

Distribution spatio-saisonnière des cyanobactéries le long du cours d'eaux, la Lobo Haut Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire)

N. Grogas^{1*}, T.N. Akedrin¹, K. Komoé¹, K. Thiegbas¹, D.S. Akaffou¹ & A. Ouattara²

Keywords: Phytoplankton- Cyanobacteria- Algae Blue-green- Lobo River- Ivory Coast

Résumé

Des peuplements de cyanobactéries ont été étudiés par la réalisation de relevés *in situ* le long de la rivière Lobo, source d'approvisionnement d'eau potable des 261.789 habitants de la ville de Daloa en Côte d'Ivoire. Ce milieu se caractérise par une profondeur moyenne de 5 m et une température moyenne de 30°C. Cette rivière est en majorité influencée par les activités anthropiques qui favorisent la croissance des végétaux aquatiques par son enrichissement en nutriments tel que le nitrate (NO_3^-) dont la concentration varie entre 0 et 1,54 mg. l⁻¹ et le phosphate (PO_4^{3-}) dont la concentration varie entre 0,001 et 0,71 mg.l⁻¹. Les analyses des paramètres biologiques réalisées au niveau de six stations de septembre 2013 à juin 2014 ont permis d'identifier 13 taxons de cyanobactéries avec une dominance des genres *Oscillatoria* sp. (Ossp) et *Pseudanabaena* sp. (Pssp) représentant chacun 11%. Très peu de différences ont été observées entre les populations de cyanobactéries de chaque station. On a observé par contre une plus forte prolifération de celles-ci en saison sèche. L'espèce *Aphanocapsa* sp. (Apsp) présentait une densité maximale de 24.10³ cellules ml⁻¹ au niveau de la station St5 en saison sèche alors qu'en saison pluvieuse elle n'était que de 5.10³ cellules ml⁻¹ au même endroit.

Summary

Spatio-seasonal Distribution of the Cyanobacteria along the River Stream, Lobo Haut Sassandra (Daloa, Ivory Coast Ivory Coast)

Cyanobacteria populations were studied through *in situ* records along the Lobo River, source of drinking water supply for the 261,789 inhabitants of the city of Daloa in Ivory Coast. This environment is characterized by an average depth of 5 m and an average temperature of 30°C. This river is mostly influenced by human activities that favour the growth of aquatic plants by enrichment in nutrients. The nitrate concentration varies between 0 and 1.54 mg.l⁻¹ (NO_3^-) and phosphate concentration ranged from 0.001 to 0.71 mg.l⁻¹ (PO_4^{3-}). The analyzes of biological parameters carried out in six stations between September 2013 and June 2014 identified 13 taxa of cyanobacteria with a dominance of *Oscillatoria* sp. (OSSP) and *Pseudanabaena* sp. (PSSP) genera each representing 11%. Very little difference was observed between the cyanobacterial populations of each station. They proliferated more in the dry season than in the rainy season. The species *Aphanocapsa* sp. (APSP) presented a maximal density of 24.10³ cells. ml⁻¹ on St5 station in dry season whereas in the rainy season it was only 5.10³ cells ml⁻¹ at the same location.

¹Université Jean Lorougn Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

²Université de Nangui Abrogoua, U.F.R. S.G.E, Abidjan, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant: email: grogas7@yahoo.fr

Introduction

De nombreuses populations sont attirées par des sources d'eaux continentales et se concentrent autour d'elles pour leurs activités. Ces populations en retour doivent veiller à leurs gestions. Face à l'explosion démographique actuelle, l'on se rend compte que les ressources en eau douce sont épuisables, et que les activités humaines représentent l'une des causes majeures du stress des écosystèmes aquatiques (8, 32, 35).

La dégradation des sources d'eau découle essentiellement des pollutions ponctuelles et diffuses et de la modification des caractéristiques physico-chimiques des points d'eau (23).

Certaines efflorescences algales ont de nombreuses conséquences sanitaires, écologiques et économiques. Le phytoplancton est constitué de l'ensemble des micro-organismes végétaux en suspension dans l'eau, capables d'élaborer par photosynthèse leurs propres substances organiques, à partir de l'énergie solaire, de l'eau, du CO₂ et des sels nutritifs (14). Certaines espèces produisent des substances hydrosolubles potentiellement toxiques (22, 24). Le rôle joué par le phytoplancton dans le fonctionnement des écosystèmes lacustres et la prolifération ou blooms à cyanobactéries représentent une menace pour tous les organismes. Les cyanobactéries perturbent l'équilibre écologique des milieux aquatiques et les détériorent. De plus, elles peuvent affecter les activités touristiques et socioéconomiques. Ces toxines sont hépatotoxiques, neurotoxiques, dermatotoxiques, cytotoxiques, inflammatoires et irritantes (26). Ainsi, les intoxications accidentelles liées à la contamination des eaux représentent un risque sanitaire. En Chine, un taux élevé de mortalité humaine par cancer hépatocellulaire est induit à la consommation d'eau contenant des cyanotoxines.

Un épisode d'intoxication de chiens en 1989 a causé la mort de 15 chiens au centre de l'Angleterre, (19). En plus, en Afrique de l'Ouest, des études menées au Burkina Faso ont mis en évidence la présence des cyanobactéries dans des sources d'eau potable (5). C'est en cela qu'une vigilance et une étude minutieuse s'imposent pour la qualité d'eau de la rivière Lobo. L'intensification des activités agricoles, l'urbanisation galopante sur le bassin versant de la Lobo sont des facteurs favorables aux phénomènes d'érosion et d'apports en éléments nutritifs. Ces phénomènes influencent négativement non seulement la qualité écologique de l'hydrosystème mais aussi les communautés biologiques en particulier les algues planctoniques et benthiques. Or, la compréhension de la dynamique de tout milieu alluvial réside dans les interactions entre l'écoulement et la morphologie du réservoir. Des différences significatives ont aussi été notées entre les caractéristiques chimiques et physiques des différents types.

Il y a peu d'études sur les cyanobactéries en Afrique (30) dont en Côte D'Ivoire (10) en culture, bien que les effets sont néfastes pour l'homme, l'animal et le végétal. Cette étude vise à recenser les genres de Cyanobactéries peuplant la rivière Lobo et à déterminer leur distribution spatiale-temporelle.

