

Research Article



International Review of Aquatic Resources research, Management and Engineering 2023

Vol 5, Serie 1 Page 23 - 45

Submission (11 August 2023) Accepted and Published (18 October 2023) www.ijarme.org

DYNAMIQUE DES CYANOTOXINES DE LA RETENUE D'ADZOPE : IMPACTS SUR LA QUALITE DES EAUX

Paulette Marie ADON

Département: Biodiversité et aménagement des écosystèmes aquatiques

Institution: Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa)

E-mail et numéro de téléphone: adonmariepaulette@gmail.com. / 225 0707571913

Résumé

Cette étude est une contribution aux travaux menés sur la retenue d'eau d'alimentation de la ville d'Adzopé. La méthodologie a consisté à la récolte des organismes phytoplanctoniques à l'aide de la bouteille de Van Dorn à la station S3 dans la colonne de l'eau, par pas de 1 m de la surface au fond du plan d'eau suivant un cycle de 24 heures durant les mois de mai, septembre et novembre 2008 et février 2009. Les échantillons conservés dans des piluliers de 50 ml ont été fixés à la solution de Lugol acide pour des analyses au laboratoire. L'observation des taxons a été réalisée entre lame et lamelle sous microscope photonique de type Olympus BX40. L'identification des Cyanotoxines et des risques liés à leur présence a été effectuée à partir d'ouvrages spécifiques et généraux. Un total de 12 taxons susceptibles de produire des toxines a été récolté dans la retenue d'Adzopé. Ce sont *Aphanocapsa* sp., *Chroococcus limneticus*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis flos-aquae*, *Microcystis wesenbergii*, *Synechocystis* sp., *Anabaena constricta*, *Planktothrix* sp., *Pseudanabaena* cf. *limnetica*, *Raphidiopsis curvata*, *Snowella lacustris* et *Spirulina* sp.. De ces taxons, les espèces *Anabaena constricta* et *Pseudanabaena* cf. *limnetica* sont fréquemment observées à toutes les heures, hormis 6 h pour *Pseudanabaena* cf. *limnetica*, dans la colonne de l'eau durant les mois d'échantillonnage. En revanche, *Planktothrix* sp. n'est fréquemment observable qu'à 18h en mai et février, 21h en mai et 3h du matin à tous les mois à l'exception du mois de mai. L'utilité d'évaluer les concentrations totales de toxines de chaque taxon identifié dans des travaux futurs serait bénéfique à la population qui bénéficie des services écosystémiques et économiques des eaux de la retenue d'Adzopé.

Mots clés : Cyanobacteria, eau potable, effets sur la santé, Côte d'Ivoire

Abstract:

This study is a contribution to the work carried out on the supply water reservoir of the city of Adzopé. The methodology used was consisted to collect phytoplankton organisms using the Van Dorn bottle at station S3 in the water column, in steps of 1 m from the surface to the bottom of the body of water following a cycle 24 hours during the months of May, September and November 2008 and February 2009. The samples stored in 50 ml pill bottles were fixed with Lugol's acid solution for laboratory analyses. The observation of taxa was carried out between slide and coverslip under an Olympus BX40 type light microscope. The identification of Cyanotoxins and the risks linked to their presence was carried out based on specific and general works. A total of 12 taxa likely to produce toxins were collected in the Adzopé reservoir. They are *Aphanocapsa* sp., *Chroococcus limneticus*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis flos-aquae*, *Microcystis wesenbergii*, *Synechocystis* sp., *Anabaena constricta*, *Planktothrix* sp., *Pseudanabaena* cf. *limnetica*, *Raphidiopsis curvata*, *Snowella lacustris* and *Spirulina* sp.. Of these taxa, the species *Anabaena constricta* and *Pseudanabaena* cf. *limnetica* are frequently observed at all hours, except 6 a.m. for *Pseudanabaena* cf. *limnetica*, in the water column during the months of sampling. In contrast, *Planktothrix* sp. is

frequently observable only at 6 p.m. in May and February, 9 p.m. in May and 3 a.m. in all months except May. The usefulness of evaluating the total concentrations of toxins of each taxon identified in future work would be beneficial to the population which benefits from the ecosystem and economic services of the waters of the Adzopé reservoir.

Key words: Cyanobacteria, potable water, health effects, Côte d'Ivoire

Introduction

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, les activités humaines *via* des rejets domestiques, agricoles et industrielles ont contribué à la dégradation des écosystèmes lenticques accélérant de manière exponentielle le phénomène naturel d'eutrophisation des systèmes lacustres. En effet, les apports excessifs en nutriments notamment en azote et en phosphore sont directement utilisables au sein des réseaux trophiques aquatiques et, en premier lieu, par les producteurs primaires dont les cyanobactéries font naturellement partie (Paerl & Otten, 2013). Les cyanobactéries se retrouvent naturellement dans les écosystèmes aquatiques; leur présence n'est donc pas exceptionnelle. C'est leur prolifération excessive qui l'est, une conséquence de l'eutrophisation des lacs et des rivières (Dolman *et al.*, 2012; Rolland *et al.*, 2013 cités par Groupe scientifique sur l'eau (2017)).

