

Composition et abondance du phytoplancton de la zone portuaire d'Abidjan, Côte d'Ivoire, et leur corrélation avec les variables environnementales

Estelle Sévérine KONAN^{1*}, Koffi KOMOE² et Sylvie ASSEMIAN-NIANGO¹

¹ *Centre de Recherches Océanologiques, Département Environnement, Laboratoire de Planctonologie, 29 Rue des Pêcheurs, BPV 18 Abidjan, Côte d'Ivoire*

² *Université Félix Houphouët Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire des Milieux Naturels et de Conservation de la Biodiversité, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 27 Décembre 2022 ; Accepté le 10 Mars 2023)

* Correspondance, courriel : estydekonan@yahoo.fr

Résumé

L'objectif de cette étude est d'identifier les différents taxons phytoplanctoniques de la zone portuaire d'Abidjan (Côte d'Ivoire), de déterminer leur abondance et d'étudier leur corrélation avec les variables environnementales. Des clés de détermination ont permis d'identifier les principaux groupes d'algues et la méthode d'Utermöhl a permis de les quantifier. Le test non-paramétrique de Spearman a été utilisé pour étudier les relations entre les paramètres environnementaux et l'abondance des taxons. Les résultats ont montré que la flore microalgale de la zone portuaire était composée de 44 taxons regroupés en 5 embranchements, les Bacillariophyta le groupe le plus diversifié avec 22 taxons, les Dinophyta, les Euglenophyta, les Cyanoprocarota et les Chlorophyta. L'étude quantitative a montré une forte prédominance des Bacillariophyta. Au niveau spatial, un bloom algal a été observé avec plusieurs millions de cellules, au niveau des stations terminal à conteneurs et Zimbabwe pendant la petite saison des pluies. L'étude de la corrélation entre les variables environnementales et les paramètres biotiques a montré que les taxons étudiés sont sous l'influence de la conductivité, la salinité, l'oxygène dissous, la transparence, les nitrites, les silices et les orthophosphates.

Mots-clés : *zone portuaire, phytoplancton, variables environnementales, paramètres biotiques.*

Abstract

Phytoplankton composition and abundance of Abidjan area port, Côte d'Ivoire, and their correlation with environment parameters

The aim of this study is to identify phytoplankton species of the port of Abidjan (Côte d'Ivoire), to determine their abundance and to study their correlation with environmental variables. Determination keys were used to identify the main groups of algae and the Utermöhl method to quantify them. Spearman's non-parametric test was used to study the relationships between environmental parameters and the abundance of taxa. The results showed that the microalgal flora of the port of Abidjan was composed of 44 taxa grouped into 5 phyla, Bacillariophyta the most diversified phylum with 22 taxa, Dinophyta, Euglenophyta, Cyanoprocarota

and Chlorophyta. Regarding the quantitative study, high predominance of Bacillariophyta was showed. An algal bloom was observed with several million cells, at the container terminal and Zimbabwe stations during the short rainy season. The study of the correlation between environmental variables and biotic parameters showed that the taxa studied were influenced by conductivity, salinity, dissolved oxygen, transparency, nitrites, silicas and orthophosphates.

Keywords : *area port, phytoplankton, environmental factor, biotic parameter.*

1. Introduction

Situé sur les côtes de Treichville, le port autonome d'Abidjan est le plus important port d'Afrique de l'ouest et le deuxième de toute l'Afrique après celui de Durban (https://fr.wikipedia.org/wiki/Port_d%27Abidjan). Grâce au canal de Vridi d'une profondeur de 15 mètres et à son dynamisme, le port d'Abidjan représente aujourd'hui 90 % des échanges extérieurs de la Côte d'Ivoire, 70 % des activités industrielles du pays et plus de 85 % des recettes douanières qui constituent plus de 60 % du budget général de l'Etat ivoirien [1]. Près de 70 % des échanges extérieurs des pays de l'hinterland (Burkina Faso, Mali, Niger, Tchad, Guinée, Conakry, etc.) transitent par le port d'Abidjan. En 2019, le canal de Vridi, a été élargi et approfondi permettant désormais au port d'Abidjan d'accueillir des navires de grandes tailles avec 16 m de tirant d'eau sans limitation de longueur [1]. Ces intenses activités qui s'y déroulent constituent donc une menace pour la qualité des eaux de la zone portuaire d'Abidjan. Comme l'a mentionné les auteurs [2 - 4] la lagune Ébrié est le théâtre d'intenses activités anthropiques qui à l'instar de la plupart des lagunes africaines subit une détérioration accrue de la qualité de ses eaux ces dernières décennies. En effet, l'implantation de grandes usines (cimenterie, usine de production de farine de blé) situées aux abords du port d'Abidjan, les activités du port de pêche qui déversent directement les eaux de lavage des bateaux, les restes des poissons et autres débris dans l'eau constitue une menace pour la qualité des eaux de la zone portuaire qui est une zone hautement économique pour la Côte d'Ivoire et où les activités de pêches traditionnelles s'y déroulent au quotidien. Une étude pluridisciplinaire a donc été initiée par le Centre de Recherches Océanologiques (CRO) dans le but d'évaluer l'impact des activités anthropiques dans cette partie de la lagune Ébrié. La préservation des milieux aquatiques pouvant être suivie à travers les communautés biologiques qui sont de bons indicateurs de la qualité écologique d'un hydrosystème [5, 6], notre contribution à la préservation de cette lagune sera d'étudier la structure et la dynamique du phytoplancton. En effet une augmentation des nutriments dans les milieux aquatiques (principalement l'azote et le phosphore) entraîne une augmentation de la photosynthèse et par conséquent des microalgues ainsi qu'une accumulation de matière organique pouvant causer l'eutrophisation du milieu [7]. Selon [8, 9], l'abondance, les communautés et la biodiversité, ainsi que la structure chimique et biochimique des cellules phytoplanctoniques, sont parmi les problèmes les plus importants affectés par la qualité de l'eau. Le suivi de la qualité de l'eau constitue donc la première étape vers la gestion et la conservation des milieux aquatiques. Il s'agira donc dans cette étude de mesurer les paramètres physico-chimiques, étudier la composition du peuplement algal et d'évaluer l'influence des paramètres physico-chimiques sur la répartition des espèces algales.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

Le port d'Abidjan est situé sur la lagune Ebré au Sud d'Abidjan et s'étend sur une superficie de 900 hectares. Elle est limitée à l'Est par les communes de Marcory et de Koumassi, au Nord par celles du Plateau et de Cocody, au Sud par la commune de Port-Bouët et à l'Ouest par la lagune Ebré. L'échantillonnage s'est déroulé de février 2020 à novembre 2020 sur cinq stations réparties dans la zone

portuaire (**Figure 1**). Le choix des stations s'est fait selon différents secteurs d'activité. Il s'agit des stations du grand moulin productrice de farine de blé, de la cimenterie cuirasse (usine de fabrication de ciment), du port de pêche, du terminal à conteneurs et enfin la station de Zimbabwe où l'on assiste à une extension du port.