Materiel et méthodes

Matériel

Milieus d'études

Le milieu d'étude, la rivière Lobo est un affluent du fleuve Sassandra. Son bassin hydrographique est situé en Afrique de l'Ouest, au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, à 25 km de Daloa (région du haut Sassandra) entre 6°2 et 7°55 de Longitude Ouest et 6° et 6°55 de Latitude Nord (7). Elle prend sa source dans la région de Séguéla, drainant une superficie de 12 745 km² et parcourt 355 km avec un périmètre de 530 km. Le relief du bassin, peu contrasté et peu varié est dominé par les plateaux de 200 m à 400 m d'altitude, (4). Ces stations sont définies en fonction de leur accessibilité (Figure 1) (36). Un navigateur GPS de type GARMIN 76 a servi à la localisation des stations d'échantillonnage. Un turbidimètre de type WTW, de modèle COND 340i a permis de déterminer de la turbidité. Pour mesurer l'oxygène dissous un oxymètre type WTW, de modèle OXY 340i a été utilisé. Un disque de Secchi a servi à la mesure de la transparence. La sonde multi-paramètre HACH HQ 4d a permis de déterminer TDS (taux de solides dissous), le pH et la température du milieu. Le dosage des sels (Nitrate (mg/l), Silice (mg/l), Ammonium (mg/l), Phosphate (mg/l)). a été effectué à l'aide d'un spectrophotomètre. Les échantillons ont été collectés selon la saison (petite saison de pluie; grande saison de pluie; petite saison sèche; grande saison sèche) à compter de Septembre 2013 à Juin 2014 sur six (6) stations de prélèvement.

Méthodes

Techniques de prélèvement

Les échantillons ont été récoltés à l'aide d'un filet à plancton de 20 µm de vide de maille et fixés au formol du commerce à la concentration finale de 5 (%). Les culots obtenus dans les piluliers de 40 ml au bout de quelques jours sont observés entre lame et lamelle à l'aide d'un microscope optique de type Olympus équipé d'un appareil photographique numérique. Les nitrates et le phosphore ont été déterminés au laboratoire par photométrie. Les pastilles réactives correspondant à chaque paramètre ont été utilisées en suivant la procédure donnée par le fabricant. Les échantillons étaient prélevés à une profondeur de -50 centimètres à l'aide d'un seau à bec de 5 litres et ensuite filtrés au filet à plancton.

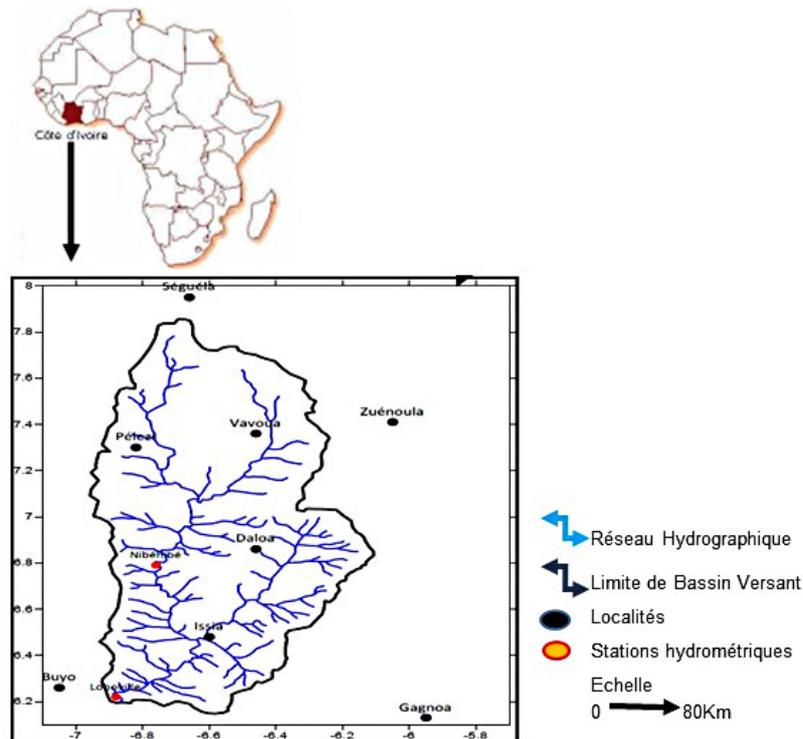


Figure 1: Localisation du bassin versant de la Lobo (50).

Identification et dénombrement

L'identification a été faite par observation entre lame et lamelle au microscope photonique suivant les clefs morphologiques des cyanobactéries (11, 12). Un contrôle de qualité des milieux a été réalisé par l'ensemencement d'eau distillée stérile en guise de milieu témoin. La croissance des cyanobactéries est appréciée par la numération des souches en culture. La cellule de Malassez (1 μ l de capacité) a été utilisée pour le dénombrement des cellules (3, 21).

Traitements statistiques

Une analyse en Composantes Principales (ACP) a été utilisée pour ordonner les stations en fonction des paramètres abiotiques. L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été appliquée à la composition du peuplement afin de regrouper les stations d'échantillonnage en fonction de leurs similarités floristiques. Ces analyses ont été effectuées avec le logiciel R version 2.0.1, (16) muni du package ADE 4, (33). Le test de Kruskal-Wallis a permis de tester la variabilité spatio-temporelle des genres Cyanobactéries entre les différentes stations.

Résultats

Analyse des paramètres physico-chimiques

Profondeur

La profondeur la plus importante s'observe à la station 2 avec 7 m de profondeur et la plus faible a été obtenue à la station 6 avec 2,8 m (Tableau 1).

Température

La température la plus élevée est relevée à la station 3 pendant la petite saison sèche et elle est de 33,4 °C. La température la plus faible, de 28,8°C est relevée à la station 2 en grande saison pluvieuse.

Turbidité

La turbidité la plus élevée est de 32,6 NUT et est observée pendant la petite saison sèche dans la station 3. Cependant, la plus petite valeur de turbidité est observée pendant la grande saison de pluie dans la station 1 et elle est de 1,24 NUT.

Couleur

La couleur la plus sombre est observée pendant la petite saison sèche à la station st3 et elle de 192 mg L⁻¹. (Tableau 2).

Tableau 1
Profondeurs moyenne de
la rivière Lobo selon les
saisons.

SITES	Profondeur en (m)	
	Saison Plu- vieuse	Saison sèche
Station 1	6	4,2
Station 2	7	4,6
Station 3	5	3,8
Station 4	5,5	4,1
Station 5	6,5	3,6
Station 6	4,6	2,8

Tableau 2
Principales caractéristiques physiques et chimiques mesurées dans les 6 stations d'échantillonnages.