Durant ces épisodes, les cyanobactéries deviennent dominantes par rapport aux autres organismes phytoplanctoniques notamment grâce à divers adaptations morphologiques et physiologiques (formation de colonies ou filaments, synthèse de vésicules à gaz, utilisation de l'azote atmosphérique...). Durant ces proliférations, la biomasse cyanobactérienne est si importante qu'elle génère d'importantes nuisances sur la coloration de l'eau, des nuisances olfactives, des perturbations des procédés de traitement des eaux d'alimentation, des nuisances d'ordre écologique, sanitaire et économique (Chorus & Bartram, 1999, Groupe scientifique sur l'eau, 2017). Ces organismes photosynthétiques peuvent notamment être responsables de désoxygénation totale de la colonne d'eau, occasionnant une importante mortalité chez les organismes aérobies (Barica, 1975). De plus, les cyanobactéries de par leur morphologie et leur faible qualité nutritionnelle sont difficilement assimilables pour les organismes zooplanctoniques créant ainsi de véritables impasses trophiques et par conséquent, entraînent une diminution de la diversité à l'échelle de l'écosystème entier (Huisman *et al.*, 2005). Plusieurs espèces de cyanobactéries produisent des cyanotoxines qui ont fait l'objet de nombreuses recherches depuis les années 1990. Le rôle physiologique exact des cyanotoxines n'est pas totalement élucidé, mais il est acquis que leur biosynthèse est une réponse à diverses conditions environnementales nécessitant une adaptation. Ainsi, certaines cyanotoxines, comme les microcystines, sont biosynthétisées consécutivement à

des conditions de stress environnemental (Pimentel & Giani, 2014 cité par Groupe scientifique sur l'eau (2017)) ou dans le contexte de l'adaptation à une forte luminosité (Meissner *et al.*, 2014 cité par Groupe scientifique sur l'eau (2017)).

Les études menées en Côte d'Ivoire sur les cyanotoxines n'ont pris en compte que quelques travaux dont ceux de Coulibaly (2014), Coulibaly *et al.* (2014 ; 2017), Yao (2020), Kra *et al.* (2021), Adon (2023) sur quelques hydrosystèmes ivoiriens, la plupart étant destinés à la production d'eau potable pour la consommation humaine Coulibaly *et al.* (2017), Yao (2020) et Adon (2023). Les Cyanobactéries de la retenue d'Adzopé, caractérisées par une richesse taxinomique non négligeable avec une densité relativement élevée, sont dominées par la contribution élevée d'une espèce filamenteuse d'*Anabaena constricta* et une forme coloniale de *Microcystis aeruginosa* (Adon *et al.*, 2011), espèces possédant des pseudovacuoles gazeuses, leur donnant une excellente capacité pour la migration verticale (Walsby, 1994 ; Brookes & Ganf, 2001 ; Komárek & Anagnostidis, 2005). Au niveau de cette communauté, les travaux de Adon (2023) ont permis au travers des données basées sur la littérature, la mise en évidence des espèces *Anabaena affinis*, *Chroococcus dispersus*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis wesenbergii* et *Raphidiopsis curvata* productrices de toxines observées à la surface de la retenue. Groupe scientifique sur l'eau (2017), dans leurs travaux, indiquent que malgré la diversité des cyanotoxines recensées, un très petit nombre est actuellement recherché à des fins de protection de la santé publique. De ce fait, une eau de surface non traitée ne devrait jamais être consommée, même en l'absence de fleurs d'eau de cyanobactéries. Cette eau peut toutefois servir à l'hygiène personnelle dans la mesure où elle n'est pas verdâtre et où elle n'a pas une coloration ou une odeur inhabituelle.

Cette étude a pour objectif d'étudier l'évolution temporelle des cyanotoxines et leur implication dans le niveau d'exposition des eaux de la retenue par les sources de pollution.

Matériel et méthodes

Site d'étude

La retenue d'eau d'Adzopé (6°10'52'' et 6°12'15'' de latitude nord et entre 3°85'65'' et 3°86'73'' de longitude ouest) localisée en zone urbaine (Fig. 1), est créée suite à l'aménagement d'un barrage en 1977 sur

la rivière Mansan affluent du fleuve côtier Mé (Halle & Bruzon, 2006) pour répondre aux besoins de plus en plus croissants de la population en eau potable. La végétation observée aux alentours de la retenue est de type forestier. Celle-ci comprend des forêts primaires et secondaires fortement dégradées par l'action des feux de brousse, les défrichements anarchiques et par l'ouverture de pistes d'exploitation des produits ligneux (Anonyme, 2000). De fortes activités anthropiques sont exercées par la population au niveau du bassin versant abritant la retenue d'eau (Adon, 2013).

Cette retenue est sous l'influence du climat de la région caractérisé par quatre saisons climatiques (Adon,

2013) qui sont : une grande saison sèche de décembre à février, une grande saison des pluies de mars à juillet, une petite saison sèche en août et une petite saison des pluies de septembre à novembre. Les plus grandes profondeurs de la colonne d'eau s'observent près de la digue à la station S3 avec un maximum en mai (6,7 m). Le volume moyen de la retenue, d'environ $1,76 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, résulte de l'équilibre entre les apports d'eau dans la retenue (pluies et cours d'eau), les utilisations pour la fourniture d'eau aux populations, l'évaporation et l'exutoire de la retenue, qui est en fait un affluent de la rivière Manzan (Girard *et al.*, 1971).