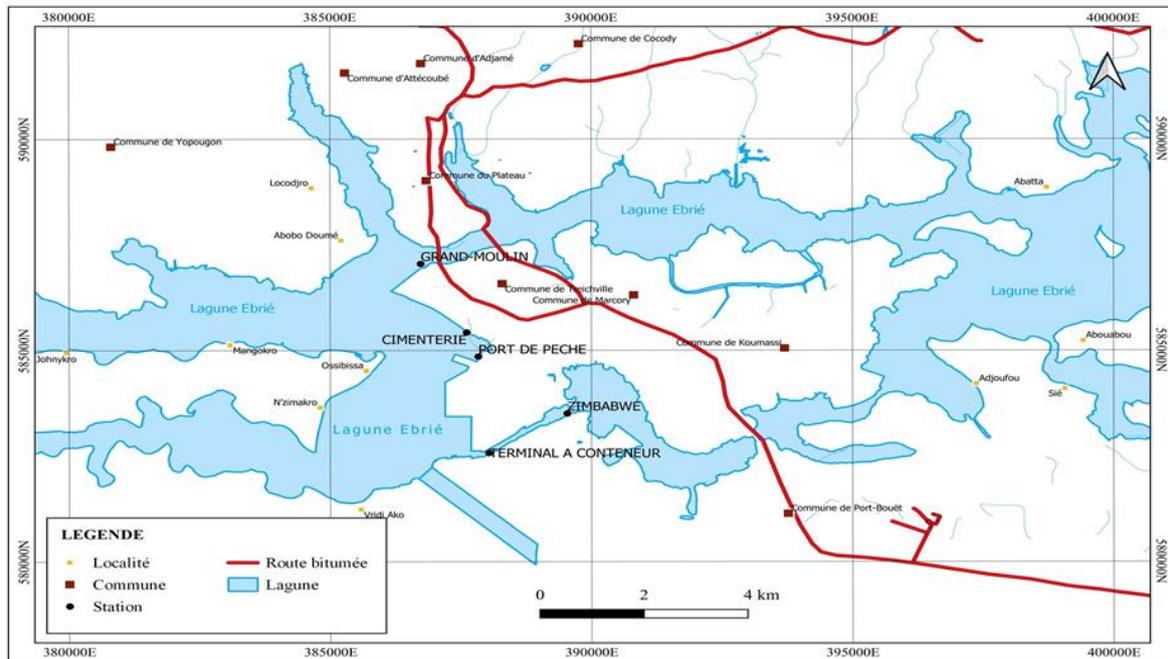


Figure 1 : Situation géographique des sites échantillonnés

2-2. Mesure et Prélèvement des différents échantillons

Un multiparamètre portable de type HQ 40D a servi à mesurer la salinité, la conductivité, la température, le pH et l’oxygène dissous. Un disque de Secchi a été utilisé pour déterminer la transparence. Les dosages des sels nutritifs (Nitrate, Nitrite, Ammonium, Orthophosphates et Silice) ont été effectués à l’aide d’un spectrophotomètre Hach-Lange DR-6000. Concernant le prélèvement du phytoplancton, un filet à plancton de 20 µm de vide de maille a été utilisé pour les prélèvements des microalgues. Du formaldéhyde de commerce à la concentration de 5 % a servi à la conservation des échantillons prélevés. Un microscope optique de type Olympus a permis d’observer les différents taxons phytoplanctoniques. Des cuves à sédimenter et un microscope inversé ont été utilisés pour les comptages. Divers ouvrages de certains auteurs tels que [10 - 16], ont servi pour les différentes identifications. Le comptage a été réalisé par la méthode d’Utermöhl [17]. Les densités cellulaires obtenues sont exprimées en nombre de cellules par unité de volume. La densité (D) phytoplanctonique est donnée par la **Formule (1)** :

$$D = \frac{Nbr}{\left(\frac{a}{A}\right) \times V} \tag{1}$$

où, $a = C_{40x} \times (R_{40x})^2 \times \pi$, Nbr = quantité de cellules comptées pour un taxon au microscope, a = superficie observée au microscope, C_{40x} = nombre de champs observés à l’objectif 40x, R_{40x} = rayon du champ à l’objectif 40x (0,25 mm), A = superficie de la cuve à sédimentation où s’accumulent les cellules (480,8 mm²), V = volume d’échantillon utilisé pour la sédimentation (25 ml).

2-3. Méthode d'analyse du peuplement

2-3-1. Indice de similarité de Jaccard

La ressemblance entre deux communautés (habitats) a été estimée par l'indice de similarité de Jaccard. Cet indice varie de 0 (absence de similarité) à 1 (milieux identiques) [18]. La **Formule (2)** est la suivante :

$$C_j = \frac{J}{a+b-j} \quad (2)$$

C_j = indice de similarité de Jaccard, j = nombre d'espèces communes aux deux stations, a = le nombre de taxons propres à la station 1, b = le nombre de taxons propres à la station 2.

2-3-2. Traitement statistique des données

Le test non-paramétrique (test de Spearman) a été utilisé pour étudier les relations entre les paramètres environnementaux et l'abondance des taxons. Cette analyse a été faite grâce au logiciel STATISTICA 7.0.

3. Résultats

3-1. Données des paramètres physico chimiques des différentes stations

Le **Tableau 1** présente les valeurs minimale, maximale, moyenne et les écarts types des différents paramètres environnementaux mesurés au niveau de chaque station. Les valeurs de la température ont oscillé entre 26°C et 30,6°C respectivement aux stations grand moulin pendant la petite saison sèche et Cimenterie pendant la grande saison sèche. Concernant la conductivité, les valeurs ont varié de 10 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ à la station cimenterie à 34 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ enregistré à la station terminal à conteneur. Les valeurs de la salinité ont oscillé entre 5,57 p.m à la station port de pêche et 20,68 p.m. à la station terminal à conteneur. Quant au pH, les valeurs ont varié entre 5,92 à la station grand moulin et 7,56 à la station terminal à conteneur. Concernant les valeurs de l'oxygène dissout, la plus faible valeur 3,93 mg /L a été observée à la station zimbabwe et la plus élevée 6,55 mg /L à la station cimenterie. Concernant les valeurs de la transparence elles ont fluctué entre 0,46 m à la station zimbabwe et 1,83 m à la station port de pêche. Concernant les sels nutritifs, hormis les nitrates (valeurs).