Paramètres	ST1				ST 2				ST 3			
	Min	Max	Moy	Ecart type	Min	Max	Moy	Ecart type	Min	Max	Moy	Ecart type
pH	6,54	6,9	6,676	0,151	7	7,98	7,364	0,42	7,56	8,64	8,054	0,4234
Température (°C)	29,4	30,2	29,78	0,322	28,8	32,4	30,6	1,42	29,1	33,4	30,88	1,6367
Turbidité (NTU)	1,24	21,8	8,48	8,519	2,28	26,2	10,37	9,854	3,1	32,6	12,72	11,928
Couleur (mgPtCo/l)	18,5	164	74,68	65,24	23,4	175	79,42	66,71	24,15	192	84,52	72,94
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	76,2	128	94,2	21,91	85,1	131,9	103	20,65	89,4	146	110,2	24,332
Oxygène dissous ($\text{mgO}_2 \text{L}^{-1}$)	3,61	6,82	4,992	1,302	5,54	7,52	6,19	0,79	6,21	7,99	7,05	0,6923
Nitrate ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NO_3)	0,001	0,72	0,249	0,309	0	0,89	0,302	0,381	0,002	1,54	0,455	0,6395
Nitrite ($\mu\text{g} \text{L}^{-1} \text{NO}_2$)	0,0001	0,01	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	5,00E-04	0,0001	0,004	1,00E-03	0,0017
Phosphate ($\mu\text{g} \text{L}^{-1}$ PO_4)	0,012	0,03	0,02	0,007	0,013	0,1	0,05	0,034	0,01	0,14	0,05	0,0528
Ammonium ($\mu\text{g} \text{L}^{-1}$ $^1\text{NH}_4$)	0,0004	0,01	0,003	0,004	0,001	0,001	0,001	0	0,0001	0,004	0,002	0,0016
Paramètres	ST 4				ST 5				ST 6			
	Min	Max	Moy	Ecart type	Min	Max	Moy	Ecart type	Min	Max	Moy	Ecart type
pH	6,24	7,35	6,708	0,4227	7,09	8,64	7,426	0,667	7,64	8,24	7,92	0,25
Température (°C)	29,4	31,2	29,94	0,7242	29,1	31,8	30,62	1,133	29,9	33,1	31,1	1,37
Turbidité (NTU)	3,25	23,6	11,65	7,7316	1,84	24	11,96	8,579	2,54	27,2	13,8	9,5
Couleur (mgPtCo/l)	18,2	152	78,98	53,931	22,5	186	97,88	65,08	16,8	176	89,2	63,8
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	105,4	131,5	113,8	10,304	90,9	134,4	107,5	17,16	78,9	143,2	105	27
Oxygène dissous ($\text{mg} \text{L}^{-1} \text{O}_2$)	3,6	6,3	4,822	1,1196	4,87	7,7	5,776	1,104	4,69	8,1	6,22	1,34
Nitrate ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{NO}_3$)	0,001	1,22	0,313	0,51	0	1,08	0,312	0,449	0,001	0,72	0,25	0,31
Nitrite ($\mu\text{g} \text{L}^{-1} \text{NO}_2$)	2,00E-04	0,01	0,003	0,0043	0,001	0,011	0,004	0,004	0,001	0,01	0	0
Phosphate ($\mu\text{g} \text{L}^{-1}$ PO_4)	0,02	0,521	0,146	0,2085	0,0375	0,625	0,173	0,249	0,001	0,71	0,15	0,31
Ammonium ($\mu\text{g} \text{L}^{-1}$ NH_4)	0,001	0,002	0,001	0,0004	0,0001	0,001	0,001	0,0004	0,0003	0,11	0,03	0,05

pH

Le pH le plus élevé (basique) est de 8,64 à la station 5 pendant la petite saison pluvieuse. Le pH le plus bas (acide) est observé à la grande saison sèche avec une forte température, (station 4) et est de 6,24. (Tableau 2).

Conductivité

La station 3, est la station où la conductivité est la plus élevée avec 146 uS/cm en petite saison sèche, alors qu'en grande saison pluvieuse dans la station 1, elle est plus faible avec 76,2 uS/cm. (Tableau 2).

Oxygène dissous

L'oxygène dissous est maximal dans la station 6 pendant la petite saison pluvieuse et est de 8,1 mg L⁻¹. La plus petite concentration d'oxygène dissous est de 3,6 mg L⁻¹ et s'observe à la station 4 en grande saison pluvieuse mais aussi, pendant la petite saison sèche à la station 1 (Tableau 2).

Nitrate

La concentration des nitrates est plus élevée dans la station 3 pendant la petite saison sèche avec 1,54 mg L⁻¹ (NO₃⁻). Cette concentration est nulle dans la station 2 en petite saison pluvieuse puis la station 5 pendant la grande saison de pluie. La concentration des nitrates dans le milieu est plus élevée en saison sèche qu'en saison pluvieuse.

Nitrite

La concentration des nitrites est plus élevée à la station 5 pendant la grande saison pluvieuse et elle est de 0,011 mg L⁻¹ (NO₂⁻). Les stations (3 et 1) respectivement en petite et grande saison sèche, la concentration des nitrites est très faible avec 0,0001 mg L⁻¹(NO₂⁻). La concentration des nitrites dans le milieu est plus élevée en saison pluvieuse qu'en saison sèche.

Ammonium

La concentration en ion ammonium est plus élevée à la station 6 pendant la grande saison sèche et elle est de 0,112 mg L⁻¹(NH₄⁺). Cette concentration devient très faible dans les stations 3 et 5 respectivement pendant les petites saisons pluvieuses et sèches et elle est de 0,0001 mg L⁻¹(NH₄⁺).

Phosphate

La concentration en ortho-phosphate est plus élevée dans la station 6 pendant la petite saison sèche et elle est de 0,71 mg L⁻¹(PO₄³⁻). Cette concentration devient très faible à la station 6 pendant la petite saison pluvieuse et elle est de 0,01 mg L⁻¹(PO₄³⁻) inférieur à la limite de détection. (Tableau 2).

Rapport N/P

Nous observons un enrichissement en azote sur le site en saison sèche surtout en mars (N/P = 12,494). En saison pluvieuse, la station est plus riche en phosphore surtout en septembre (N/P = 0,44) (Tableau 3). $N/P = [N = (NO_2^- + NO_3^- + NH_4^+)] / [P = PO_4^{3-}]$.

Analyse des variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques

Les analyses statistiques montrent des variations significatives des paramètres physico-chimiques selon les tests effectués. Dans l'ensemble, hormis les nitrates, tous les autres paramètres varient significativement d'une saison à l'autre (test de Wilcoxon, P < 0,05).

En saison sèche, les paramètres les plus significatifs sont: la température, la turbidité, la conductivité, l'ammonium et le phosphate. Le pH, l'oxygène dissous et les nitrates sont très élevés en saison pluvieuse. Selon les stations, les paramètres de turbidité, de transparence, de pH, d'oxygène dissous, du pourcentage d'oxygène et les nitrates sont les seuls à être significatifs (test de Wilcoxon, P < 0,05). Le pH et les nitrates évoluent considérablement dans la station 3 contrairement à l'oxygène dissous dont la variation est plus importante dans la station 6.

Analyse biologique

Analyse qualitative des cyanobactéries

L'analyse de la composition spécifique des échantillons a permis de répertorier 13 taxons. Ces 13 taxons sont scindés en deux groupes. Le groupe des Hormogonales qui est le plus nombreux (8 espèces) contrairement au groupe des Chroococcales qui est représenté par 5 espèces (Tableau 5). La distribution des cyanobactéries observée dans chaque prélèvement, varie selon la station sur laquelle l'échantillonnage a été réalisé.

La station 3 regroupe le plus grand nombre de cyanobactéries estimé à 19% de l'ensemble des taxons. Cependant, à la station 4 le nombre de cyanobactéries n'est que de 14% seulement (Figure 2). Il n'y a pas d'homogénéité entre les différents taxons présents sur le site.