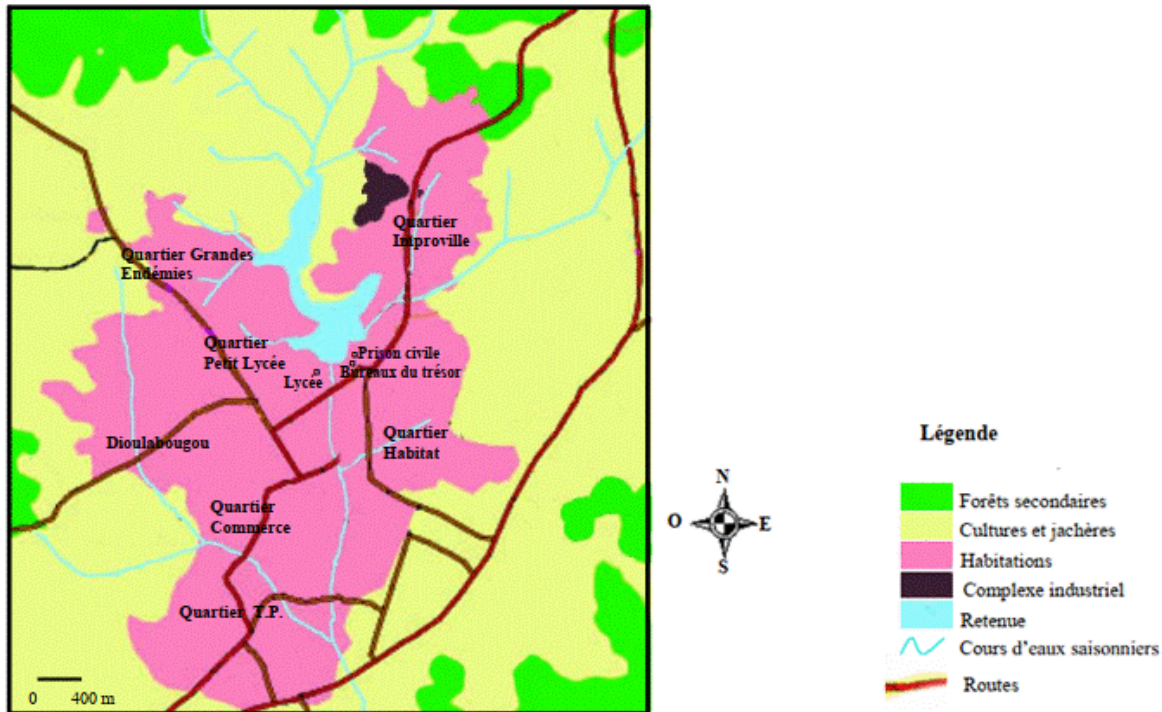


Figure 1. Impacts autour de la retenue d'eau (Kouassi Blé, 2013).

Au niveau de cette retenue, la station S3 (Fig. 2), de coordonnées $3^{\circ}86'03''\text{O}$; $6^{\circ}10'93''\text{N}$, située dans la partie centrale de la retenue d'eau profonde de 6,3 m, a été choisie essentiellement en fonction des considérations d'ordre écologique, de manière à pouvoir prendre en compte les effets des diverses activités anthropiques (Figs. 1 et 3).

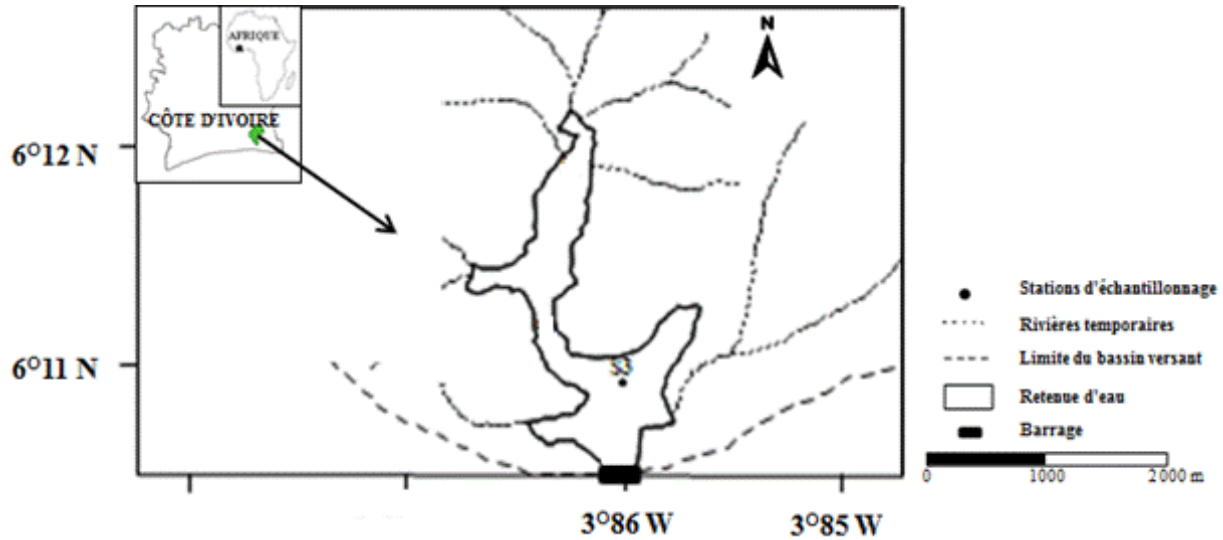


Figure 2. Station d'étude au niveau de la retenue d'Adzopé. (carte modifiée Adon *et al.*, 2011)