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques relevés aux différentes stations d'échantillonnage

Stations Paramètres	GM				CIM				PP				TC				ZBW			
	Min	Max	Moy	E.C.	Min	Max	Moy	E.C.	Min	Max	Moy	E.C.	Min	Max	Moy	E.C.	Min	Max	Moy	E.C.
Température (°C)	26	30,3	28,8	1,94	26,5	30,6	29,12	1,81	26,7	30,2	29,17	1,66	26,5	30,2	29,12	1,76	26,4	30,1	29,42	2,05
Conductivité (µS cm ⁻¹)	12,4	24,74	19,96	5,91	10,7	26,1	18,61	6,46	10	26,4	17,61	7,35	12,02	34	22,89	9,17	14,27	32,5	23,45	7,54
Salinité (p.m.)	6,85	14,91	11,38	4,08	5,77	15,78	10,45	4,45	5,57	15,55	11,1	4,15	6,52	20,68	13,86	5,86	7,89	20,36	14,15	5,15
pH	5,92	7,43	6,65	0,64	6,2	7,43	6,62	0,67	6,5	7,49	6,72	0,61	6,09	7,56	6,9	0,6	6,27	7,54	7	0,53
Oxygène Dissous (mg/L)	4,56	5,42	4,91	0,38	5,53	6,55	5,53	0,75	4,56	6,51	5,33	0,83	4,83	6,51	5,50	0,76	3,93	4,9	4,43	0,41
Transparence (m)	0,62	1,47	1,065	0,35	0,62	1,3	1,07	0,32	0,52	1,83	1,18	0,53	0,5	1,82	1,25	0,56	0,46	1,59	1,14	0,48
Nitrates (mg/L)	3,2	4,1	3,775	0,40	3,3	4	3,73	0,31	3	4,5	3,95	0,65	2,1	4,8	3,75	1,21	3,3	6,2	4,85	1,19
Nitrites (mg/L)	0,037	0,156	0,08	0,05	0,001	0,217	0,08	0,09	0,04	0,231	0,1	0,08	0,04	0,231	0,16	0,16	0,048	0,47	0,21	0,18
Ammonium (mg/L)	0,11	0,36	0,24	0,11	0,15	0,21	0,20	0,03	0,12	0,59	0,30	0,2	0,13	0,4	0,23	0,11	0,24	1,02	0,45	0,38
Orthophosphates (mg/L)	0,14	0,34	0,23	0,09	0,13	0,3	0,28	0,16	0,17	0,39	0,56	0,64	0,19	0,36	0,24	0,08	0,14	0,3	0,24	0,07
Silice (mg/L)	0,25	8,1	4,13	4,07	0,24	4,45	3,43	3,75	0,17	7,88	3,78	3,87	0,095	8,15	3,97	4,1	0,11	7,12	3,13	3,54

Min = Minimale, Max = Maximale, Moy = Moyenne, E.C. = Ecart type, GM = Grand Moulin, CIM = Cimenterie, PP = Port de pêche, TC = Terminal à conteneurs, ZBW = Zimbabwe

Comprises entre (2,1 et 6,2 mg /L) et la silice (valeurs comprises entre 0,095 mg /L et 8,15 mg /L) dont les valeurs sont élevées, les valeurs des nitrites, ammonium et orthophosphates sont restées relativement faibles.

3-2. Analyse du peuplement phytoplanctonique

3-2-1. Composition du peuplement

Le peuplement phytoplanctonique de la zone portuaire d'Abidjan comprend 44 taxons répartis en 5 embranchements, 8 classes, 19 ordres, 21 familles et 26 genres. L'embranchement des Bacillariophyta présent à toutes les stations est le plus diversifié avec 22 taxons. Les embranchements qui suivent celui des Bacillariophyta est par ordre de décroissance les Dinophyta avec 13 taxons, les Euglenophyta et les Cyanoprocarvota avec 4 taxons chacun et enfin les Chlorophyta avec seulement 1 seule espèce (**Figure 2**). Les genres les mieux représentés sont celui des *Neoceratium* et *Chaetoceros* avec 5 taxons chacun. Les taxons les plus couramment rencontrés sont les Bacillariophyceae *Skeletonema costatum* et *Coscinodiscus asteromphalus*. Au niveau de la répartition spatiale des taxons, la plus grande richesse spécifique (21 taxons) a été observée à la station port de pêche. La station terminal à conteneurs a enregistré 19 taxons, la station cimenterie, 18 taxons, la station grand moulin, 16 taxons, et enfin la station Zimbabwe 12 taxons. Plus de la moitié des taxons sont d'origine marine avec un pourcentage de 59 %. Certains taxons potentiellement nocifs pour la faune aquatique ont été identifiés : il s'agit de la Cyanobactérie *Microcystis aeruginosa*, des Dinophyta : *Alexandrium* sp., *Protoperidinium oblongum*, *Prorocentrum compressum*, *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum sigmoides* et *Dinophysis caudata*.

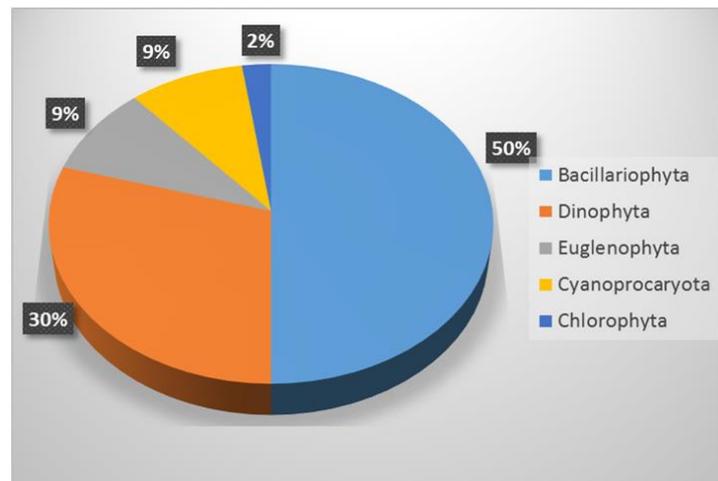


Figure 2 : Proportion des différents embranchements phytoplanctoniques

Les indices de similarité (**Tableau 2**) calculés entre les différentes stations sont particulièrement faibles. Les valeurs relativement élevées (comprises entre 0,3 et 0,42) ont été observées entre les stations Grand Moulin-Zimbabwe (0,3), Cimenterie-Port de pêche (0,34), Port de pêche- Terminal à conteneur (0,38), Terminal à conteneur- Zimbabwe (0,38) et enfin Cimenterie-Port de pêche (0,42). Les plus faibles valeurs oscillent entre 0,12 (Grand Moulin- Port de pêche) et 0,25 (Cimenterie-Zimbabwe).