Distribution spatiale des cyanobactéries

Les résultats présentés au Tableau 5 montrent que, la distribution de la présence des espèces de cyanobactéries n'est pas la même sur toutes les stations d'échantillonnage. Cependant, deux (taxons de cyanobactéries) sont présents sur les six (6) stations de prélèvement avec une fréquence de 11%. Il s'agit d'*Oscillatoria* sp et de *Pseudanabaena* sp qui sont présents sur le site (Figure 3).

D'un autre côté, il y a des espèces qui sont présentes dans seulement trois (3) stations de prélèvements. *Cylindrospermopsis* sp est présent dans les stations 2, 5 et 6; *Planktothrix* sp dans les stations 3, 4 et 6 et *Gloecapsa* sp dans les stations 2, 4 et 5. La station 3 regorge 11 espèces de cyanobactéries: *Aphanocapsa* sp (Apsp), *Microcystis* sp (Misp), *Anabaena* sp (Ansp), *Oscillatoria* sp (Ossp), *Planktothrix* sp (Plsp), *Lyngbya* sp (Lysp), *Gloecapsa* sp, (Glsp), *Chroococcus* sp (Chsp), *Pseudanabaena* sp (Pssp), *Coelomorion* sp (Cosp) et *Limnothrix* sp (Lisp) (Tableau 5).

Tableau 3
Valeurs moyennes du rapport N/P dans la station en fonction des saisons

Périodes	Nitrate (mg L ⁻¹ NO ₃)	Nitrite (mg L ⁻¹ NO ₂)	Ammonium (mg L ⁻¹ NH ₄)	Phosphate (mg L ⁻¹ PO ₄)	N/P
janv-14	795	0,003	0,013	0,345	2,351
01/03/14	0,828	0,004	0,23	0,085	12,494
sept-13	0,004	0,003	0,004	0,025	0,44
01/06/14	0,001	0,006	0,007	0,23	0,609

(saison des pluies: septembre et juin; saison sèche: janvier et mars)

Tableau 4
Test de Wilcoxon (effet de la saison) et test de Kruskal-Wallis.

Parametres	Effet saison		Effet station	
	Wilcoxon	p	x ²	p
Turbidité (NTU)	369.0	0.005	43.3	< 0.001
Transparence (m)	0.0	< 0.001	31.1	< 0.001
Temperature (°c)	13.0	< 0.001	6.7	0.247
Ph	85.5	0.003	46.9	< 0.001
Conductivité (µS.cm ⁻¹)	465.0	< 0.001	6.1	0.295
Oxygene dissous (mg.L ⁻¹)	464.0	< 0.001	12.0	0.035
(% O ₂)	464.0	< 0.001	16.4	0.006
NH ⁺ -N (mg.L ⁻¹)	5.0	< 0.001	6.5	0.261
NO ₃ -N (mg.L ⁻¹)	298.5	0.176	11.4	0.044
NO ₂ -N (mg.L ⁻¹)	20.0	< 0.001	3.0	0.707
PO ₄ -P (mg.L ⁻¹)	0.0	< 0.001	2.3	0.809

(site et l'effet de profondeur) appliqué sur chaque descripteur.

Tableau 5
Présence des cyanobactéries selon les stations.

Abréviations	Taxons	Stations					
		St1	St2	St3	St4	St5	St6
	<i>Chroococcales</i>						
Apsp	<i>Aphanocapsa sp</i>	x	x				x
Misp	<i>Microcystis sp</i>	x	x	x	x		x
Chsp	<i>Chroococcus sp</i>	x		x	x	x	x
Cosp	<i>Coelomoron sp</i>	x	x	x	x		
Wosp	<i>Woronichinia sp</i>		x		x	x	
	<i>Hormogonales</i>						
Plsp	<i>Plankthotrix sp</i>			x	x		x
Lysp	<i>Lyngbya sp</i>	x	x	x		x	x
Gisp	<i>Gloecapsa sp</i>	x		x		x	
Ansp	<i>Anabaena sp</i>		x	x	x	x	x
Pssp	<i>Pseudoanabaena sp</i>	x	x	x	x	x	x
Cysp	<i>Cylindrospermopsis sp</i>		x			x	x
Ossp	<i>Oscillatoria sp</i>	x	x	x	x	x	x
Lisp	<i>Limnothrix sp</i>	x	x	x		x	x

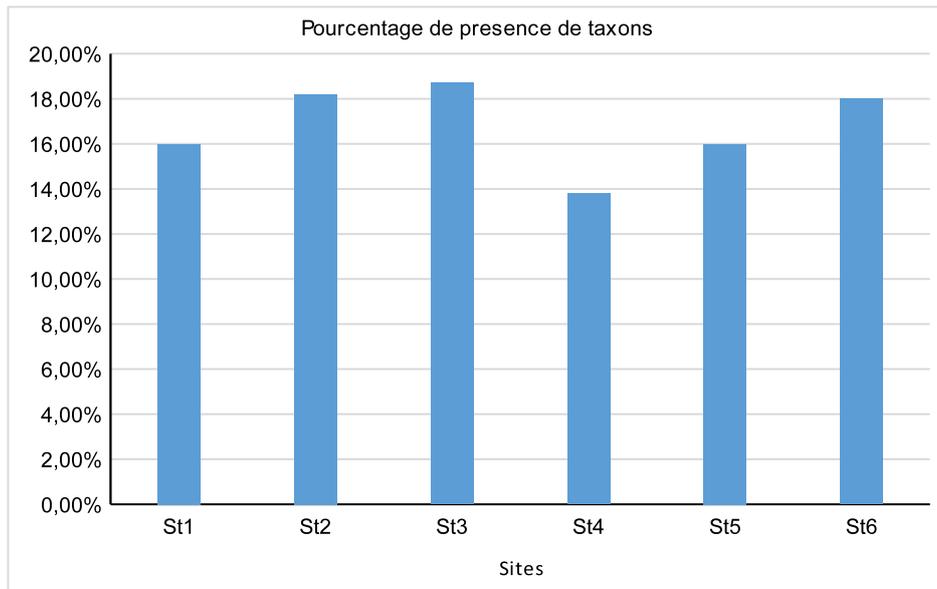


Figure 2: Variation de la densité relative de cyanobactéries dominant dans les stations.