Située en pleine agglomération, la retenue est sujette à des pressions anthropiques de divers ordres. Ces pressions peuvent avoir plusieurs impacts. Ceux-ci permettent de catégoriser ces activités en sources ponctuelles et en sources diffuses de pollution. Au niveau de la zone dans laquelle est localisée la station d'étude S3, les sources ponctuelles l'alimentant sont constituées des unités industrielles (Tropical Bois, Fabrication Ivoirienne de Paquets, Nouvelles Scieries d'Adzopé et Improbois) et des habitations. Les rejets de ces unités sont indirectement déversés dans la retenue grâce aux eaux de ruissellement (Fig. 3a) d'une part et d'autre part grâce à une rivière saisonnière (Fig. 1). L'emplacement d'habitations (Fig. 3b) et de structures administratives comme la maison d'arrêt et de correction et les bureaux du Trésor (Fig. 3c), qui ne sont pour la plupart pas dotées de système de collecte et de traitement adéquat des eaux usées domestiques, est une menace réelle pour la retenue qui constitue leur exutoire principal. L'évacuation de ces rejets s'effectue sans traitement préalable donc sans respect des normes de rejets. Les sources diffusent aux alentours de cette station sont constituées par l'agriculture, l'élevage et la pêche.





Figure 3. Quelques pollutions ponctuelles aux alentours de la station S3 (Photos : Adon M.P.)

Collecte des données

Les échantillons d'eau destinés à l'analyse des organismes ont été collectés à l'aide de la bouteille de Van Dorn dans la colonne de l'eau par pas de 1m toutes les 3 heures pendant 24h à chacune des saisons climatiques à la station S3 durant les mois de mai, septembre et novembre 2008 et février 2009. Un échantillon de 50 ml de chaque prélèvement a été conservé dans des piluliers puis fixé à la solution de Lugol acide pour les analyses au laboratoire.

Analyse et étude des Cyanobactéries

L'observation des Cyanobactéries a été réalisée entre lames et lamelles sous microscope photonique de type OLYMPUS BX40. Les taxons observés ont été mesurés au micromètre objectif puis photographiés. L'identification des peuplements de Cyanobactéries a été réalisée à partir de certains travaux pour ne citer que ceux de Desikachary (1959), Compère (1974, 1986), Compère (1975, 1989) et Komárek & Anagnostidis (1999, 2005). Les cyanotoxines observées ont été identifiées à l'aide des travaux de Boutray *et al.* (2017). La numération des organismes a été faite sur des échantillons de 5 à 10 mL, selon la densité phytoplanctonique, à partir du microscope inversé suivant la méthode d'Utermöhl (1958) modifiée (norme NF EN 15204) par Laplace-Treytoure *et al.* (2007). Après sédimentation complète des cellules pendant 4 heures dans une coupelle prévue à cet effet (hauteur = 1 cm, volume = 14,7 mL), le comptage est effectué sur des organismes de cellules/colonies $\geq 2 \mu\text{m}$ à l'objectif 40x. Le biovolume des taxons sera déterminé en mesurant les dimensions de 10 individus pour les taxons peu fréquents ou 30 individus pour les taxons fréquents. Les dimensions des différentes cellules seront mesurées à l'aide d'un micromètre sur le microscope muni d'une chambre claire. Le volume des taxons sera

calculé en assimilant chaque taxon à la forme géométrique la plus proche tel que décrit par Dia & Reynaud (1982), Ouattara (2000) et Sun & Liu (2003). Le biovolume total d'une espèce a été obtenu en multipliant le biovolume moyen d'un organisme par son effectif total. Pour les Cyanobactéries productrices de toxines, le biovolume total est la somme de tous les biovolumes spécifiques, exprimé en $\mu\text{m}^3/\text{l}$. La biomasse totale des cyanotoxines est alors obtenue par la conversion du biovolume total en biomasse totale ($1\mu\text{m}^3 = 10^{-9} \text{mg}$) en considérant que les algues ont une densité sensiblement identique à celle de l'eau. La biomasse est obtenue à l'aide des formules ci-contre présentées :

$$B_s = V \times D$$

$$B_t = \sum B_s$$

$$B' = B_t (10^{-9} \text{mg/l})$$

Avec B_s ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) = biovolume spécifique ; V ($\mu\text{m}^3/\text{cell}$) = volume spécifique ; D (cell/l) = Densité spécifique ; B_t = biovolume total ; B' (10^{-9}mg/l) = biomasse totale.

Effets des impacts des Cyanobactéries sur la qualité des eaux

Pour l'évaluation des impacts sur la qualité des eaux, des photographies ont été prises à l'aide d'un appareil photographique numérique de marque Nikon VR & ISO 2000.

Résultats et discussion

I. Cyanobactéries

I.1. Composition du peuplement dans la station d'étude

Un total de 26 taxons de Cyanobactéries a été récolté dans la colonne de l'eau à la station S3 durant un cycle journalier de 24h au cours des différentes saisons climatiques (Tableau 1). Ces taxons appartenant toutes à la classe des Cyanophyceae sont réparties en 17 Chroococcales et 9 hormogonales indiquant une richesse taxinomique relativement élevée au niveau de la station d'étude. De ces taxons, les espèces *Chroococcus minutus*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis flos-aquae*, *Microcystis wesenbergii*, *Snowella lacustris*, *Anabaena constricta*, *Pseudanabaena cf. limnetica* et *Raphidiopsis curvata* sont productrices de métabolites. Cette richesse pourrait être liée à la concentration en nutriments mesurés dans la retenue d'eau et de la stabilité de la colonne de l'eau. En effet, selon Adon (2013), très peu de variations significatives d'une période de 3 heures à l'autre et cela, quelle que soit la saison considérée sont notées. En outre, les eaux de la retenue demeurent nettement caractérisées par une teneur relativement faible en nitrates et des teneurs plus fortes en phosphore réactif soluble qui proviendrait vraisemblablement des sources diffuses et internes liées aux activités anthropiques aux alentours de la retenue et des activités biologiques qui s'y déroulent. Les teneurs en sels nutritifs, en azote et en phosphore, sont des éléments essentiels de croissance mais sont