Tableau 2 : Indices de similarité de Jaccard

Stations	GM-CIM	GM-PP	GM-TC	GM-ZBW	CIM-PP	CIM-TC	CIM-ZBW	PP-TC	PP-ZBW	TC-ZBW
Indices	0,18	0,12	0,22	0,3	0,345	0,42	0,25	0,38	0,22	0,38

GM = Grand Moulin, CIM = Cimenterie, PP = Port de pêche, TC = Terminal à conteneurs, ZBW = Zimbabwe.

3-2-2. Étude quantitative

L'analyse des densités phytoplanctoniques de la zone portuaire d'Abidjan a montré une forte prédominance des Bacillariophyta ($1\,590\,460.10^3$ cellules/L). Les abondances des autres embranchements sont apparues relativement faibles avec 104.10^5 cellules / L pour les Cyanoprocaryota, 528.10^4 cellules /L pour les Dinophyta, 64.10^4 cellules/L pour les Euglenophyta et 8.10^4 cellules/L pour les Chlorophyta. L'espèce *Skeletonema costatum* est responsable de l'effectif élevé au niveau des Bacillariophyta. Dans l'ensemble, au niveau spatial les stations terminal à conteneurs et Zimbabwe ont enregistré les abondances les plus élevées, respectivement avec un effectif de $6\,842.10^5$ cellules/L et $85.782.10^4$ cellules/L et les plus faibles aux stations Grand moulin, cimenterie et port de pêche. Concernant les variations saisonnières, les plus faibles valeurs ont été observées pendant la grande saison des pluies et les plus élevées pendant la petite saison des pluies. Des valeurs très élevées évoluant entre 554.10^4 cellules/L pendant la grande saison sèche et $66.686.10^4$ cellules/L pendant la petite saison des pluies ont été observées à la station terminal à conteneurs et entre 74.10^4 cellules/L pendant la grande saison des pluies et 85002.10^4 cellules/L pendant la petite saison des pluies à la station Zimbabwe (Figure 3). En dehors de la grande saison des pluies, de la petite saison sèche et de la petite saison des pluies où ont dominé les Bacillariophyta, les Cyanoprocaryota ont dominé pendant la grande saison des pluies et ont occupé une part importante pendant la petite saison sèche. L'espèce coloniale *Microcystis aeruginosa* est responsable de cette densité élevée des Cyanoprocaryota pendant la grande saison des pluies. A la station Zimbabwe, les Bacillariophyta ont dominé aux 2 grandes saisons et pendant la petite saison des pluies. Les Bacillariophyta et les Cyanoprocaryota ont prédominé pendant la petite saison sèche.

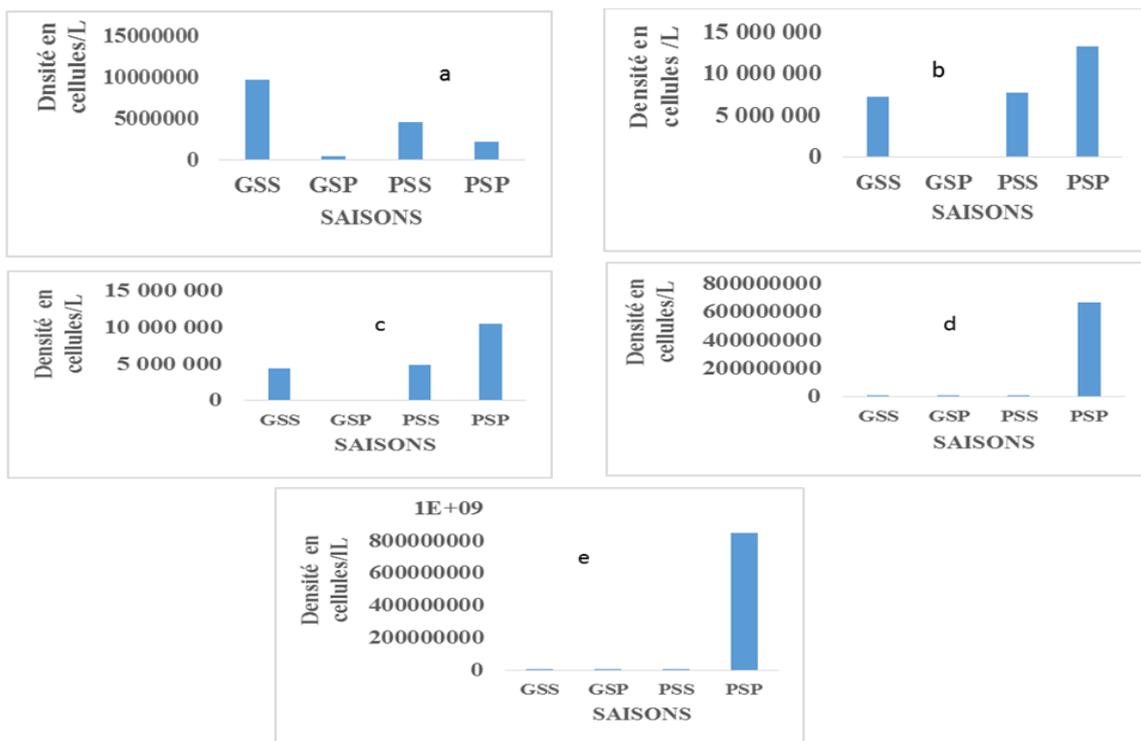


Figure 3 : Variations spatio-temporelles des densités aux différentes stations (a : station grand moulin, b : station cimenterie, c : station port de pêche, d : station terminal à conteneurs, e : station Zimbabwe)

3-3. Corrélations entre les variables environnementales et les abondances phytoplanctoniques

L'étude de la corrélation entre les paramètres environnementaux et les abondances phytoplanctoniques a été réalisée avec tous les paramètres physico chimiques et 10 taxons dont les densités sont supérieures ou égales à 2 %. Le **Tableau 3** présente ces taxons, leurs acronymes et leurs densités.