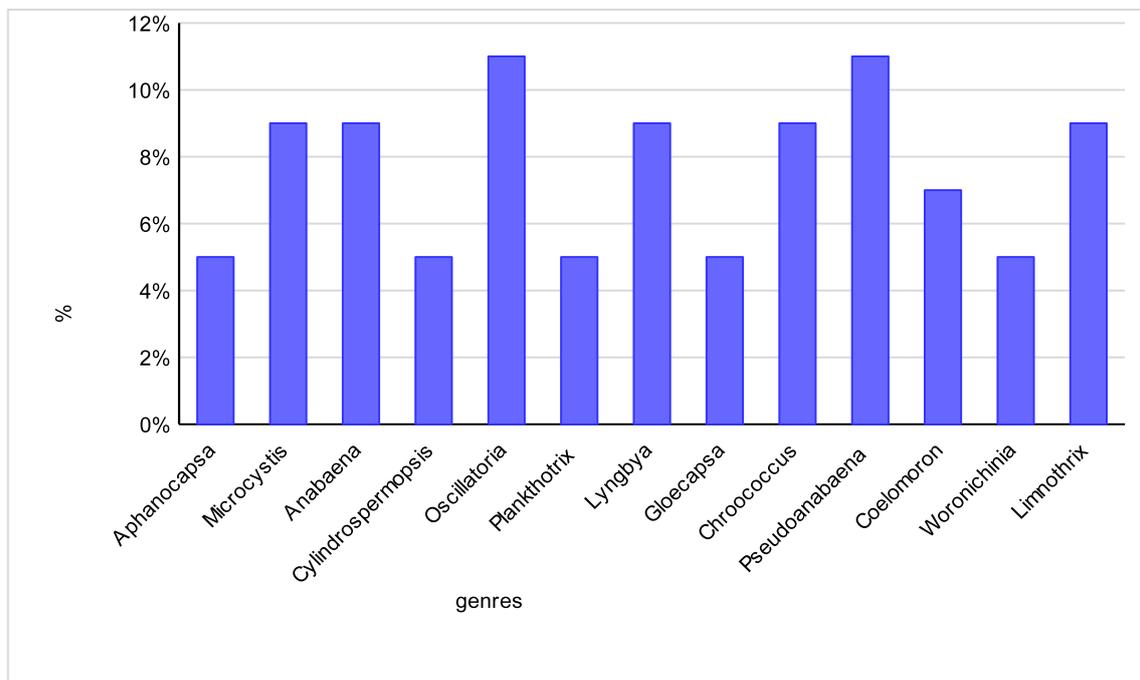


Figure 3: Fréquence de présence de cyanobactérie dans la zone d'étude.

La station 4 contient moins d'espèces de cyanobactéries (8 espèces de cyanobactéries) avec: *Microcystis* sp (Misp), *Anabaena* sp (Ansp), *Oscillatoria* sp (Ossp), *Planktothrix* sp (Plsp), *Chroococcus* sp (Chsp), *Pseudanabaena* sp (Pssp), *Coelomoron* sp (Cosp) et *Woronichinia* sp (Wosp) (Tableau 5).

Variations spatio-temporelles des paramètres biologiques

En saison sèche, la densité des cyanobactéries est plus importante qu'en saison pluvieuse. L'espèce *Aphanocapsa* sp (Apsp) a une densité de 24.10^3 cellules par ml sur la station St5 en saison sèche alors qu'en saison pluvieuse elle est de 5.10^3 Cellules par ml sur la même station. Les espèces *Oscillatoria* sp (Ossp), *Planktothrix* sp (Plsp), *Chroococcus* sp (Chsp), *Pseudanabaena* sp (Pssp) ont une plus forte densité en saison sèche qu'en saison pluvieuse (Figure 4).

La densité des espèces, *Microcystis* sp (Misp), *Cylindrospermopsis* sp (Cysp), *Coelomoron* sp (Cosp) et *Limnothrix* sp (Lisp) ne varient pas selon les saisons (saison pluvieuse et saison sèche). Les densités respectives sont: 15.10^3 , 9.10^3 , 6.10^3 , $5,2.10^3$ cellules par ml sur la même station selon les saisons. Cependant, il y a les espèces *Lyngbya* sp (Lysp), *Gloecapsa* sp (Glsp) et *Woronichinia* sp (Wosp) qui prolifèrent plus en saison de pluie qu'en saison sèche.

La densité de cinq taxons (*Aphanocapsa* sp (Apsp), *Oscillatoria* sp (Ossp), *Planktothrix* sp (Plsp), *Chroococcus* sp (Chsp) et *Pseudanabaena* sp (Pssp)) augmentent fortement en saison sèche qu'en saison pluvieuse, trois taxons seulement augmentent. Il s'agit de: *Lyngbya* sp (Lysp), *Gloecapsa* sp (Glsp) et *Woronichinia* sp (Wosp). déjà dit (Figure 4). La densité des espèces sur la station en fonction des sites révèle une très grande différence. Le nombre d'espèces de cyanobactéries et leur abondance sur chaque site varie selon les saisons (Figure 5). En saison sèche, la densité des espèces par station est fortement élevée de 55.10^3 à 75.10^3 cellules par ml contrairement à la saison pluvieuse, où le nombre varie seulement de 28.10^3 à 52.10^3 cellules par ml (Figure 5). Ces résultats montrent que les cyanobactéries semblent proliférer plus en saison sèche qu'en saison de pluie par contre la vitesse de l'eau et les matières en suspensions sont élevées en saison de pluie, le milieu offre une faible présence d'ombrage (5%) sur la partie encaissante, puis appréciable an aval (35%).

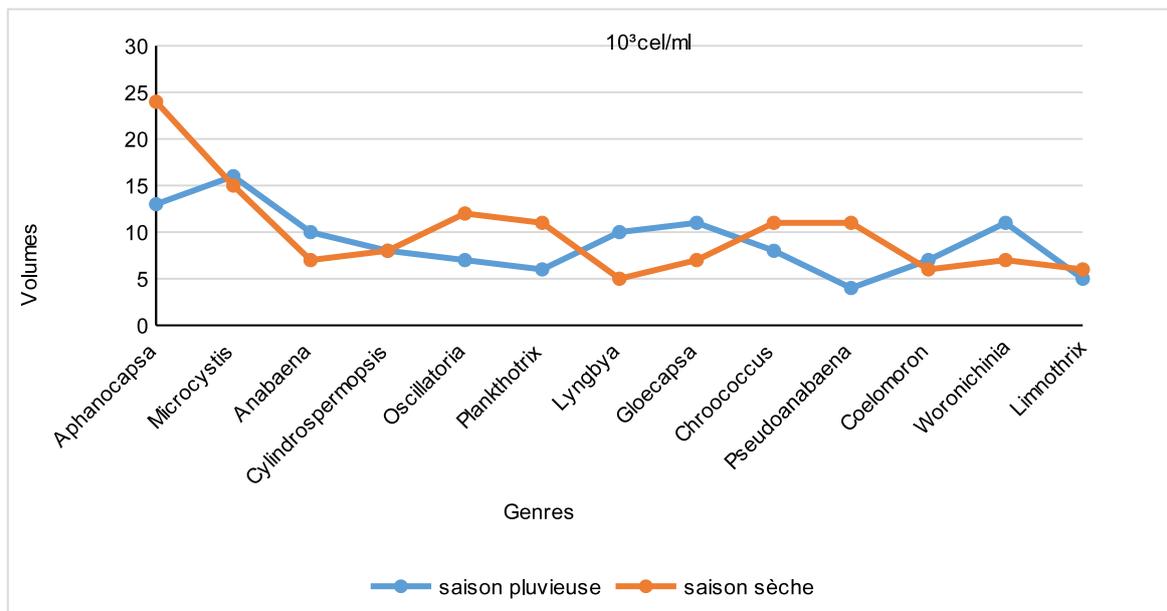


Figure 4: Abondance des taxons présents sur le site selon les saisons.