généralement limitant dans l'eau (Wetzel & Likens, 2000). Fréquemment, les efflorescences de cyanobactéries sont liées à de fortes concentrations ponctuelles en phosphore et en azote. Chen *et al.* (2003) indiquent dans leurs travaux que le phosphore est sans contredit l'élément limitant dans la plupart des écosystèmes aquatiques et est donc généralement le principal responsable des fleurs d'eau de cyanobactéries. En revanche, les résultats de l'étude de Watson *et al.* (1997) stipulent que la proportion de cyanobactéries augmente de façon marquée lorsque les lacs sont hypereutrophes (> 100 µg P L⁻¹), composant alors plus de 70 % de la biomasse phytoplanctonique. Cette observation est en adéquation avec l'étude de Adon (2013) menée sur la retenue d'alimentation en eau potable de la ville d'Adzopé.

Alors que le phosphore et la stabilité de la colonne d'eau semblent être les facteurs clés directement impliqués dans la prolifération de cyanobactéries, la production de cyanotoxines n'est pas nécessairement régulée par ces mêmes facteurs. En effet, plusieurs études suggèrent que l'azote est un élément déterminant dans la production de toxines. Toutefois, les résultats divergent et aucun facteur ne peut expliquer à lui seul la production de cyanotoxines. Plusieurs études suggèrent le rôle indirect des facteurs environnementaux dans la production de toxines par une stimulation de la croissance cellulaire favorisant la production de cyanotoxines (Chen *et al.*, 2003).

Tableau 1. Liste floristique observée à la station d'étude durant le cycle journalier

Cyanobacteria	Métabolites	Heures							
		6h	9h	12h	15h	18h	21h	24h	3h
Cyanobacteria									
Cyanophyceae									
Chroococcales									
<i>Aphanothece</i> sp.		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Aphanothece</i> sp.1		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>grevillei</i>		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Aphanocapsa</i> sp.		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chroococcus limneticus</i>		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chroococcus minutus</i>	Cyanotoxines	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Coelomoron</i> sp.		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Gloeothece rupestris</i>		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Gloeothece</i> sp.		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Merismopedia glauca</i>		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Merismopedia punctata</i>		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Cyanotoxines	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Microcystis flos-aquae</i>	Cyanotoxines	X	X	X	X	X	X	X	X

<i>Microcystis smithii</i>		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Microcystis wesenbergii</i>	Cyanotoxines	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Synechocystis</i> sp.		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Snowella lacustris</i>	Cyanotoxines	X	X	X	X	X	X	X	X
Hormogonales									
<i>Anabaena constricta</i>	Cyanotoxines	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Anabaena</i> sp.									X
<i>Arthrospira</i> sp.		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Komvophoron</i> sp.		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Lynngbya martensiana</i>		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Planktothrix</i> sp.		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Pseudanabaena</i> cf. <i>limnetica</i>	Cyanotoxines	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Raphidiopsis curvata</i>	Cyanotoxines	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Spirulina princepsps</i>		X	X	X	X	X	X	X	X

I.2. Variation saisonnière du nombre de taxons et de la biomasse des cyanotoxines

Le nombre de taxons de Cyanobactéries productrices de cyanotoxines et leurs biomasses sont présentés dans les tableaux 2 et 3. Toutes les espèces productrices de cyanotoxines sont observées à 18h avec un nombre de taxons et de biomasse relativement élevés de l'espèce *Pseudanabaena* cf. *limnetica* dans toute la colonne de l'eau dans les mois de septembre et novembre durant la petite saison des pluies. À cette même période à 21h, cette espèce est présente dans toute la colonne de l'eau de surface à 2m en septembre et de la surface à 3m de profondeur avec un nombre de taxons et une biomasse relativement élevée. Une absence de cette espèce est notée dans toute la colonne de l'eau à 6h et 12h à partir de 1m de profondeur. À 9h, *Pseudanabaena* cf. *limnetica* est collecté en grande saison pluvieuse dans le mois de mai et en petite saison pluvieuse en septembre et novembre. En revanche, l'espèce est récoltée à 6h du matin en grande saison de pluie dans le mois de mai, en petite saison pluvieuse en novembre et en grande saison sèche en février. Entre 24h et 3h du matin, cette espèce est échantillonnée en petite saison de pluie en septembre et en grande saison sèche en février. L'espèce *Anabaena constricta* est quant à elle échantillonnée dans la colonne de l'eau durant toutes les saisons d'étude au cours du jour à 6h, 9h et 15h et en soirée à 24h et 3h du matin. Cette espèce a été collectée à 21h à 2m de profondeur en mai durant la grande saison de pluie, en petite saison de pluie dans les mois de septembre et novembre et en grande saison sèche en février dans la colonne de l'eau. Les autres espèces telles que *Chroococcus minutus*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis flos-aquae*, *Microcystis*