Tableau 3 : Acronymes et densité des taxons observés sur les différents sites d'échantillonnage

TAXONS	ACRONYMES	GM	CIM	PP	TC	ZBW
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	Coas	3,2 10 ⁵	1,46 10 ⁶	2,12 10 ⁶	5,6 10 ⁵	10 10 ³
<i>Coscinodiscus margaritatum</i>	Coma	3,6 10 ⁵	10 10 ⁴	4,4 10 ⁵	3,10 ⁵	6,10 ⁴
<i>Melosira moniliformis</i>	Memo	3,6 10 ⁵	0	1 10 ⁶	0	0
<i>Skeletonema costatum</i>	Skco	12,88 10 ⁶	18,66 10 ⁶	14,16 10 ⁶	673,56 10 ⁷	855,08 10 ⁷
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	Rhde	2,4 10 ⁶	0	0	0	0
<i>Neoceratium Furca</i>	Nefu	2 10 ⁴	1,38 10 ⁶	4,6 10 ⁵	1,8 10 ⁵	2 10 ⁴
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Miae	0	0	0	56 10 ⁵	0
<i>Oscillatoria princeps</i>	Ospr	0	0	0	14 10 ⁵	0
<i>Oscillatoria sp</i>	Ossp	0	0	0	12 10 ⁵	1 10 ⁶
<i>Lyngbya sp</i>	Lysp	0	12 10 ⁵	0	0	0

GM = Grand Moulin, CIM = Cimenterie, PP = Port de pêche, TC = Terminal à conteneurs, ZBW = Zimbabwe

Sur les 10 taxons étudiés, seulement 5 sont corrélés significativement aux variables environnementales (**Tableau 4**). Il s'agit de *Coas* (*Coscinodiscus asteromphalus*), *Coma* (*Coscinodiscus margaritatum*), *Skco* (*Skeletonema costatum*), *Memo* (*Melosira moniliformis*) et *Nefu* (*Neoceratium Furca*). L'espèce *Coas* est corrélée négativement à la conductivité, la salinité et à l'oxygène dissous. On note une corrélation négative entre l'espèce *Coma* (*Coscinodiscus margaritatum*) et la conductivité, la salinité, l'oxygène dissous, les nitrites et la silice. *Skco* (*Skeletonema costatum*) est corrélée positivement aux nitrites. Quant à l'espèce *Memo* (*Melosira moniliformis*), elle est corrélée négativement au pH. On note une corrélation positive de la transparence avec l'espèce *Nefu* (*Neoceratium Furca*) et négative avec la silice.

Tableau 4 : Corrélation de Spearman entre les variables environnementales et les taxons ayant les densités les plus élevées

ESPECES	PARAMETRES	r	p
Coas	Conductivité	-0,69	***
	Salinité	-0,67	***
	Oxygène Dissous	-0,46	**
Coma	Conductivité	-0,81	***
	Salinité	-0,8	***
	Oxygène Dissous	-0,5	*
	Nitrite	-0,71	***
	Silice	-0,49	*
Skco	Nitrites	0,57	**
Memo	pH	-0,46	*
Nefu	Transparence	0,7	**
	Phosphates	0,59	**
	Silice	-0,58	**

r = Coefficient de corrélation de Spearman ; p = probabilité ; * = corrélation significative ($p \leq 0,05$) ; ** = corrélation significative ($p \leq 0,001$) ; *** = corrélation significative ($p \leq 0,0001$)

4. Discussion

4-1. Paramètres physico-chimiques

Les températures mesurées sur l'ensemble des stations montrent que les eaux de la zone portuaire d'Abidjan sont relativement chaudes. Ces eaux relativement chaudes sont le fait du degré d'insolation élevé de façon générale dans les pays tropicaux [19]. La zone portuaire d'Abidjan est un milieu très ouvert (absence de végétation) recevant directement les rayons du soleil. Ces valeurs sont identiques à celles obtenues par [20] sur la lagune de Fresco dont les variations de températures oscillaient entre 25,7° et 31,5°C en 2007 et 25,5° et 31,4°C en 2008. La teneur en sel de la zone portuaire est plus élevée dans les stations (terminal à conteneurs et Zimbabwe) proches du canal de Vridi. Ces valeurs élevées s'expliqueraient par le fort contact de ces stations avec la mer par le biais de l'ouverture de ce canal. Les apports de la marée et l'ensoleillement conduisant à l'évaporation des eaux, augmentent la salinité des eaux lagunaires [21]. Ces variations de salinité montrent que les eaux lagunaires sont renouvelées. La salinité apparaît comme un bon indicateur du degré d'échange avec la mer et de la dynamique de circulation des eaux. Ainsi, la salinité des eaux évolue proportionnellement à la prédominance des eaux marines dans le domaine lagunaire. Les conductivités les plus élevées ont été mesurées également aux environs des stations proches du canal de Vridi. Cela indique une minéralisation des eaux [22]. En effet, à proximité de ces stations, le secteur est sous influence marine (l'eau de mer à une forte conductivité) et les échanges ou le contact entre les eaux lagunaires et celles de la mer, accroissent la conductivité. Les eaux deviennent fortement minéralisées. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du canal, la conductivité baisse. Le pH est généralement acide au niveau de toutes les stations sauf au niveau de la station Zimbabwe où il oscille vers une légère basicité. En effet, la plupart de ces stations sont soumises aux activités industrielles situées aux abords de la zone portuaire surtout les usines de cimenterie qui déversent leur matériau de production de ciment juste en bordure de la lagune. Les eaux de la zone portuaire reçoivent directement ces produits chimiques entraînant une acidité du milieu.

Quant à la station de Zimbabwe, elle fait partie de la zone d'extension du port qui n'est pas encore fortement exploité comme les autres sites et ne subit pas l'influence de ces unités industrielles. Cela pourrait expliquer les valeurs de pH élevées au niveau de cette station. Les travaux de [23] ont également montré des eaux acides par endroit au niveau de la lagune Aby. Les valeurs de l'oxygène dissous de la zone portuaire, indiquent que les eaux sont bien oxygénées. Elles sont du même ordre de grandeur que les valeurs observées dans le système lagunaire de Lomé avec une moyenne de 5,03 mg/L [24]. Les valeurs élevées pendant la grande saison des pluies, pourraient s'expliquer par une faible consommation de l'oxygène par les micro-organismes et le zooplancton. Quant aux faibles valeurs observées, cela pourrait être inhérent à la décomposition de la matière organique qui nécessite une forte consommation d'oxygène entraînant donc une baisse du taux d'oxygène dissous. De façon générale, les valeurs de la transparence paraissent élevées (jusqu'à 1,83 m à la station port de pêche) pendant toutes les saisons sauf pendant la grande saison des pluies où de faibles valeurs ont été observées. Ces faibles valeurs observées pourraient être liées aux apports terrigènes dus aux eaux de ruissellement pendant les saisons pluvieuses. Les pluies provoquent, un lessivage important de la zone urbaine, ce qui constitue une source importante de minéraux et de particules solides en suspension. D'autre part, les crues, ont une influence variable sur les différents secteurs de la zone d'étude. Les crues des rivières du domaine guinéen amènent en lagune des eaux ayant traversé les terres du sud de la Côte d'Ivoire, majoritairement occupées par des forêts, mais également par de vastes zones de cultures et de sols nus. Les apports terrigènes et les nutriments provenant des fertilisants sont importants. La crue du fleuve Comoé affecte la partie Est de la lagune. Elle balaye toute la zone comprise entre Grand-Bassam et le canal de Vridi, puisque cette partie de la lagune constitue le