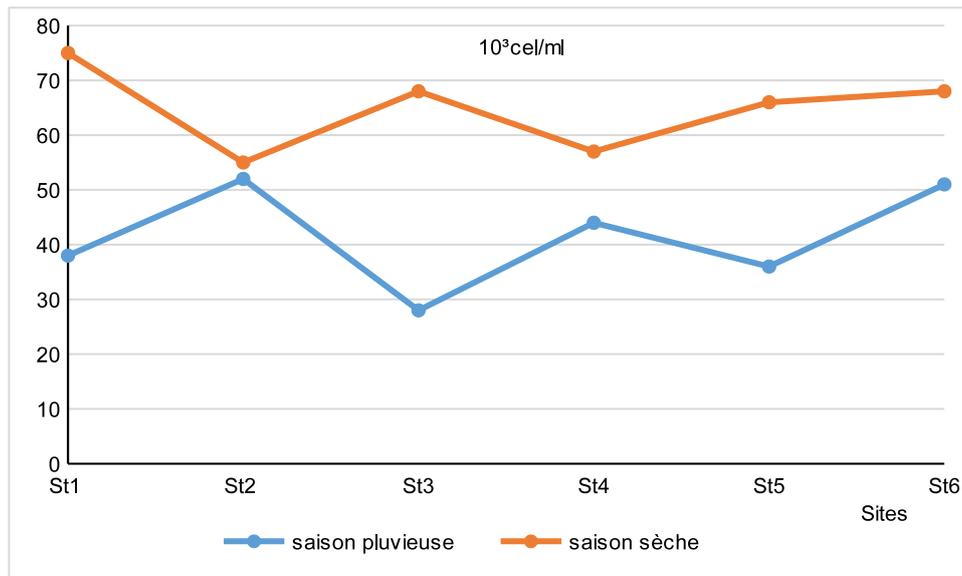


Figure 5: Abondance taxonomique des stations selon les saisons.

Discussion

L'analyse physicochimique montre que ces caractéristiques semblent fortement être influencées principalement par la saison et secondairement par les stations. Les valeurs des différentes variables abiotiques observées ont approximativement les mêmes caractéristiques physicochimiques d'une station à l'autre. Cette ressemblance dans les valeurs des paramètres physicochimiques est liée aux caractéristiques des bassins versants qui sont assez semblables dans cette région. Ces résultats sont en accord avec ceux de (15) relatifs à la structure, au fonctionnement et à la dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire).

La température est aussi un facteur environnemental important pour la vie aquatique. Elle contrôle ainsi l'ensemble des processus biologiques (reproduction, croissance,...) liés à un environnement donné. Les températures enregistrées dans la rivière Lobo sont comprises entre 28,8°C et 33,4°C. Cet intervalle favoriserait la prolifération des cyanobactéries (28). Selon ces auteurs, les taux de croissance maximaux de la plupart des cyanobactéries sont atteints à des températures supérieures à 25°C avec un optimum entre 25 et 35°C. Cet intervalle de température expliquerait la variation de la densité des cyanobactéries en fonction des saisons.

Quand la température est élevée (saison sèche et une vitesse d'eau plus faible) on observe une augmentation de cyanobactérie avec des pics atteignant 75.10^3 cellules par ml d'eau. Les fleurs d'eau observées résultent d'une concentration importante de cyanobactéries stimulées par des températures élevées de l'eau favorisant leur sénescence. (6),

Dans la rivière Lobo le pH le plus élevé (basique) est de 8,64, relevé en petite saison pluvieuse et de 6,24, dans la grande saison sèche. Ces variations dépendent essentiellement des processus chimiques

mais aussi biologiques au sein du milieu. Les résultats montrent que les cyanobactéries prolifèrent plus en milieu à pH faible qu'en milieu basique comme l'a fait remarquer (15), dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Cependant, ce résultat est contraire à celui de (18) qui observe que les pH élevés sont à induire à la photosynthèse des cyanobactéries en masse et au maintien de leur dominance. Leur présence à pH acide est peut-être due au pouvoir tampon de l'eau plus élevée montré par une conductivité plus importante entre les saisons sèches et pluvieuses. Dans ce cas les biomasses algales présentes ne suffisent pas à augmenter plus le pH. En saison pluvieuse, l'oxygène dissous est plus élevé ($8,1 \text{ mg L}^{-1}$) car l'eau circule plus et ne facilite pas sa consommation par les bactéries. L'oxygène dissous est un élément indispensable entre les composantes minérales et organiques des milieux lacustres (9). Il intervient dans les processus d'oxydation par des organismes aquatiques pour la respiration, (1). La teneur en oxygène dissous dans le milieu est dépendante de la température et de la pression atmosphérique. Sa réduction en saison sèche ($3,61 \text{ mg L}^{-1}$) a peu d'influence sur les cyanobactéries contrairement aux autres groupes d'algues.

Les cyanobactéries peuvent utiliser le bicarbonate comme source de carbone inorganique en plus du CO_2 , ce qui peut être un avantage compétitif lorsque le pH est élevé et que le système (milieu) est concentré en bicarbonate mais faible en CO_2 , (27). La conductivité de l'eau varie de $76,2 \text{ } \mu\text{S/cm}$ à $146 \text{ } \mu\text{S/cm}$ sur l'ensemble des stations. Ces valeurs traduisent un apport de minéraux par les phénomènes d'érosion du bassin versant. Dans la rivière Lobo, les concentrations les plus élevées de chaque élément nutritif sont pour les nitrates ($1,54 \text{ mg L}^{-1}$), les nitrites ($0,011 \text{ mg L}^{-1}$),

l'ammonium ($0,112 \text{ mg L}^{-1}$) et le phosphore soluble ($0,71 \text{ mg L}^{-1}$). Ces concentrations d'azote (nitrates, nitrites, ammonium) et du phosphore proviennent des décompositions des végétaux par les bactéries et surtout du lessivage des terres cultivées en période pluvieuse. La retenue d'eau de la Lobo a été créée pour répondre aux besoins d'eau potable pour la consommation de la population de Daloa. Les populations riveraines utilisent également l'eau de cette rivière pour leurs besoins agricoles, domestiques et pour l'abreuvement de leur bétail. C'est une station dont le bassin versant est dominé par des zones agricoles qui sont probablement, la source principale des éléments nutritifs après lessivage des terres contenant de l'engrais chimique et ou organique. Les lacs et les rivières dont les bassins de drainage sont grandement influencés par les activités agricoles, affichent de façon épisodique des concentrations élevées en éléments nutritifs notamment en phosphore, pouvant changer la structure du phytoplancton vers une dominance de cyanobactéries (13).