wesenbergii, *Snowella lacustris*, *Raphidiopsis curvata* ont été sporadiquement récoltées dans quelques saisons. La présence et la dominance des espèces *Anabaena constricta* et *Pseudanabaena* cf. *limnetica* dans la colonne de l'eau dans presque toutes les heures et saisons seraient limitées par une combinaison de variables, impliquant les paramètres environnementaux et probablement le broutage. En effet, selon certains auteurs (Lampert, 1987 ; Bouvy *et al.*, 2001), le broutage par le zooplancton, l'un des facteurs de contrôle descendant du phytoplancton, s'exerce peu sur les cyanobactéries par rapport aux autres groupes du phytoplancton. Certaines cyanobactéries ont développé différents moyens de défense pour éviter leur consommation par le zooplancton. Hormis une libération de composés chimiques, voire toxiques, qui leur procureraient un « mauvais goût » selon (Haney, 1987), leur association en colonies ou leur forme en filaments ne permette pas au zooplancton de réaliser leurs mécanismes de filtration ou de broutage. En revanche, selon les cas, les facteurs environnementaux influencent la production de toxines soit en régulant l'abondance des cellules productrices de toxines, soit en régulant le taux de production de toxines par ces cellules. Les résultats de ces études présentent parfois des résultats contradictoires (Sivonen & Jones, 1999 ; Mikalsen *et al.*, 2003). Les variations dans la quantité et les types de toxines produites étant contrôlées par plusieurs facteurs environnementaux, il serait intéressant de connaître les effets de ces facteurs dans la colonne de l'eau afin de limiter la toxicité de ces cyanobactéries lorsqu'ils peuvent être contrôlés.

Les floraisons de cyanobactéries, définies comme étant une augmentation plus rapide que la normale de la biomasse de cyanobactéries peuvent apparaître en quelques jours seulement (Paerl, 1988). Les floraisons proviennent de la redistribution verticale en surface d'une population déjà présente (Reynolds & Walsby, 1975). Dans le cas de réservoir d'eau potable, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) suggère une limite de 10 mg/m³ de chlorophylle *a* (soit environ 20 000 cellules/ml) pour éviter les irritations cutanées (OMS, 2003). En outre, selon Chorus & Bartram (1999), une densité de cyanobactéries de 2 000 cellules par millilitre est une limite acceptable pour l'eau de consommation. Une densité de cyanobactéries de 100

000 cellules par millilitre est une limite pouvant servir de guide pour un seuil d'alerte modéré lors d'un usage à des fins récréatives. Cette valeur guide est également utilisée par le groupe scientifique de l'eau de l'INSPQ. Les différentes espèces de cyanobactéries de même que les stades de développement d'une même espèce présentent des tailles fortes différentes, ce qui affectera la biomasse par unité de cellule. De plus une même espèce peut synthétiser plusieurs toxines différentes, dont des hépatotoxines peptidiques (microcystines et nodularines), la cylindrospermopsine et ses dérivées, les neurotoxines (anatoxines et les Paralytic Shellfish Poisons ou PSP), les dermatoxines et certains lipopolysaccharides (Chorus & Bartram, 1999).

Tableau 2. Nombre d'individus des espèces productrices de métabolites dans la station d'étude

	Mai								Septembre								Novembre								Février							
	Profondeurs (m)																															
6h	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6					
<i>Chroococcus minutus</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
<i>Microcystis aeruginosa</i>	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
<i>Microcystis wesenbergii</i>	8	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
<i>Anabaena constricta</i>	56	0	68	0	14	16	0	14	0	11	0	25	0	0	0	12	0	13	0	27	6	32	42	0	25	0						
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	75	0	18	56	21	0	0	0	0	0	0	0	0	29	12	33	0	0	0	0	14	56	24	0	0	0						
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0						
9h																																
<i>Chroococcus minutus</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
<i>Microcystis aeruginosa</i>	8	0	0	0	0	0	0	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
<i>Microcystis wesenbergii</i>	8	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
<i>Anabaena constricta</i>	32	0	18	0	16	0	0	0	21	1	0	0	8	0	42	16	17	0	0	0	0	0	27	0	7	1						
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	75	0	18	56	21	0	0	0	0	16	4	28	0	60	70	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
12h																																
<i>Chroococcus minutus</i>	0	48	34	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Anabaena constricta</i>	0	0	10	0	0	0	0	56	58	0	0	48	0	89	28	0	0	12	0	0	19	40	0	58	48	0						
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	24	8	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	36	0	18	46	0	0	0	10	6	0	0	0	0						
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	1	0	0	0	1	0	2	0	0	0						
15h																																
<i>Chroococcus minutus</i>	0	16	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	40	20	0	0	0	0	14	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					

Adon et al. : DYNAMIQUE DES CYANOTOXINES DE LA RETENUE D'ADZOPE : IMPACTS SUR LA QUALITE DES EAUX

<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	16	0	0	0	0	0	11	11	46	0	14	28	0	16	0	0	0	0	11	2	46	0	14	2	2	
3h																											
<i>Chroococcus minutus</i>	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Microcystis wesenbergii</i>	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anabaena constricta</i>	0	16	29	55	49	34	0	0	0	0	0	0	0	16	29	55	14	49	34	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	21	28	60	88	28	0	0	0	0	0	0	0	21	28	60	88	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 3. Biomasse des espèces productrices de métabolites dans la colonne de l'eau à la station d'étude