prolongement du fleuve [25]. Au niveau des sels nutritifs, des valeurs élevées des nitrates et des silices ont été observées, contrairement aux ammoniums, nitrites et orthophosphates dont les valeurs sont relativement faibles. La présence de ces sels pourrait s'expliquer par les activités anthropiques qui bordent le port, les produits utilisés pour le ménage et ceux provenant des bateaux. L'ensemble des formes particulières, dissoutes minérales et organiques, de ces sels sont après dissolution et minéralisation utilisables pour le phytoplancton. Pour ce qui concerne les ions ammonium, les faibles teneurs pourraient s'expliquer par deux phénomènes. Il s'agit d'une part de la transformation des ions ammonium en nitrates en présence d'oxygène, et d'autre part, du phénomène d'absorption. En effet, en milieu aquatique, lorsque les algues disposent simultanément d'ammonium et de nitrates, elles absorbent préférentiellement l'ammonium. Selon [26, 27] dans un milieu bien oxygéné, l'ammonium est rapidement utilisé et sa concentration est faible. Pour ce qui concerne les orthophosphates, les faibles valeurs pourraient être le fait d'une assimilation rapide par les bactéries et le phytoplancton. C'est la forme la plus importante de phosphore minéral, la seule soluble à être directement utilisée par les organismes aquatiques [28].

4-2. Distribution du phytoplancton

L'étude de la flore algale de la zone portuaire d'Abidjan a permis de répertorier un effectif de 44 taxons qui est très faible par rapport autres travaux effectués sur cette lagune. Il s'agit des travaux de [23, 29] qui ont récolté respectivement 138 et 122 taxons. Cette faible richesse taxonomique pourrait s'expliquer par l'importance des activités anthropiques dans la zone portuaire. Il a été constaté la présence de plusieurs usines dans la zone, les usines de cimenterie par exemple déverse leur matériau de fabrication de ciment en bordure de la lagune sans aucune protection, le port de pêche avec les bateaux ayant accosté, on rencontre en surface de l'eau toute une couche de diesel et une coloration noirâtre empêchant le développement de certains taxons à faible adaptation de s'y reproduire. De plus, les travaux de ces auteurs suscités se sont déroulés sur différents sites de la lagune Ebrié contrairement à ce travail qui a été restreint à la zone portuaire. Concernant la composition algale, le nombre de taxons les plus élevés appartiennent à l'embranchement des Bacillariophyta (50 %). Les études de [23, 29, 30] et, menées sur les lagunes ivoiriennes ont montré aussi une prédominance des Bacillariophyta. Il en est de même pour les études effectuées par [31 - 34] respectivement dans une lagune à Lagos et la lagune Imboassica au Brésil où les Bacillariophyta ont également prédominé. Cette étude a révélé une forte présence de taxons marins. Cette présence s'explique par le fait que la zone portuaire connaît un fort trafic de bateaux provenant du milieu marin pouvant entraîner un déplacement de ces taxons dans le milieu lagunaire. L'ouverture du canal de Vridi favorise aussi cette abondance de taxons marins. Cependant la présence des espèces d'eau douce pourrait être le fait des eaux continentales qui enrichissent la lagune pendant les périodes de saisons pluvieuses. La présence des Bacillariophyta à toutes les stations est due au fait que les Bacillariophyta possèdent des structures spécialisées qui leur permettent de coloniser efficacement et rapidement les milieux [35]. De plus, au niveau de ce groupe, la potentielle présence d'épines siliceuses ou chitineuses ainsi que la grande variété de formes 3D du frustule serait le résultat d'un processus évolutif visant notamment à réduire les pressions de prédation. Cette protection physique, permet le maintien et développement de ces micro-algues d'où leur présence massive dans les milieux aquatiques [36]. Les valeurs des indices de similarité sont faibles et sont restées inférieures à 0,5. On a donc une hétérogénéité du peuplement algal. En effet, le choix des sites d'échantillonnages s'est fait sur la base des différentes activités anthropiques qui diffèrent d'un site à l'autre, activités générant des effluents différents pouvant agir sur le développement des différents taxons algaux. L'étude quantitative de la zone portuaire d'Abidjan a montré des densités très élevées aux stations terminal à conteneurs et Zimbabwe. Cette densité élevée n'est pas due à un grand nombre de taxons, mais plutôt à l'espèce filamenteuse *Skeletonema costatum* provoquant un véritable bloom dont les densités ont atteint plusieurs millions de cellules/L. Contrairement

à ces deux stations suscitées, les densités des stations Grand moulin, cimenterie et port de pêche sont restées relativement faibles malgré la présence de cette espèce *Skeletonema costatum*. Il faut noter que les eaux de ces 3 zones connaissent plus une instabilité à cause du trafic élevé des bateaux contrairement aux stations terminal à conteneurs et Zimbabwe qui connaissent une certaine stabilité favorisant la multiplication des microalgues. Les faibles valeurs de la densité observées pendant la grande saison des pluies pourraient être attribuables à une forte turbidité du milieu causée par les apports terrigènes issus des apports d'eaux continentales. La forte densité observée en fin de petite saison pluvieuse, pourrait être due à la décomposition de la matière organique charriée par les eaux de pluies qui enrichit le milieu en nutriment car leur disponibilité constitue l'un des principaux facteurs qui contrôlent la croissance et la biomasse du phytoplancton [37]. La variation saisonnière de l'abondance pourrait être attribuée au changement des conditions environnementales tout au long de l'année qui peut affecter le recrutement, la survie et la reproduction du phytoplancton comme le montrent [38, 39]. Les Bacillariophyta présentent le groupe à forte densité phytoplanctonique. Ces résultats corroborent ceux de [30] mais sont contraires à ceux de [20, 23] dont les densités élevées appartiennent au groupe des Cyanoprocaryota. Les taxons potentiellement toxiques rencontrés dans ce milieu ne constituent pas pour le moment un danger car leurs densités restent relativement faibles.