Les limites de concentrations des nitrates ($\text{mg L}^{-1}(\text{NO}_3^-)$) dans l'eau potable sont variables, et ne présente aucun risque lorsqu'elle est inférieure $< 0,2$ lorsqu'elle se situe entre $0,21 - 3,0$ le risque est très mineur, et est modéré quand ces limites se situent entre $3,1 - 10$. De ce fait les concentrations trouvées ont un impact faible sur la santé. En ce qui concerne la teneur en nitrates et nitrites des puits, il semble que les teneurs les plus élevées se retrouvent généralement dans les régions où les activités agricoles sont plus intenses.

Les nitrites sont en concentration très faibles dans la rivière Lobo, de $0,0001 \text{ mg L}^{-1}$ à $0,011 \text{ mg L}^{-1}$. Ce sont des formes intermédiaires, résultant de l'oxydation des matières organiques azotées. Ils ne se maintiennent que dans les milieux peu oxygénés, car, instables ils ont tendance à s'oxyder en nitrates (9). Les nitrites constituent une forme de transition lors de l'oxydation de l'ammonium ou de la réduction des nitrates.

Le rapport N/P (azote total sur phosphore total) de la rivière Lobo est de 12,494 en mars: rapport supérieur à 7. Le phosphore représente le facteur limitant et l'azote favorise la prolifération de certains genres de cyanobactéries.

Dans les autres mois, surtout en Septembre (N/P = 0,44) et en Juin (N/P= 0,609), le rapport N/P < 7 . L'azote représente le facteur limitant et le phosphore favorise d'autres genres de cyanobactéries. Le rapport N/P permet de déterminer si l'un ou l'autre ou les deux nutriments ont été épuisés au point de limiter la croissance des phytoplanctons. D'après (29), si le rapport de masse des concentrations N/P est inférieur à 7, l'azote deviendra probablement le facteur limitant et si le rapport est supérieur à 7, ce sera plutôt le phosphore. Si le rapport est d'environ 7, les deux éléments ou mêmes d'autres facteurs telles

que la lumière ou la température pourraient être limitant. Ainsi, dans la rivière Lobo en mars (saison sèche), beaucoup de végétaux utilisant l'azote auront diminué. L'azote et le phosphore seront stockés dans le sédiment du cours d'eau, et favoriseront la prolifération du phytoplancton. L'hypothèse de l'azote inorganique, Cronberg et Annadotter (6) suggèrent que les cyanobactéries non-fixatrices d'azote sont favorisées par l'azote sous forme d'ammonium, alors que les autres groupes d'algues (eucaryotes) sont favorisées par l'azote sous forme de nitrates. Les cyanobactéries fixatrices d'azote (les Nostocales) sont pour leur part favorisées en condition de limitation d'azote car possédant un avantage compétitif, puisque la migration leurs permet de faire des réserves de phosphore près des sédiments. Ainsi, le rapport stœchiométrique N/P peut être un bon indicateur de l'évolution des communautés cyanobactérienne de la rivière Lobo (Daloa). La coloration de l'eau de la rivière Lobo est tantôt marron (sombres) fortes présences des matières en suspensions (MES) tantôt verdâtre (algues). Dans un plan d'eau, la transparence varie en fonction de l'abondance des particules en suspension (argile, limon,...) et du phytoplancton (algues, cyanobactéries,...). La phase des eaux claires (transparence) est à rattacher au développement des communautés zooplanctoniques (17). Ces derniers contribuent significativement par le broutage du phytoplancton à la clarification des eaux dans les lacs et réservoirs, (34). Les conditions stables et turbides de l'eau pourraient avantager les cyanobactéries en leur procurant des conditions optimales de croissance (18). Il apparait que la biomasse cyanobactérienne en suspension dans la colonne d'eau (rivière la Lobo) est mieux adaptée à la faible luminosité que ne le sont pas les autres algues planctoniques.

Enfin, aucune de ces hypothèses n'est en mesure d'expliquer individuellement l'apparition d'une fleur d'eau de cyanobactéries et ces hypothèses ne sont pas mutuellement exclusives. De plus, il semble que plusieurs études mentionnées dans la littérature ont obtenu des conclusions contradictoires. Toutefois, aucun facteur pris individuellement n'est en mesure de prédire ou d'expliquer la cause de la dominance des cyanobactéries sur les eucaryotes.

Selon (31), les eaux riches en nutriments, de température comprise entre 15 et $30 \text{ }^\circ\text{C}$ et de pH variant de 6 à 9 sont favorables à une prolifération de cyanobactéries. En outre, la prédominance de ces algues pourrait être liée à leur capacité de produire des toxines leur permettant de limiter leur prédation par les poissons et le zooplancton (20). Par ailleurs, dans les cours d'eau étudiés, la densité maximale des cyanobactéries de $15\ 000$ cellules/ml n'excède pas le niveau 1 d'alerte ($20\ 000$ cellules/m) fixé par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Dans le cas de masses d'eau servant à la potabilisation afin d'éviter les risques sanitaires (25).

Conclusion

L'abondance des cyanobactéries serait liée aux saisons (saison des pluies et saison sèche) et elles prolifèrent mieux en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Au niveau de la composition spécifique cyanobactérienne, 13 taxons ont été dénombrés. Les paramètres physico-chimiques qui ont permis aux cyanobactéries de coloniser la Lobo sont:

- la température de l'eau: leur (cyanobactéries) optimum de croissance se situe, pour la plupart, à des températures plus élevées que l'ensemble des phytoplanctons, 25°C et plus;

- La teneur en CO₂: les cyanobactéries, pouvant utiliser les ions bicarbonates quand les teneurs en CO₂ sont faibles (pH élevé);
- la capacité à assimiler et à faire des réserves en phosphore et en azote;
- le rapport N/P: ces microorganismes, avec ou sans azote ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique. Ces avantages compétitifs ne permettent toutefois pas d'expliquer à eux seuls la dominance et la persistance des cyanobactéries dans l'eau.