	Mai							B/B' ($\mu\text{m}^3/\text{l}$)/(10^{-9}mg/l)
	Profondeurs (m)							
6h	0	1	2	3	4	5	6	
<i>Chroococcus minutus</i>	2261409,6	0	0	0	0	0	0	2261409,6
<i>Microcystis aeruginosa</i>	10104340	0	0	0	0	0	0	10104339,97
<i>Microcystis wesenbergii</i>	7976753,43	0	0	0	0	6979659,25	0	14956412,67
<i>Anabaena constricta</i>	131664292	0	399695172	0	686535237,1	37618369,2	0	1255513071
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	29900860,2	0	17940516,1	44651951,3	16744481,72	0	0	109237809,3
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	3555202,026	0	0	0	0	0	3555202,026
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9}mg/l)	181907655	3555202,026	417635688	44651951,3	703279718,8	44598028,4	0	
9h								
<i>Chroococcus minutus</i>	2261409,6	0	0	0	0	0	0	2261409,6
<i>Microcystis aeruginosa</i>	10104340	0	0	0	0	0	0	10104339,97
<i>Microcystis wesenbergii</i>	7976753,43	0	0	0	0	6979659,25	0	14956412,67
<i>Anabaena constricta</i>	75236738,3	0	105801663	0	761771975,4	0	0	942810377
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	29900860,2	0	17940516,1	44651951,3	16744481,72	0	0	109237809,3
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	7110404,051	0	0	0	0	0	7110404,051
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9}mg/l)	125480102	7110404,051	123742179	44651951,3	778516457,1	6979659,25	0	
12h								

Adon et al. : DYNAMIQUE DES CYANOTOXINES DE LA RETENUE D'ADZOPE : IMPACTS SUR LA QUALITE DES EAUX

<i>Chroococcus minutus</i>	0	54273830	38443963	0	1130704,8	0	0	93848497,8
<i>Anabaena constricta</i>	0	0	498443391	0	0	0	0	498443391,3
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	19136550,54	6378850,18	0	0	0	0	25515400,72
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	7110404,051	0	0	0	0	0	7110404,051
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	0	80520784,59	543266204	0	1130704,8	0	0	
15h								
<i>Chroococcus minutus</i>	0	9045638,4	0	2261409,6	4522819,2	0	0	15829867,2
<i>Anabaena constricta</i>	1904429939	0	0	1062718929	0	0	216305622,6	3183454491
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	19933906,8	0	0	0	0	0	0	19933906,81
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	0	0	0	3555202,026	0	0	3555202,026
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	1924363846	9045638,4	0	1064980339	8078021,226	0	216305622,6	
18h								
<i>Chroococcus minutus</i>	15829867,2	4522819,2	3392114,4	0	0	4522819,2	0	28267620
<i>Microcystis flos-aquae</i>	0	0	29721383,3	0	0	0	0	29721383,26
<i>Microcystis wesenbergii</i>	47860520,6	0	0	0	0	0	0	47860520,55
<i>Anabaena constricta</i>	1279024551	0	0	0	0	0	0	1279024551
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	20731263,1	0	0	0	0	0	0	20731263,08
<i>Raphidiopsis curvata</i>	7110404,05	0	0	0	0	0	0	7110404,051
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	1370556606	4522819,2	33113497,7	0	0	4522819,2	0	
21h								
<i>Chroococcus minutus</i>	20804968	13568458	4522819,2	0	0	0	0	38896245,2
<i>Microcystis wesenbergii</i>	19144208,2	0	0	0	0	0	0	19144208,22
<i>Anabaena constricta</i>	0	0	705344422	0	0	0	0	705344421,7
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	19136550,5	130766428,7	59004364,2	255154007	0	0	0	464061350,6
<i>Raphidiopsis curvata</i>	5688323,24	0	0	0	0	0	0	5688323,241
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	64774050	144334886,7	768871605	255154007	0	0	0	
24h								
<i>Anabaena constricta</i>	23511480,7	456122726	1716338093	0	0	0	0	2195972300

Adon et al. : DYNAMIQUE DES CYANOTOXINES DE LA RETENUE D'ADZOPE : IMPACTS SUR LA QUALITE DES EAUX

<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	6378850,179	0	0	0	0	0	6378850,179
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	93973854	606836462,9	2485209698	255154007	0	0	0	
3h								
<i>Chroococcus minutus</i>	0	2261409,6	0	0	0	0	0	2261409,6
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0	0	0	27786934,9	0	0	0	27786934,9
<i>Microcystis wesenbergii</i>	2648743832	0	0	0	0	0	0	2648743832
<i>Anabaena constricta</i>	0	380885987,7	230412511	691237533	394992876,1	5210144128	0	6907673036
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	86911833,7	0	0	0	0	0	86911833,7
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	2648743832	470059231	230412511	719024468	394992876,1	5210144128	0	

Tableau 3 suite

	Septembre						B/B' ($\mu\text{m}^3/\text{l}$)/(10^{-9} mg/l)
	Profondeurs (m)						
	0	1	2	3	4	5	
6h	0	1	2	3	4	5	($\mu\text{m}^3/\text{l}$)/(10^{-9} mg/l)
<i>Microcystis wesenbergii</i>	0	0	7976753,43	0	0	0	14956412,67
<i>Anabaena constricta</i>	0	0	0	1203787813	0	310351546	1255513071
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	118806085	47841376,35	133955854	0	0	0	109237809,3
<i>Raphidiopsis curvata</i>	3555202,03	0	3555202,03	0	0	0	3555202,026
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	122361287	47841377,35	145487811	1203787816	4	310351551	
9h							
<i>Microcystis aeruginosa</i>	353651899	0	0	0	0	0	353651898,8
<i>Anabaena constricta</i>	0	1984368973	0	0	0	75236738,3	2059605711
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	0	6378850,18	1594712,55	11162987,81	0	19136550,53
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	14220808,1	0	0	0	0	14220808,1
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	353651899	1998589781	6378850,18	1594712,55	11162987,81	75236738,3	
12h							
<i>Chroococcus minutus</i>	121252080	0	0	0	0	0	121252079,6