4-3. Influence des paramètres environnementaux sur le peuplement algal

Sur les 10 taxons seulement 5 sont corrélés significativement aux variables environnementales. Il s'agit de *Coas*, *Coma*, *Skco*, *Memo* et *Nefu*. L'espèce *Coas* est corrélée négativement à la conductivité, la salinité et à l'oxygène dissous. On note une corrélation négative entre *Coma* et la conductivité, la salinité, l'oxygène dissous, les nitrites et la silice. *Skco* est corrélée positivement aux nitrites. Quant à l'espèce *Memo*, elle est corrélée négativement au pH. L'espèce *Nefu* est corrélée positivement à la transparence et négativement à la silice. D'après [40], l'étude des variables environnementales d'un biotope et des espèces qui le colonisent permet de déterminer les relations entre les facteurs du milieu et les individus, et d'identifier les facteurs écologiques qui conviennent à chaque espèce. Cependant, plusieurs études, notamment celle de [41] montrent que chaque espèce phytoplanctonique a ses propres conditions optimales de croissance et leur densité est principalement due à l'adaptation des divers organismes face aux paramètres physico-chimiques du milieu. Dans notre étude, en dehors de la température, des nitrates et ammoniums, les taxons étudiés sont sous l'influence des paramètres tels que la conductivité, la salinité, l'oxygène dissous, la transparence, les nitrites, les silices et les orthophosphates. Certains [42, 43] ayant travaillé sur la distribution spatio-temporelle des microalgues ont montré que plusieurs facteurs, souvent interactifs, influencent la répartition des algues dans les eaux. Parmi ces facteurs, la vitesse du courant et les apports en éléments nutritifs apparaissent les plus importants. Il a toujours été démontré que bien que d'autres facteurs tels que la lumière, la salinité, la turbulence et la stratification thermique interviennent dans la régulation de la composition de la biomasse phytoplanctonique [44], la disponibilité des sels nutritifs serait le principal élément qui influence la floraison des microalgues [43]. En effet, selon [45, 46], La disponibilité des éléments nutritifs dans les eaux telles que l'azote ou le phosphore sont les facteurs qui déterminent l'abondance de la croissance du phytoplancton et/ou la productivité primaire. Ces auteurs suggèrent que le phosphore et l'azote sont les nutriments limitants pour le phytoplancton affectent les différentes caractéristiques de la communauté phytoplanctonique dans différents plans d'eau. Cependant [47] considère la lumière, la salinité, la turbulence et la stratification thermique comme des facteurs qui interviennent dans la régulation de la composition de la biomasse phytoplanctonique

5. Conclusion

Cette étude relative à la communauté microalgue de la zone portuaire a permis de recenser 44 taxons répartis en 5 grands groupes que sont les Bacillariophyta, les Dinophyta, les Euglenophyta, les Cyanoprocaryota et les Chlorophyta dominés en grande partie par les Bacillariophyta. L'espèce *Microcystis aeruginosa* réputé pour son caractère toxique pourrait constituer une menace pour les eaux du port d'Abidjan. Cependant sa densité demeure faible pour constituer un danger pour ce milieu. Des densités très élevées aux stations terminal à conteneurs et Zimbabwe ont été observées pendant la petite saison des pluies. Les densités de l'espèce *Skeletonema costatum* responsable de ces fortes densités pourraient créer une eutrophisation du milieu car elle s'est multipliée de façon excessive atteignant plusieurs millions de cellules. L'étude de la corrélation des variables environnementales sur la communauté phytoplanctonique des eaux de la zone portuaire d'Abidjan a montré que les taxons n'étaient pas sous l'influence de tous les paramètres étudiés. Les nitrites, les orthophosphates et la silice sont les principaux sels nutritifs responsables de la floraison de ces taxons. La conductivité, la salinité, l'oxygène dissous et la transparence ont également joué un rôle important dans le développement des microalgues.

Références

- [1] - Rapport d'activités Port Autonome d'Abidjan (PAA), (2019) 48 p.
- [2] - K. M. YAO, B. S. MÉTONGO, A. TROKOUREY et Y. BOKRA, *International Journal of Biological and Chemical Science*, 3 (4) (2009) 755 - 770
- [3] - A. DIARRA et N. H. J. KABLAN, *Revue de Géographie Tropicale et d'environnement*, 1 (2014) 19 - 28
- [4] - K. N. KEUMAN, A. TRAORE, K. E. AHOUSI, P. J. O. DJADJE, S. B. BAMBA, *European Scientific Journal*, Vol. 16, (2020) 378 - 392
- [5] - J. MALAVOI et Y. SOUCHON, *Revue des Sciences de l'eau*, 5 (2) (1992) 247 - 261
- [6] - S. PAUL, T. WOOLDRIDGE, R. PERISSINOTTO, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 170 (2016) 102 - 111
- [7] - A. E. ALPROL, A. M. HENEASH, A. M. SOLIMAN, M. ASHOUR, W. F. ALSANIE, A. GABER et A. T. MANSOUR, *Diversity*, 13 (6) (2021) 268 p.
- [8] - R. A. EL-SHENODY, M. ASHOUR, M. M. E. GHOBARA et M. M. E. BRAZ, *J. Food Technol.*, (2019) 22 p.
- [9] - M. E. ELSHOBARY, R. A. EL-SHENODY, M. ASHOUR, H. M. ZABED et X. QI, *Food Biosci.*, 35 (5) (2020) 100567
- [10] - P. BOURRELLY, *Bull. I.F.A.N. série. A*, 23 (2) (1961) 283 - 374
- [11] - P. COMPERE, "Algues de la région du lac Tchad. V- Chlorophycophytes (1^{ère} partie)". *Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Hydrobiol.*, 10 (2) (1976) 77 - 118
- [12] - A. ILTIS, "Les Algues" /n : Durand J.R. et Lévêque C. (Eds). "Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-soudanienne." Tome I. Éditions O.R.S.T.O.M. Collection Initiation- Documents Techniques, N°44 (1980) 9 - 61 p.
- [13] - J. KOMAREK et K. ANAGNOSTIDIS, "Cyanoprocaryota. 1. Teil : Chroococcales." /n: Ettl H., Gärtner G., Heynig H. et Mollenhauer D. (eds.) : "Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1", (1999) 548 p.
- [14] - J. KOMAREK et K. ANAGNOSTIDIS, "Cyanoprocaryota.-2. Teil/ 2nd part : Oscillatoriales." /n : Büdel B., Gärtner G., Krienitz L. et Schagerl M. (eds.) : " Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2", Elsevier, Heidelberg, (2005) 759 p.
- [15] - B. MARIN, A. PALM, M. KLINGBERG et M. MELKONIAN, *Protist.*, 154 (2003) 99 - 145
- [16] - M. G. SOPHIA, I. C. A. DIAS et A. M. ARAÚJO, *Iheringia, Série Botanique*, 60 (1) (2005) 25 - 47