Références bibliographiques

1. Aminot A., 1983, *Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Caractéristiques physicochimiques*. Centre National de l'exploitation des océans, 75p.
2. Anagnostidis K. & Komárek J., 1988, Modern approach to the classification system of cyanophytes 3- Oscillatoriales, *Algol. Stud.*, **50-53**, 327-472.
3. AFSSA & AFSSET. 2006. *Rapport sur l'évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives*.
4. Avenard J.M., 1971, *Aspect de la géomorphologie: Milieu naturel de Côte d'Ivoire*. Mémoire ORSTOM, Paris, France, **50**, 8 - 73
5. Cecchi P., Arfi R. & Berger C., 2005, *Cyanobactéries, potentiel toxique et ressources en eau du Burkina-Faso*, Rapport de mission, 35 p.
6. Cronberg G., & Annadotter H., 2006, *Manual on aquatic cyanobacteria*. A photo guide and a synopsis of their toxicology, International Society for the Study of Harmful Algae and the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation, 106 p.
7. Die K., 2006, *Renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Daloa à partir du barrage de Buyo en Côte d'Ivoire*, mémoire de fin de formation, 77 p.
8. Dokulil M., Chen W., & Cai Q., 2000, Anthropogenic impacts to large lakes in China: the Tai Hu example, *Aquat. Ecosyst. Health Manage.*, **3**, 81 – 94.
9. Dussart B., 1992, *Limnologie. L'étude des eaux continentales*. 2^{ème} édition. Collection « faunes et flores actuelles ». 680 p.
10. Kalpy J., Coulibaly N. Grogas M.K., Soumahoro M., Koudougou J.E., Ebrotie-Brou M.T., Kouassi-haouley, Ouattara A., Faye-kette H. & Dosso M., 2014, Essai préliminaire de mise en œuvre de culture de cyanobactérie en Côte d'Ivoire, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **8**, 2, 551-565,
11. Komárek J. Anagnostidis K., 2005, *Cyanoprokaryota. 2. Teil. Oscillatoriales*. in: Süßwasserflora von Mitteleuropa. E. H., Gärtner G. , Heynig H. & Mollenhauer D., Stuttgart-Jena, 759 p.
12. Krienitz L., Ballot A., Wiegand C., Kotut K., Codd G.A. & S. Pflugmacher S., 2002, Cyanotoxin-producing bloom of *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena discoidea* and *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) in Nyanza Gulf of Lake Victoria, Kenya, *J. Appl. Bot.- Angew. Bot.*, **76**, 5-6, 179-183.
13. Giroux I., Robert C., & Dassylva N., 2006, *Présence de pesticides dans l'eau au Québec: bilan dans des cours d'eau de zones en culture de maïs et de soja en 2002, 2003 et 2004, et dans les réseaux de distribution d'eau potable*. MDDEP, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Direction des politiques de l'eau et pour caractériser l'exposition aux cyanobactéries sur des plans d'eau à usage récréatif. Mémoire d'Ingénieur, Ecole Nationale de Santé Publique, Renne, 72p.
14. Grogas N., 2012, *Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire)*. Doctorat unique, Université Toulouse, 244 p.
15. Grogas N., Allassane O., Sébastino D.C., Alain D., Olivier B., Jacques M., Germain G., & Pascal L., 2012, Water quality and water-use conflicts in Lake Taabo (Ivory Coast). *Open J. Ecol.*, **2**, 1, 38-47.
16. Ihaka R., & Gentleman R., 1996, A language for data analysis and graphics, *J. Comput. Graphical Stat.*, **5**, 299 - 314.
17. Jabari E., 1998, *Structure et dynamique des populations zooplanktons de la retenue de barrage Allal El Fassi*. Thèse de doctorat, 3^e cycle Université SMBA, Tunisie, 197p.
18. Jacoby J.M., Collier D.C., Welch E.B., Hardy F.J., & Crayton M., 2000, "Environmental factors associated with a toxic bloom of *Microcystis aeruginosa*", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **57**, 231 - 240.

19. Jaeg J.P., 2007, Microcystines, intoxication des animaux domestiques et sécurité des aliments d'origine animale, *Rev. Méd. Vét.*, **158**, 2, 46 - 58
20. Lavoie I., Laurion I., & Vincent W.F., 2007, *Les fleurs d'eau de cyanobactéries, document d'information vulgarisée*. INRS rapport no 916, 120 p.
21. Li L. 2010. *Séquestration biologique du carbone par les cyanobactéries*. pHD Thèse, Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon, p 208.
22. Lüring M., & Faassen E.J., 2013, Dog Poisonings Associated with a *Microcystis aeruginosa* Bloom in the Netherlands, *Toxins*, **5**, 556 - 567.
23. Malmqvist B., & Rundle S., 2002, Threats to the running water ecosystems of the world, *Environ. Conserv.*, **29**, 2, 134-153 (in press).
24. Merwe V D.D., Sebbag L., Nietfeld J.C., Aubel M.T., Foss A., & Carney E., 2012, Investigation of a *Microcystis aeruginosa* cyanobacterial freshwater harmful algal bloom associated with acute microcystin toxicosis in a dog, *J. Vet. Diagn. Invest.*, **24**, 4, 679 - 687.
25. OMS, 2003, *Guidelines for safe recreational water environments*. Volume **1**, Coastal and Freshwaters. Organisation Mondiale de la Santé.
26. Pearson L., Mihali T., Moffitt M., Kellmann R., & Neilan B., 2010, On the Chemistry, Toxicology and Genetics of the Cyanobacterial Toxins, Microcystin, Nodularin, Saxitoxin and Cylindrospermopsin, *Mar. Drugs*, **8**, 1650 - 1680.
27. Pick F.R., & Lean D.R.S., 1987, "The role of macronutrients (C, N, P) in controlling cyanobacterial dominance in temperate lakes", *N. Zeal. J. Mar. Freshwat. Res.*, **21**, 425 - 434.
28. Robarts R.D., & Zohary T., 1987, Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria, *N. Zeal. J. Mar. Freshwat. Res.*, **21**, 391 - 399.
29. Ryding S. O., & Rast W., 1994, *Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs*. Masson, Paris, 294 p.
30. Thomazeau S., 2010, *Systématique de cyanobactéries du continent africain par une approche polyphasique & scénarios évolutifs*. Thèse de doctorat en Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 496 pages.
31. Skulberg O.M., Underdal B. & Utviklen H., 1994, Toxic waterblooms with Cyanophytes in Norway-current knowledge, *Archiv für Hydrobiologie Supplement 105, Algologia Stud.*, **75**, 279 - 289.
32. Tazi O., Fahde A., & El Younoussi S., 2001, Impact de la pollution sur l'unique réseau hydrographique de Casablanca, Maroc, *Sécheresse*, **12**, 129-134.
33. Thioulouse J., Chessel D., Dolédec S. & Olivier J.M., 1997, ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software, *Stat. Comput.*, **7**, 75 - 83.
34. Tuzin D., & Mason, 1996, *La clarification des eaux dans les lacs réservoirs*, 56p.
35. Vazquez G., & Favila M.E., 1998, Status of the health conditions of subtropical Atezea lake, *Aquat. Ecosyst. Health Manage.*, **1**, 245 - 255.
36. Yao A.B., Goula B.T.A., Kouadio Z.A., Kouakou K.E., Kane A. & Sambou S., 2012, Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide: cas du bassin versant de la Lobo au centre-ouest de la côte d'Ivoire, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, **9**, 136 – 157.

N. Goga, Ivoirien, PhD, Enseignant-chercheur, Université Jean Lorougon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

T. N. Akedrin, Ivoirien, PhD, Enseignant-chercheur, Université Jean Lorougon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

K. Komoé, Ivoirien, PhD, Enseignant-chercheur, Université de Félix Houphouët Boigny Cocody, U.F.R. Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire.

K.Thiegba, Ivoirien, MSc, Université Jean Lorougon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

D. S. Akaffou, Ivoirien, PhD, Enseignant-chercheur, Université Jean Lorougon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire.

A. Ouattara, Ivoirien, PhD, Professeur Titulaire, Université de Nanguy Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire.