux côtières intermittents. Le fleuve San Pedro était jadis une rivière dont le cours inférieur formait un petit estuaire (**Photo 1**) [18]. Ce petit fleuve côtier a une longueur d'environ 95 km avec un bassin d'environ 3380 km^2 . Son débit moyen est d'environ $22,8 \text{ m}^3$ (**Figure 1**).



Photo 1 : Embouchure naturelle de la rivière San-Pédro en 1967

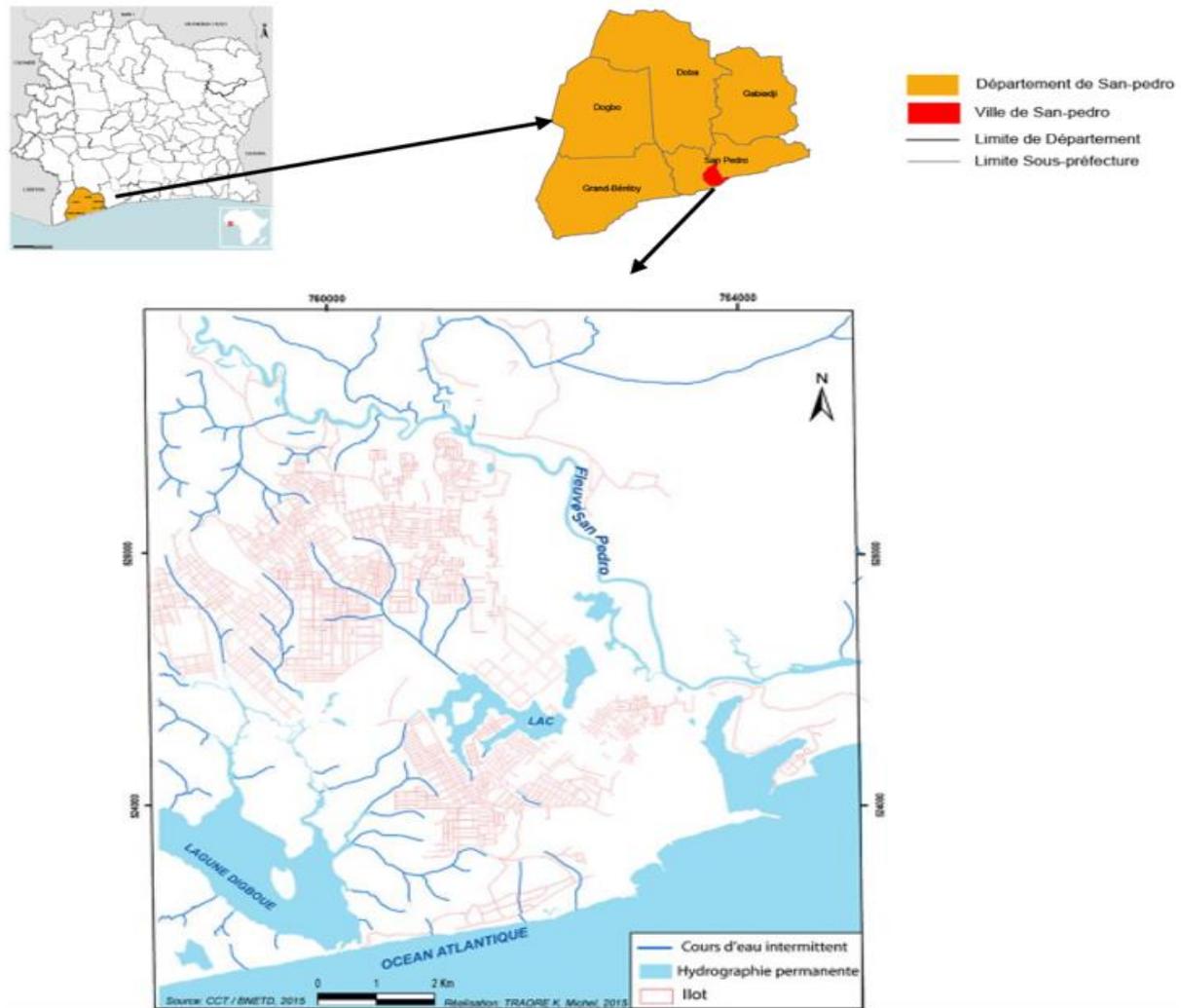


Figure 1 : Réseau hydrographique de la ville de San Pédro [19]

2-2. Collecte des échantillons d'eau

Les travaux de terrain ont consisté à définir vingt-quatre (24) stations de prélèvement, réparties sur l'étendue du fleuve. Les échantillons d'eau ont été collectés à l'aide d'une bouteille NISKIN et dans des flacons en polyéthylène et des verres propres, rincés plusieurs fois avec de l'eau à échantillonner, puis fermés hermétiquement avant d'être gardés au frigidaire à 4°C.

2-3. Détermination des paramètres physico-chimiques et microbiologiques

Les paramètres physiques (le pH, la conductivité électrique, la température, la turbidité, les matières en suspension et l'oxygène dissous), chimiques (l'orthophosphate, le nitrite et le nitrate) et bactériologiques (les streptocoques fécaux, les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants et les *Escherichia coli*) sont déterminés. Les échantillons d'eau prélevés dans le fleuve ont été analysés tant *in situ* qu'au laboratoire selon les méthodes normalisées. Les paramètres hydrologiques (pH, température, conductivité électrique, turbidité) ont été mesurés *in situ* pendant les prélèvements. La température, conductivité électrique ont été mesurée à l'aide d'un conductimètre VWR CO3100H ; la mesure du pH a été faite grâce à un pH-mètre WTW 3110 et la turbidité a été mesurée par un turbidimètre HACH 2100Q. Les conditions de conservation, ont été rigoureusement respectées selon [20]. Au Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA), l'oxygène dissous a été mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre UV-1700 PharmaSpec. Concernant les

matières en suspension (MES), elles sont déterminées par centrifugation à 105°C dans une étuve Néo-Tech SA suivant la norme NF T90-105-2. Les anions qui ont été analysés dans les eaux du fleuve San Pedro sont l'orthophosphates (PO₄³⁻), le nitrate (NO₃⁻), nitrite (NO₂⁻), selon des normes de qualité (NFT 90-038, NFT 90-015, NFT 90-023, EN ISO 13395). Les coliformes totaux et thermotolérants ont été déterminés par la méthode de filtration sur membrane selon la Norme ISO 4832 : 2006. Le milieu de culture est la gélose VRBL. Concernant les streptocoques fécaux, ils ont été déterminés par la méthode de filtration sur membrane suivant les normes NF ISO 7899-2 et NF T90-421, avec pour milieu de culture la gélose TTC. Enfin, les *Escherichia coli* ont été déterminés par la méthode de filtration sur membrane selon la Norme ISO 16649-2. Le milieu de culture est la gélose TBX.

3. Résultats et discussion

3-1. Paramètres physiques des eaux du fleuve San Pedro

Le **Tableau 1** présente les minimum, maximum, moyenne et écart-type des paramètres physiques des eaux du fleuve San Pedro. D'après les valeurs moyennes du **Tableau 1**, les eaux du fleuve San Pedro ont un pH acide, une bonne minéralisation et une qualité excellente en termes d'oxygène dissous et matières en suspension [21]. Cette même observation a été faite par [22] dans les eaux du fleuve Sassandra. Mais les eaux de fleuve Sassandra ont une mauvaise oxygénation. Par contre, les résultats de [23] sont presque différents que les miens au niveau de la conductivité (725 µS/cm) et les matières en suspension (43,14 ± 7,52 mg/L). En effet les eaux de la région de Bonoua, en occurrence celles de la lagune Aby sont fortement minéralisées et très chargées en matières organiques. Cela est dû à l'interconnection de ses eaux avec le grands fleuves Comoé et la Bia.

Tableau 1 : Caractéristiques des paramètres physiques des eaux du fleuve San Pedro

	Turbidité (NTU)	Température (°c)	pH	Conductivité (µS/Cm)	M.E.S (mg/l)	Oxygène dissous (mg/l)
Minimum	21,1	28,3	6,73	55	10,94	2,74
Maximum	60,9	31,1	7,2	173,4	62,9	6,18
Moyenne	33,32	29,99	6,89	70,99	32,23	4,56
Ecart-type	10,73	0,98	0,13	24,81	15,98	0,98

3-1-1. Variation du pH des eaux du fleuve San Pedro

Le pH du fleuve varie de 6,73 (pH minimal) à 7,2 (pH maximal) avec un écart-type de 0,13. Les eaux du fleuve San Pedro ont un potentiel hydrogène (pH) moyen de 6,89. Toutefois, dans mes stations 8, 9 et 10, le pH est au-dessus de 7 (**Figure 2**). En les comparant avec la norme de l'OMS pour une eau consommable (6,5 - 8,5), le pH s'accorde avec cette norme. Les eaux du fleuve San Pedro étudiées sont dans l'ensemble acides. Les valeurs moyennes du pH des eaux du fleuve San Pedro sont supérieures à celles trouvées (pH = 5,4) par [24] dans la lagune DIGBOUE. La lagune DIGBOUE se trouve à San Pedro et débouche également sur la mer de même que le fleuve San Pedro.

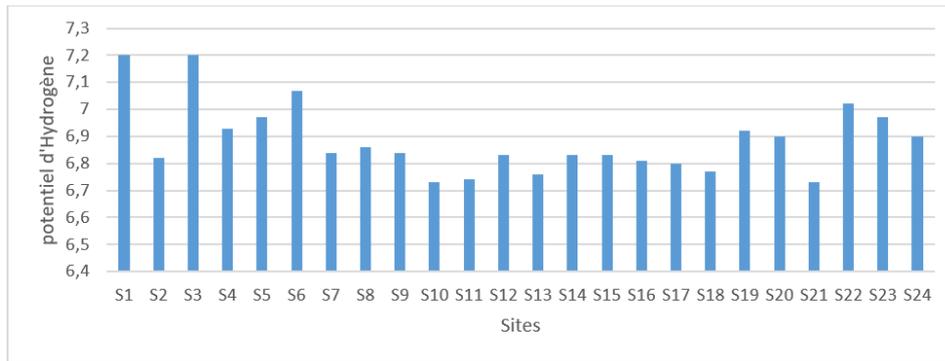


Figure 2 : Variation du pH par sites

S = Station

3-1-2. Variation de la conductivité électrique des eaux du fleuve San Pedro

Les eaux du fleuve San Pedro présentent une conductivité moyenne de $70,99 \mu\text{s}/\text{Cm}$. Les conductivités maximale et minimale sont respectivement de $173,4 \mu\text{s}/\text{Cm}$ et de $55 \mu\text{s}/\text{Cm}$ (**Figure 3**). L'écart-type est de $24,81$. La conductivité la plus élevée a été mesurée aux environs de l'embouchure du fleuve San Pedro et la mer (Océan Atlantique). De même à l'embouchure du fleuve Sassandra, [22] ont trouvé des conductivités très élevées (150 à $225 \mu\text{s}/\text{cm}$). Cela indique une minéralisation des eaux [25]. En effet, à proximité de la passe, le secteur est sous influence marine (l'eau de mer à une forte conductivité). Les échanges ou le contact entre les eaux lagunaires et celles de la mer, accroissent la conductivité. Les eaux deviennent fortement minéralisées.

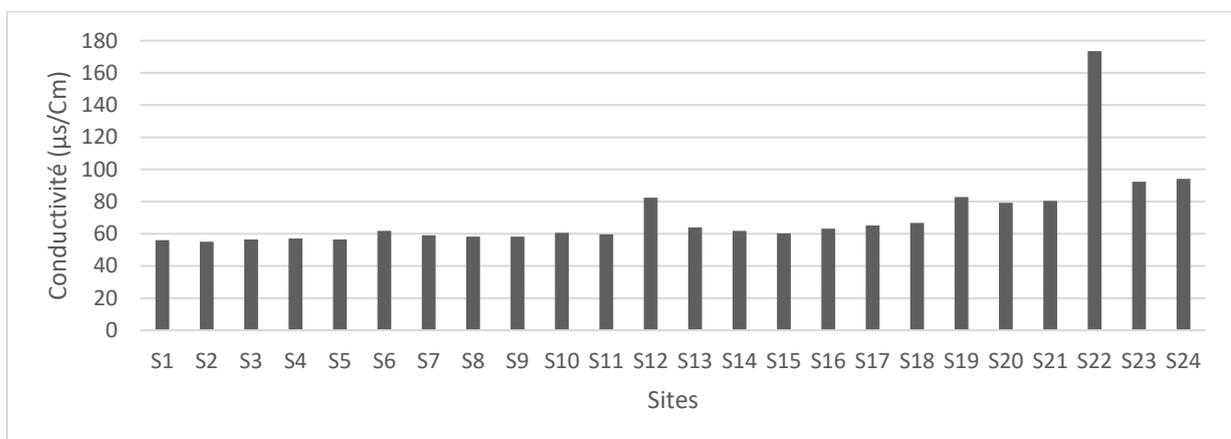


Figure 3 : Variation de la conductivité par sites

S = Station

3-1-3. Variation de la température des eaux du fleuve San Pedro

La température du fleuve San Pedro varie de $28,3^{\circ}\text{C}$ (température minimale) à $31,1^{\circ}\text{C}$ (température maximale) avec une température moyenne de $29,99^{\circ}\text{C}$ et un écart thermique de l'ordre de $0,13^{\circ}\text{C}$. De l'amont vers l'embouchure (S22, S23, S24), la variation de la température est relativement faible. La température baisse à proximité de la mer. Cela est dû au fait que les eaux des océans sont plus fraîches que l'eau du fleuve (**Figure 4**). Les eaux du lac Hébé présentent approximativement les mêmes résultats que les miens. En effet, la température de ces eaux varie de $30,1$ à $32,1^{\circ}\text{C}$ [26].

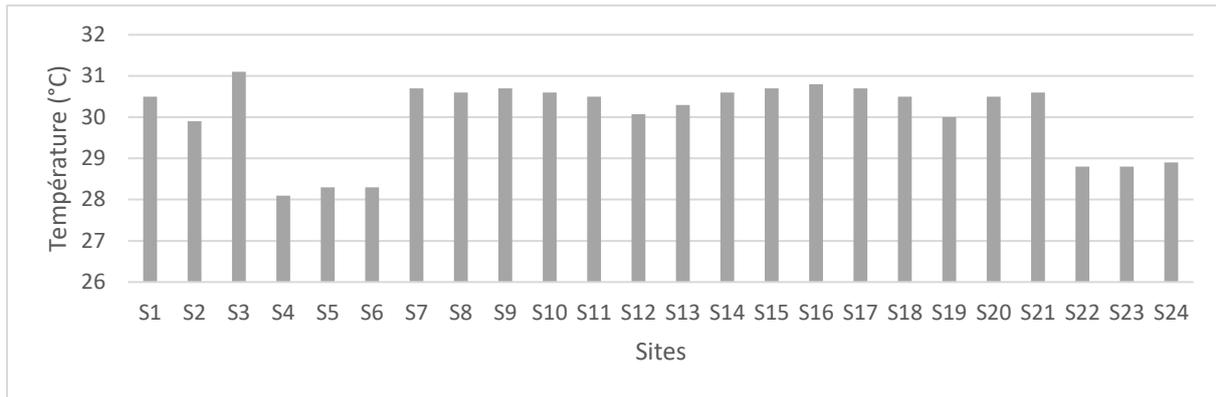


Figure 4 : *Variation de la température par sites*

S = Station

3-1-4. Variation de la turbidité des eaux du fleuve San Pedro

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. Elle traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques, etc.). Les mesures effectuées montrent que la turbidité de la masse d'eau du fleuve San Pedro varie grandement dans l'espace, de l'ordre de 21,1 à 60,9 NTU (nephelometric turbidity unit). Ces valeurs sont nettement supérieures à celles trouvés (3,21 à 26,4 NTU) dans les eaux d'Adaou [27]. Selon la classification du réseau francophone sur l'eau et l'assainissement (noté, RéFEA), qui en compte 4 classes, l'eau du fleuve San Pedro varie d'un endroit à un autre, d'une eau légèrement trouble ($5 < NTU < 30$) à une eau trouble ($NTU > 50$) (Figure 5).

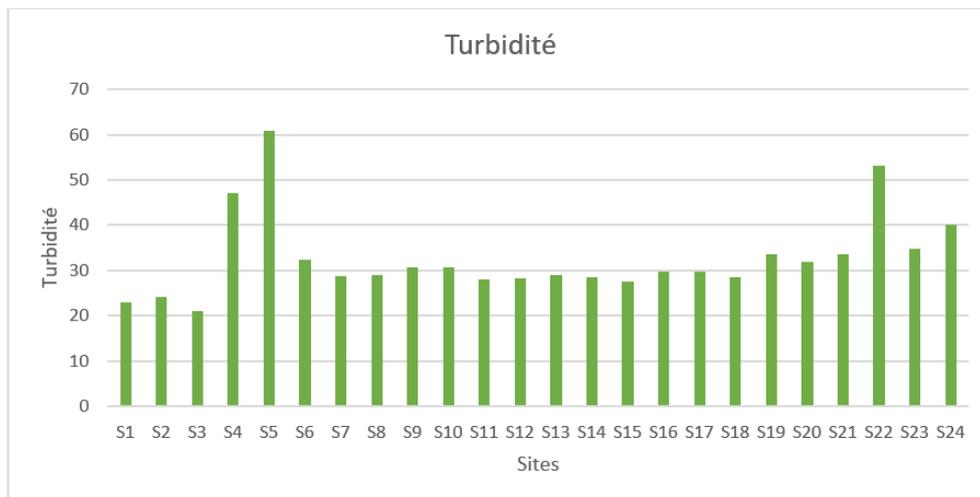


Figure 5 : *Variation de la turbidité par sites*

S = Station

3-1-5. Variation des Matières En Suspension (MES)

Sur le fleuve San Pedro, les charges des eaux en matières solides en suspension, varient de 10,94 mg/l (valeur minimale) à 62,9 mg/l (valeur maximale) avec une moyenne de 32,23 mg/l. L'écart-type des MES est 15,98 (Figure 6). Les eaux du fleuve San Pedro ont une forte teneur en matières en suspension lorsqu'on se rapproche de plus en plus vers l'embouchure. Cette forte charge sédimentaire est due, d'une part à la taille des particules et d'autre part, à la vitesse du courant. Les forts courants peuvent mettre en suspension des particules lourdes [28]. Ces éléments viendraient de ce fait accroître la charge sédimentaire.

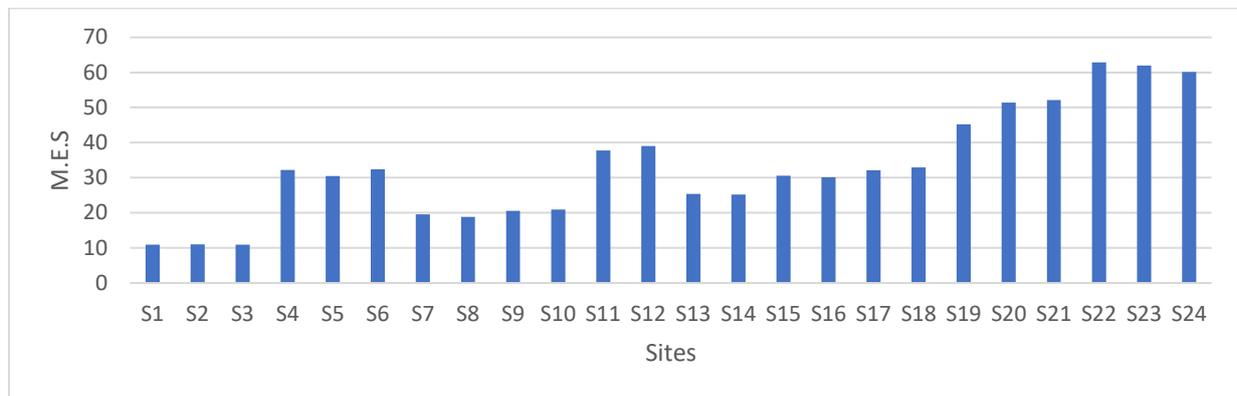


Figure 6 : Variation de la matière en suspension par sites

S = Station

3-1-6. Variation de l'oxygène dissous

Les teneurs minimales et maximales en oxygène dissous sont respectivement de 2,74 et de 6,18 mg/l. La valeur moyenne est de 4,56 mg/l (**Figure 7**). L'écart-type est de 0,98. La répartition des teneurs en oxygène dissous n'est pas homogène. Il y a des zones où elles sont faibles. Cela s'expliquerait par une baisse de l'activité photosynthétique du fait de la faible concentration végétale. Certaines zones sont fortement pourvues en oxygène dissous. Ces fortes teneurs en oxygène dissous, enregistrées, sont dues aux activités photosynthétiques se déroulant généralement avec une plus grande intensité dans ces zones du fait de la forte pénétration de la lumière [29].

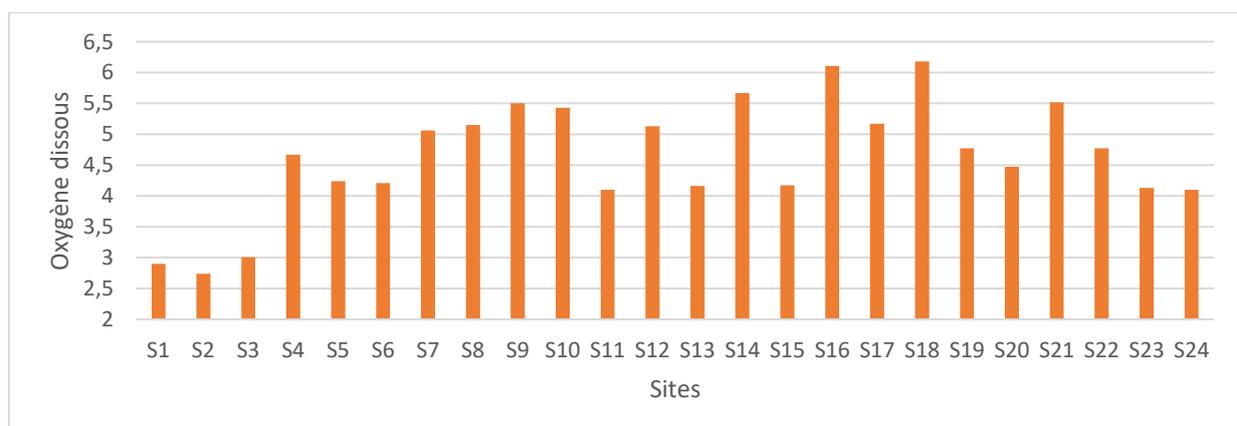


Figure 7 : Variation de l'oxygène dissous par sites

S = Station

3-2. Paramètres chimiques des eaux du fleuve San Pedro

3-2-1. Variation de l'orthophosphate

Le phosphore, l'un des nutriments importants, peut se trouver sous différentes formes oxydées. Il représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation. C'est un indicateur de pollution [30]. Cependant, ils ont un effet bénéfique en jouant un rôle régulateur : ils favorisent tous les phénomènes de fécondation, la mise à fruit et la maturité des organes végétatifs [31]. La **Figure 8** présente la variation de la concentration d'orthophosphates en fonction des stations de prélèvement sur le fleuve San Pedro. On constate que la concentration en orthophosphates est à plusieurs stations de prélèvement supérieures à la valeur seuil recommandée par l'OMS ($\leq 0,5$ mg/l). Les valeurs de Phosphates varient entre 0,17 et 5,2 mg/l avec un maximum observé à la station 20 (5 mg/l). Cette teneur élevée à la station 20 par rapport aux autres teneurs pourrait être dû aux rejets industriels des usines situées dans la zone. L'eau du fleuve San Pedro est donc eutrophe.

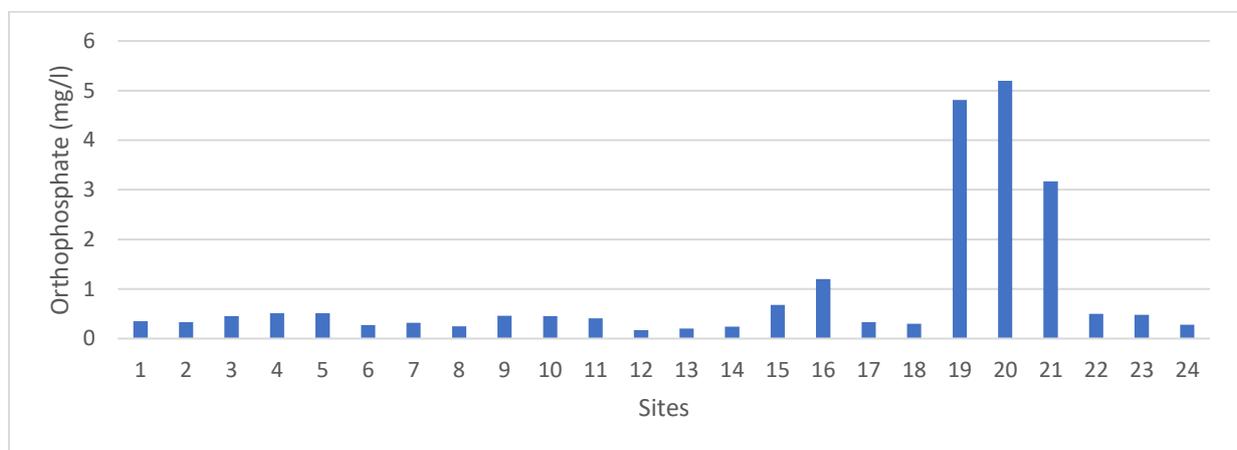


Figure 8 : *Variation de l'orthophosphate par sites*

S = Station

3-2-2. Variation du nitrate

La **Figure 9** présente la variation de la concentration de nitrate en fonction des sites de prélèvement sur le fleuve San Pedro. On constate que la concentration en nitrates est inférieure à la valeur seuil recommandée par l'OMS (≤ 50 mg/l) sur l'ensemble des stations de prélèvement. Les valeurs de nitrates varient entre 0,9 et 2,3 mg/l avec un maximum observé aux stations 20 et 4 (2,3 mg/l). Cette teneur élevée à la station 4 par rapport aux autres teneurs pourraient être due à la présence d'engrais dans les plantations d'hévéa, de cacao en bordure du fleuve dont les pends sont fortement érodées par l'eau du fleuve. Les teneurs élevées à la station 20 pourraient être liées à la présence d'usine qui rejettent des eaux usées. Les nitrates constituent la forme d'azote utilisée par la plupart des végétaux et leur augmentation dans les cours d'eau est principalement due à l'utilisation agricole [32].

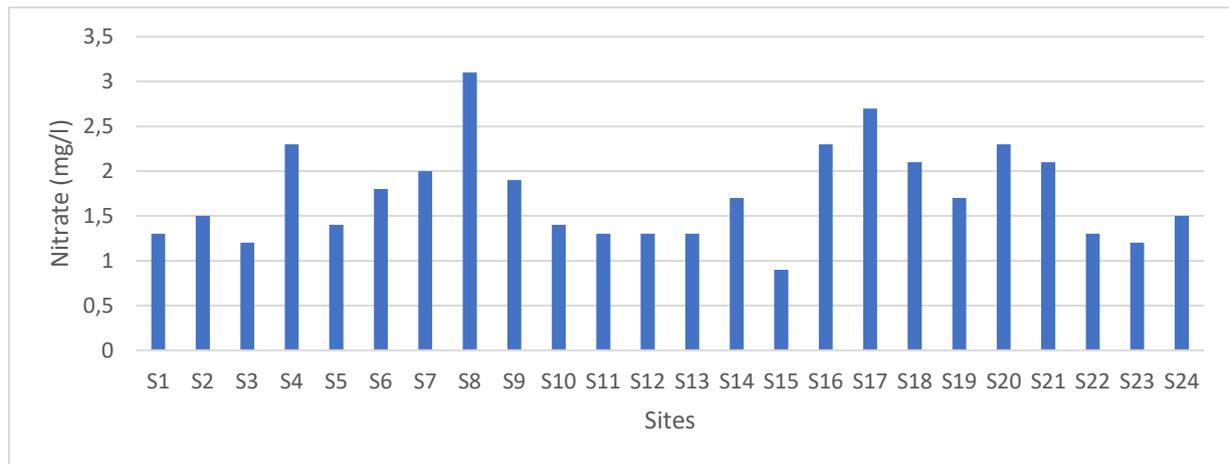


Figure 9 : Variation du nitrate par sites

S = Station

3-2-3. Variation du nitrite

La **Figure 10** présente la variation de la concentration du nitrite en fonction des sites de prélèvement sur le fleuve San Pedro. On constate que la concentration en nitrites est inférieure à la valeur seuil recommandée par l'OMS ($\leq 0,1$ mg/l) sur l'ensemble des stations de prélèvement. Les valeurs de nitrites varient entre 0 et 0,034 mg/l avec un maximum observé à la station 9 (0,034 mg/l). En effet, les ruissellements d'eau de pluie sont chargés de sels nutritifs transportés ou érodés dans les zones agricoles et anthropisées, vers le fleuve San Pedro. Ces résultats et explications corroborent les études de [33] dans les petits barrages du Nord de la Côte d'Ivoire.

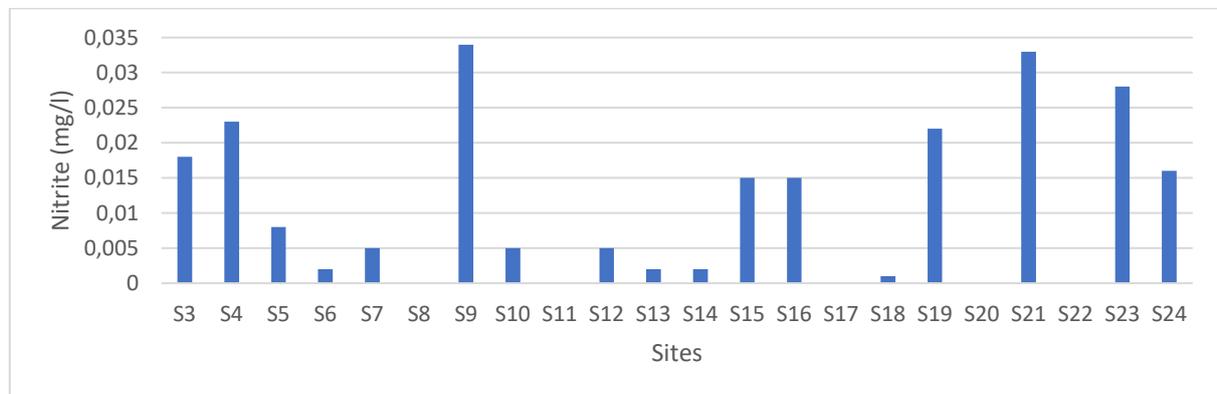


Figure 10 : Variation du nitrite par sites

S = Station

3-3. Paramètres bactériologiques des eaux du fleuve San Pedro

3-3-1. Variation de la charge bactérienne en streptocoques fécaux

L'analyse des différents prélèvements montre la présence de streptocoques fécaux à plusieurs stations. Les valeurs varient de 0 à 14 UFC/100ml d'eau. La valeur maximale se trouve à la station 23 (14 UFC/100 ml) (**Figure 11**). Cette zone se trouve à l'embouchure. La faible concentration en streptocoques fécaux est aussi observée dans l'OueD Beni Aza [34].

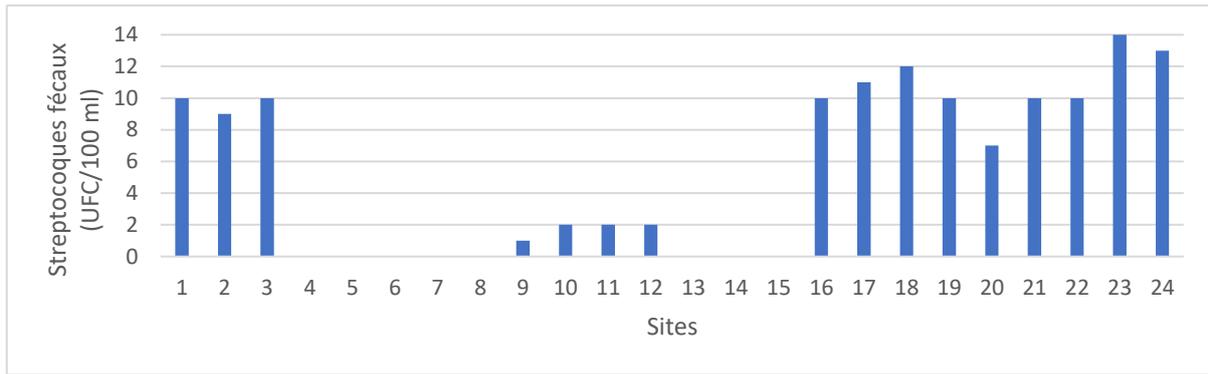


Figure 11 : *Variation de streptocoques fécaux par sites*

S = Station

3-3-2. Variation de la charge bactérienne en coliformes totaux

L'analyse des différents prélèvements montre la présence de coliformes totaux à toutes les stations. Les valeurs varient de 14 à 10010 UFC/100ml d'eau. La valeur maximale se trouve à la station 1 (10010 UFC/100 ml). Plusieurs stations (S1, S2, S3, S4, S5, S6) de prélèvements présentent une forte quantité de coliformes totaux (**Figure 12**). Nous constatons que ces différentes stations se trouvent à proximité des villages. Dans les eaux de la ville de Parakou, [35] observe des concentrations élevées (9150 UFC/100 mL) de ces bactéries. Les coliformes fécaux sont considérés comme des « indicateurs pathogènes » en raison des risques accrus de maladie gastro-intestinales et à des maladies respiratoires associées à la contamination fécale dans les eaux récréatives [36].

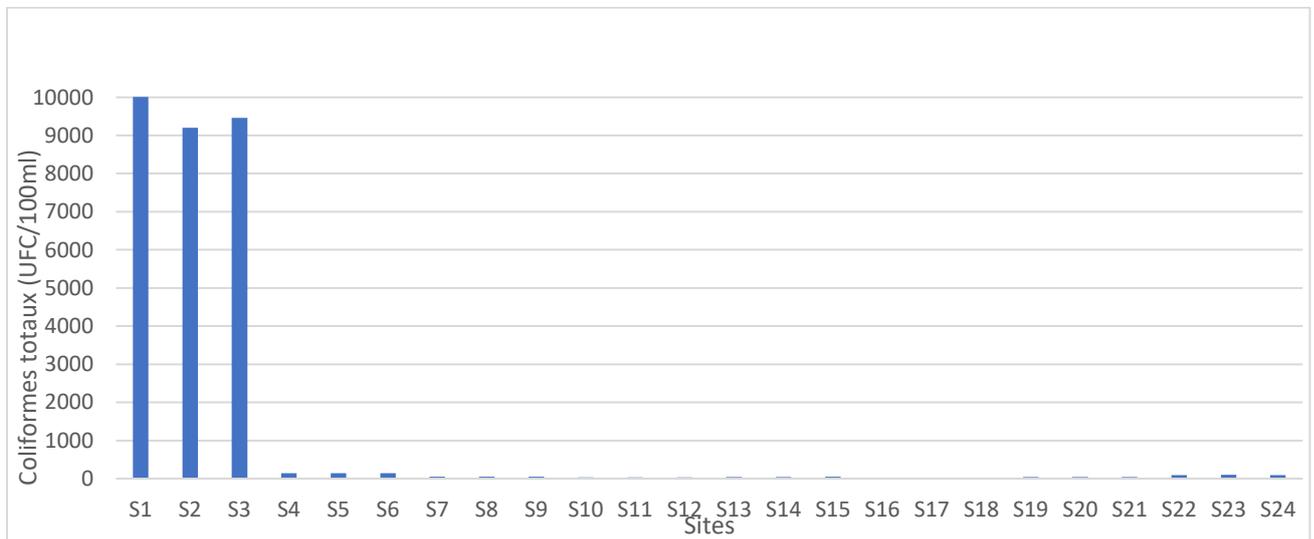


Figure 12 : *Variation de coliformes totaux par sites*

S = Station

3-3-3. Variation de la charge bactérienne en coliformes thermotolérants

L'analyse des différents prélèvements montre la présence de coliformes thermotolérants à toutes les stations. Les valeurs varient entre 3 à 10010 UFC/100ml d'eau. La valeur maximale se trouve à la station 2 (9100 UFC/100 ml). Ces résultats corroborent avec ceux de [37] dans les eaux du sixième arrondissement de

Cotonou au Sud-Bénin. Plusieurs stations (S1, S2, S3) de prélèvements présentent une forte quantité de coliformes totaux. Nous constatons que ces différentes stations se trouvent à proximité des villages où les riverains réalisent différentes activités domestiques (lessive, vaisselle, bain, pêche). Ces valeurs sont supérieures à celle recommandée par l'OMS qui est de 0 UFC/100 ml (**Figure 13**).

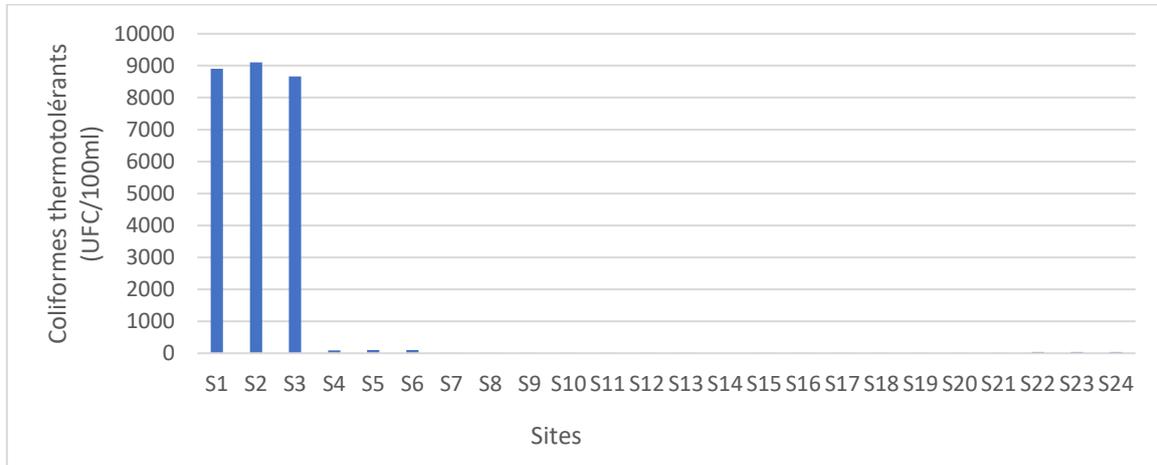


Figure 13 : Variation de coliformes thermotolérants par sites

S = Station

3-3-4. Variation de la charge bactérienne en *Escherichia coli*

L'analyse des différents prélèvements montre la présence de *Escherichia coli* sur la plupart des stations de prélèvement. Les valeurs varient de 0 à 87 UFC/100ml d'eau. La valeur maximale se trouve à la station 3 (87 UFC / 100 ml). Aussi on observe une présence abondante de *Escherichia coli* surtout aux stations (S1, S2, S3) (**Figure 14**). Ces différentes stations se trouvent à proximité des villages où les riverains réalisent différentes activités domestiques (lessive, vaisselle, bain, pêche). Les valeurs *Escherichia coli* des eaux du fleuve de San Pedro sont moins élevées que celles (5400 UFC/100 ml) des eaux de Bocanda [13]. Ces *Escherichia coli* peuvent être à l'origine de maladies gastro-intestinales, diarrhée et vomissement [38].

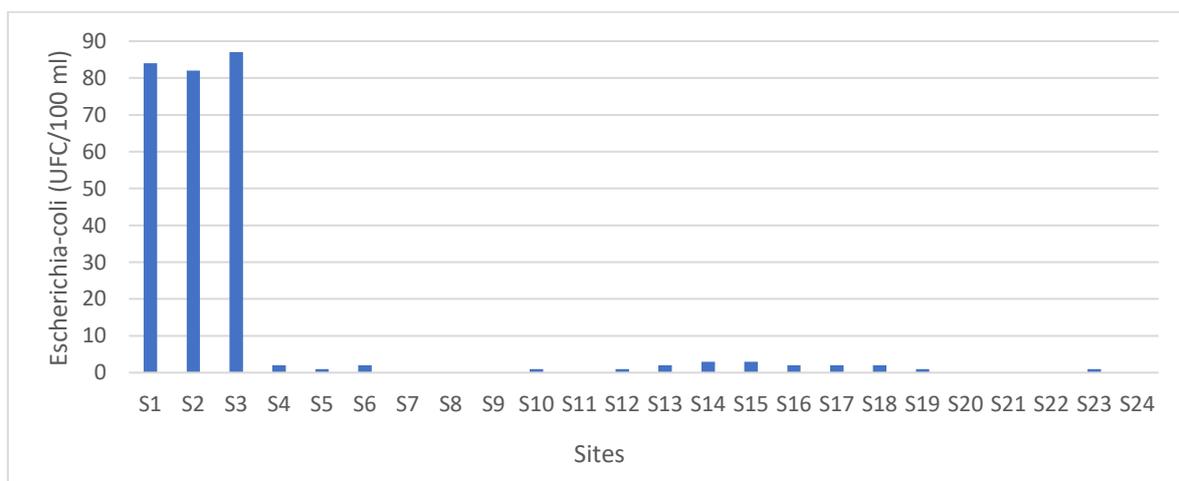


Figure 14 : Variation de *Escherichia coli* par sites

S = Station

3-3-5. Variations des germes microbiens (*Streptocoques fécaux*, *Coliformes totaux*, *Coliformes thermotolérants* et *Escherichia coli*) par sites

Cet histogramme (**Figure 15**) récapitule la variation de la quantité des quatre microorganismes objet de notre étude en fonction de différentes stations de prélèvement. Ainsi nous constatons que les coliformes totaux s'étendent sur tout le long du parcours jusqu'à l'embouchure. Les valeurs les plus élevées se trouvent en amont et en aval. De même les coliformes thermotolérants varient de la même manière que les coliformes totaux cependant avec des valeurs plus faibles. Concernant les streptocoques fécaux, ils sont présents sur pratiquement l'ensemble du parcours à part certaines stations ou ils semblent absents. Cependant en très faible quantité comparé à tous les autres microorganismes qui font l'objet de cette étude. Concernant *Escherichia coli* elle est fortement représentée en amont uniquement cependant elles s'étendent sur pratiquement tout le long du parcours mais avec de très faibles valeurs jusqu'à l'embouchure ou elles sont quasiment inexistantes. Le déversement des eaux usées domestiques sans aucun traitement préalable peut participer à la contamination des eaux de surface [39]. De même, la contamination des eaux du fleuve San Pedro par ce germe peut être expliquée par la présence des déchets fécaux d'origine humaine (déchets domestique) et animal (effluents d'élevage). La présence des *E. coli* dans une eau signifie qu'elle a été récemment contaminée par des matières fécales et que d'autres pathogènes peuvent être présents [40, 41].

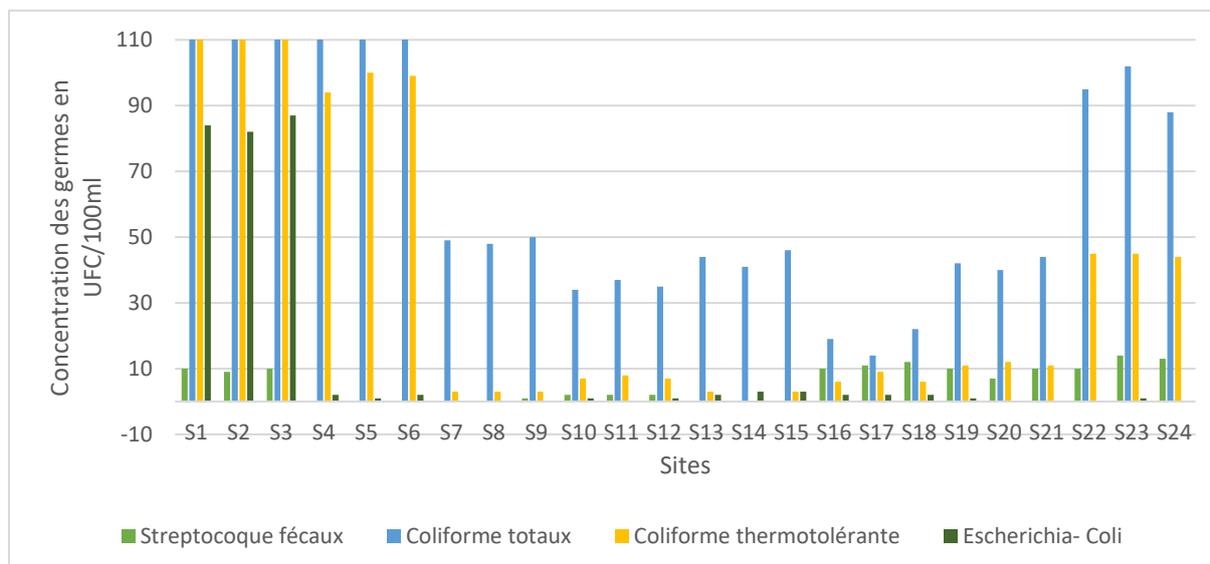


Figure 15 : Variations des germes microbiens (*Streptocoques fécaux*, *Coliformes totaux*, *Coliformes thermotolérants* et *Escherichia coli*) par sites

S = Station

4. Conclusion

Ce travail a pour objectif de vérifier la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux du fleuve San Pedro. Pour se faire vingt-quatre (24) échantillons d'eaux ont été analysés. Le pH est acide dans l'ensemble et conforme aux normes. La conductivité moyenne est de 70,99 $\mu\text{s}/\text{Cm}$. Elle est très élevée au niveau de l'embouchure du fleuve San Pedro et la mer. De l'amont vers l'embouchure, on a une forte teneur en matières en suspension avec une variation relativement faible de la température. Les eaux du fleuve varient d'une eau légèrement trouble à une eau trouble. La teneur en oxygène dissous n'est pas homogène sur l'étendue du fleuve. La pollution phosphorée et azotée se traduit par la présence l'orthophosphate et, du nitrate et du

nitrite dans les eaux du fleuve San Pedro. La présence bactérienne (streptocoques fécaux, coliformes totaux, coliformes thermotolérants et *Escherichia coli*) indique une contamination fécale. De toutes ces analyses, il en ressort que les eaux du fleuve San Pedro ne correspondent pas aux normes d'une eau potable. Ainsi pour la consommer il faut avoir recours à un traitement préalable ou envisager la conception d'un filtre à base d'éléments naturels (argiles, charbons actifs).

Références

- [1] - A. T. KOPY, la clonerie Saint-Nazaire, (2008) 275 - 295
- [2] - A. SCHWARTZ, l'Espace Géographique, Doin, 8, place de L'Odéon, Paris-VI, N°1 (1979) 65 - 70
- [3] - P. HAERINGER, *Cah. ORSTOM, sér. Sri. Hum.*, Vol. X, N° 213 (1973) 245 - 267
- [4] - O. DEMBELE, Cahiers de géographie tropicale de l'Institut de Géographie Tropicale de l'université de Cocody, no 4, Actes des 8e Journées Géographiques de Côte d'Ivoire du 16 au 20 mai 1994 à San Pedro, (1996) 133 - 147
- [5] - O. DEMBELE, la clonerie Saint-Nazaire, (2008) 67 - 82
- [6] - T. GOGBE, K. L. ATTA, N. G. KOUASSI, N. TCHETCHE, Regardsuds; Deuxième numéro, (Septembre 2017) 109 - 123
- [7] - A. HAUHOUOT, Editions Universitaires de Côte d'Ivoire (EDUCI), (2002) 364
- [8] - B. DIARRASSOUBA, A. C. YAPI, W. A. KOUADIO, *European Scientific Journal, ESJ*, 18 (26) (2022) 46 - 69
- [9] - Recensement Général de la Population et de l'Habitat, rapport d'exécution et présentation des principaux résultats, (2014) 49
- [10] - Recensement Général de la Population et de l'Habitat, résultats globaux, (2021) 37
- [11] - PDU BNED - Programmation des Universités, programmation de l'université de San Pedro, tome 1 : programme général, (09 décembre 2016) 170
- [12] - R. D. TEBELE, Surveillance sanitaire de l'eau d'adduction publique de San Pedro de 2013 à 2016, diplôme d'Etat de docteur en pharmacie, Université Félix HOUPOUËT BOIGNY, N°1871, 17 (2017) 96 p.
- [13] - A. L. C. MANGOVA-ALLALI, N. A. C. KOUAME et L. COULIBALY, *Afrique SCIENCE*, 19 (3) (2021) 16 - 27
- [14] - A. M. TANO, Crise cacaoyère et stratégies des producteurs de la sous-préfecture de Méadji au Sud-Ouest ivoirien, Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, (2012) 239 p.
- [15] - R. HAJJI HOUR, J. ANISSI and M. EL HASSOUNI, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 16, N° 4 (Jun. 2016) 697 - 703
- [16] - C. KASSIM, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du District de Bamako. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université de Bamako, (2005) 45 p.
- [17] - N. YAO, *Fruits*, Vol. 43, N°3 (1988) 149 - 159
- [18] - K. S. YAO, J. ABE, S. B. BAMBA, K. E. KONAN, K. AKA, *Revue Paralia*, Vol. 3, (2010) 2.1 - 2.12
- [19] - K. M. TRAORE, analyse des vulnérabilités de la ville côtière de San Pedro (sud-ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse unique de géographie, Université Félix Houphouët Boigny Cocody- Abidjan, (2016) 333 p.
- [20] - L. AKATUMBILA, M. MABIALA, A. LUBINI, K. PWEMA, E. A. MUSIBONO, *Larhyss Journal*, ISSN 11123680, N°26 (Juin 2016) 7 - 29
- [21] - SEEE, Fiche sur le nouveau système d'évaluation de la qualité des eaux, Maroc, (2008) 5
- [22] - Y. A. N'GUESSAN, T. E. WANGO, K. E. KONAN, A. ADINGRA, E. M. AMANI, S. MONDE, K. AFFIAN et K. AKA, *Afrique SCIENCE*, 11 (2) (2015) 161 - 172
- [23] - P. TOHOURI, G. M. ADJA, G. SORO, E. G. AKE, I. N. KONAN et J BIEMI, *International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324*, Vol. 20, N° (1 Apr. 2017) 28 - 41
- [24] - M. A. ETCHE., A. V. WOGNIN, T. E. WANGO, S. MONDE et K. AKA, *BIOTERRE, Rev. Inter. Sci. de la Terre*, Vol. 13, (2013) 23

- [25] - G. SORO, Evaluation des métaux lourds (Co, Cr, Mn, Ni et Zn) dans les sédiments de la lagune Ebrié, Abidjan (Côte d'Ivoire). *Mém. DEA*, Univ. Cocody, Côte d'Ivoire, (2003) 70 p.
- [26] - E. ODJOHOU, C. KRA, O. ADJIRI, S. MONDÉ, *International Journal of Engineering Science Invention* (IJESI), Vol. 9, Issue 4 Series.I, (Apr.2020) 27 - 35
- [27] - Y. D. S. R. ATTO, A. F. KOUAME, N. AKA, S. MONDE, K. AKA, *BIOTERRE, rev. inter. sci. de la terre*, Vol. 16, (2016) 7 - 20
- [28] - B. MILLET, Hydrologie et hydrochimie d'un milieu lagunaire tropical : le lac Togo. *Etudes et Thèses. Edition ORSTOM*, (1986) 224 p.
- [29] - K. L. KOUASSI, Hydrologie, transport solide et modélisation de la sédimentation dans les lacs des barrages hydro-électriques de Côte d'Ivoire : cas du lac de Taabo. Thèse de doctorat, Université Abobo-Adjamé, (2007) 209 p.
- [30] - M. MAKHOUKH, M. SBAA, A. BERRAHOU et M. VAN CLOOSTER, *Larhyss Journal*, N° 09 (2011) 149 - 169
- [31] - M. VILAIN, La production végétale. la maitrise de technique de la production. ED. Lavoisier (ed. J. Bailliére). Paris- France, Vol. 2, (1989) 491 p.
- [32] - M. MEYBECK, *Amer. J. Sci.*, 282 (1982) 401 - 450
- [33] - R. ARFI, M. BOUVY, P. CECCHI, M. PAGANO, L. SAINT-JEAN & S. THOMAS, IRD, (2007) 295 p.
- [34] - A. BENGHERBIA, F. HAMAIDI, R. ZAHRAOUI, M. S. HAMAIDI et S. MEGATELI, *Lebanese Science Journal*, Vol. 15, N°2 (2014) 39 - 51
- [35] - J. B. K. VODOUNOU et A. O. DENONSI, *Afrique SCIENCE*, 14 (3) (2018) 336 - 352
- [36] - EPA, U. S. Environmental Protection Agency, (2012) 1 - 69
- [37] - E. O. HOUNSOUNOU, M. A. D. TCHIBOZO, L. AYI - FANOU, N. C. KELOME, E. W. VISSIN, M. VLAVONOU - ZANNOU, G. A. MENSAH et E. AGBOSSOU, *Afrique SCIENCE*, 13 (3) (2017) 425 - 434
- [38] - WHO, "Guidelines for drinking water quality, 4 th ed.", Ed. WHO, Geneva, (2011)
- [39] - N. MANIZAN, A. OUATTARA, G. GOURENE and M. DOSSO, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 15 (2010) 201 - 210
- [40] - INSPQ (Institut National de la Santé Publique du Québec), Fiche Coliformes totaux Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique, Décembre 2004, (2003) 4 p.
- [41] - P. JOHN and A. DONALD, Microbiologie, 3ème Édition, (2010) 1216 p.