- [17] - H. UTERMÖHL, *Mitt. Intern. Ver. Limnol*, 9 (1985) 1 - 38
- [18] - J. SCHAEFFER, F. GIDO et M. SMITH, *Ecological Applications*, 15 (5) (2005) 1761 - 1771
- [19] - E. M. AMANI, A. V. WOGNIN, T. E. WANGO, S. MONDE et K. AKA, "Bioterre" Eds Universitaires de Côte d'Ivoire, *Rev. Inter. Sci de la terre*, Vol. 13, (2013) 21 - 42
- [20] - E. S. KONAN, "Distribution spatio-temporelle du peuplement phytoplanctonique en relation avec les facteurs abiotiques de la lagune de Fresco (Côte d'Ivoire)", Thèse unique, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2014) 197 p.
- [21] - A. CHAOUTI, A. BAYED, *Revue des Sciences de l'Eau* 18 (Hors-série), (2005) 181 - 197
- [22] - 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.
- [23] - N. M. SEU-ANOÏ, "Structuration spatiale et saisonnière des peuplements phytoplanctoniques et variabilité des facteurs abiotiques dans trois complexes lagunaires de Côte-d'Ivoire (Aby, Ebrié et Grand-Lahou)." Thèse de doctorat de l'Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire), (2012) 137 p.
- [24] - A. MASSABALO, G. MALGORZATA, T. LALLEBILA, M. B. LIMAN, B. HUBERT, D-B GBANDI, *European Scientific Journal*, Vol. 11, (2015) 95 - 119 p.
- [25] - A. M. KOUASSI, A. S. TIDOU et A. KAMENAN, "Caractéristiques hydrochimiques et microbiologiques des eaux de la lagune Ebrié, (Cote D'ivoire). Partie I : Variabilité saisonnière des paramètres hydrochimiques." *Agronomie Africaine*, 17 (2) (2005) 117 - 136
- [26] - S. HEBERT et S. LEGARE, "Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau". Québec, Canada : Ministère de l'Environnement, (2000) 24 p.
- [27] - K. R. LALEYE, H. AGADJIHOUEDE, D. LEDEROUN, T. A. HOUELOME, A. CHIKOU, A. P. LALEYE, *Soc. Environ.*, 26 (2) (2022) 121 - 135 p.
- [28] - N. VAN DEN BROCK et T. MOUTIN, *Hyd.*, 472 (2002) 85 - 94
- [29] - D. MAURER, "Phytoplancton et pollution. Lagune Ebrié (Abidjan). Secteur de Cortiou (Marseille)." Thèse 3^{ème} Cycle, Aix-Marseille II, (1978) 121 p. (multigr.)
- [30] - K. KOMOE, "Distribution du phytoplancton dans le complexe lagunaire de Grand-Lahou en Côte d'Ivoire." Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, (2010) 282 p.
- [31] - I. C. ONYEMAZEA et D. I. NWANKWO, *Journal of American Science*, 5 (1) (2010) 44 - 48
- [32] - P. C. ONUOHA, D. I. NWANKWO et W. VYVERMAN, *Journal of American Science*, 6 (9) (2010) 297 - 302
- [33] - A. S. YAKUB, K. J. BALOGUN, G. E. AJANI, K.O. RENNER, A. A. ARIYO, B. O. BELLO, J. A. NKWOJI et J. K. IGBO, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5 (1) (2011) 150 - 163
- [34] - S. MELO, R. L. BOZELLI et F. ESTEVES, *Brasil. J. Biol.*, 67 (3) (2007) 475 - 483
- [35] - K. D. HOAGLAND, A. ZLOTSKY et C. G. PETERSON, "The source of algal colonizer on rock substrates in a freshwater impoundment." In Evans L.V. & Hoagland K.D. (eds.) : "Algal biofouling". Elsevier Science Publishing Company Inc., Amsterdam, (1986) 21 - 39 p.
- [36] - ADRIEN BUSSARD, "Capacités d'acclimatation des diatomées aux contraintes environnementales." Thèse pour obtenir le grade de Docteur du Muséum National d'Histoire Naturelle, Spécialité : Biologie et génétique des microalgues, (2015) 294 p.
- [37] - D. CARON, R. W. LIM EL SANDERS, M. R. DENNETT, U. G. BERNINGER, *Aquatic Microbial Ecology*, 22 (2000) 175 - 184
- [38] - N. KHALIFA et H. H. ABD EL-HADY, *World applied science*, 11 (9) (2010) 1035 - 1046 p.
- [39] - A. CATHERINE, M. SELMA, D. MOUILLOT, M. TROUSSELLIER, C. BERNARD, *Science of the Total Environment*, 559 (2016) 74 - 83 p.
- [40] - J. LEMOALLE, "La diversité des milieux aquatiques" In : Lévêque C. & Paugy D., (Éds). "Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme" Editions de l'I.R.D., Paris, (1999) 11 - 30 p.

- [41] - E. D. SCHULZE et M. M. CALDWELL, "Ecophysiology of Photosynthesis." *Springer Verlag, Berlin*, (1995) 576 p.
- [42] - C. S. REYNOLDS, "Potamoplancton : Paradigms, paradoxes and prognoses." *In: Round, F. E. (Ed.) : "Algae and the Aquatic Environment." Biopress, Bristol*, (1989) 285 - 311 p.
- [43] - E. ANGELIER, "Écologie des eaux courantes." Édition Technique et Documentation, Paris, (2000) 199 p.
- [44] - M. LLOPE, K. S. CHAN, L. CIANNELL, P. C. REID, L. C. STIGE et N. C. STENSETH, *Limnology and Oceanography*, 54 (2009) 512 - 524
- [45] - J. CAO, Z. HOU, Z. LI, Z. CHU, P. YANG, B. ZHENG, *Sci. Total Environ.*, (2018) 631 - 632
- [46] - Y. DING, B. PAN, X. ZHAO, G. ZHAO, X. HAN, M. LI, *Sci. Total Environ.*, (2022) 837 - 155863
- [47] - R. PILKAYTIT et A. RAZINKOVAS, *Hydrobiologia*, 555 (2006) 41 - 48