Adon et al. : DYNAMIQUE DES CYANOTOXINES DE LA RETENUE D'ADZOPE : IMPACTS SUR LA QUALITE DES EAUX

<i>Anabaena constricta</i>	526657168	545466352,8	0	0	451420429,9	0	1523543951
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	35083676	0	0	0	0	0	35083675,99
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	682992924	545466352,8	0	0	451420429,9	0	
15h							
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0	50521699,83	25260849,9	0	0	0	75782549,74
<i>Microcystis wesenbergii</i>	0	0	0	0	0	31907013,7	31907013,7
<i>Anabaena constricta</i>	0	239817103,4	347969915	0	1880918458	1090932706	3559638182
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	395488711	247977800,7	59004364,2	28704825,8	0	44651951,3	775827653
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	395488711	538316603,9	432235129	28704825,8	1880918458	1167491671	
18h							
<i>Microcystis aeruginosa</i>	78308634,7	27786934,9	27786934,9	0	0	0	31907013,7
<i>Anabaena constricta</i>	0	42320665,3	0	3253988932	0	258626288	3559638182
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	11162987,8	60599076,7	11162987,8	35083676	0	49834767	775827653
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	89471622,5	130706676,9	38949922,7	3289072608	0	308461055	
21h							
<i>Chroococcus minutus</i>	0	0	2261409,6	0	0	0	31907013,7
<i>Anabaena constricta</i>	390290580	451420429,9	0	827604121	0	0	3559638182
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	66977926,9	105251028	133557176	0	0	0	775827653
<i>Raphidiopsis curvata</i>	7110404,05	0	3555202,03	0	0	0	775827653
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	464378911	556671457,9	139373787	827604121	0	0	
24h							
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0	0	0	0	63152124,78	0	31907013,7
<i>Anabaena constricta</i>	75236738,3	300946953,2	451420430	3931119577	270382028,3	18809184,6	3559638182
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	44651951,3	178607805	73356777,1	0	145517519,7	11162987,8	775827653
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	119888690	479554758,2	524777207	3931119577	479051672,8	29972172,4	
3h							

<i>Chroococcus minutus</i>	0	1809127,7	0	0	0	9045638,4	31907013,7
<i>Anabaena constricta</i>	216305623	4664677775	319756138	0	0	0	3559638182
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	114819303	95682752,69	140334704	11162987,8	0	0	775827653
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	331124926	4762169655	460090842	11162987,8	0	9045638,4	

Tableau 3 suite

	Novembre							B/B' ($\mu\text{m}^3/\text{l}$)/(10^{-9} mg/l)
	Profondeurs (m)							
	0	1	2	3	4	5	6	
6h								
<i>Anabaena constricta</i>	329160730	0	258626288	0	2,351E+09	0	0	419847870
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	329160730	0	258626288	0	2,351E+09	0	0	
9h								
<i>Chroococcus minutus</i>	0	0	0	8480286	0	0	0	8480286
<i>Microcystis wesenbergii</i>	0	0	0	7976753,4	0	0	0	7976753,426
<i>Anabaena constricta</i>	0	98748219	385588284	409099765	0	0	0	893436267,4
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	23920688	27907470	0	124387579	0	0	0	176215736,2
<i>Raphidiopsis curvata</i>	3555202	0	0	0	0	0	0	3555202,026
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	27475890	126655689	385588284	549944383	0	0	0	
12h								
<i>Microcystis aeruginosa</i>	47995615	0	0	0	0	0	0	47995614,83
<i>Anabaena constricta</i>	2,097E+09	2,633E+09	0	28213777	0	0	1,862E+09	6620832971
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	14352413	0	7176206,5	18339194	0	0	0	39867813,62
<i>Raphidiopsis curvata</i>	14220808	0	3555202	3555202	0	0	0	21331212,15
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) / B' (10^{-9} mg/l)	2,174E+09	2,633E+09	10731408	50108173	0	0	1,862E+09	
15h								
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0	184404204	0	0	0	0	0	184404204,4
<i>Anabaena constricta</i>	304708790	253923992	526657168	0	827604121	1,241E+09	0	3154300254

Adon et al. : DYNAMIQUE DES CYANOTOXINES DE LA RETENUE D'ADZOPE : IMPACTS SUR LA QUALITE DES EAUX

<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	3189425,1	0	0	0	0	0	0	3189425,09
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	3555202	3555202	0	0	0	0	7110404,052
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) /B' (10^{-9}mg/l)	307898215	441883398	530212370	0	827604121	1,241E+09	0	
18h								
<i>Microcystis aeruginosa</i>	55573870	58099955	0	0	0	0	0	113673824,6
<i>Snowella lacustris</i>	973354,85	0	0	0	0	0	0	973354,8495
<i>Anabaena constricta</i>	926352341	573680130	0	0	1,354E+09	0	0	2854293760
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	90101259	90898615	61396433	0	0	0	0	242396306,8
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	10665606	0	0	0	0	0	10665606,08
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) /B' (10^{-9}mg/l)	1,073E+09	733344306	61396433	0	1,354E+09	0	0	
21h								
<i>Chroococcus minutus</i>	0	0	6784228,8	0	0	0	0	6784228,8
<i>Microcystis aeruginosa</i>	111147740	0	0	0	0	0	0	111147739,6
<i>Microcystis wesenbergii</i>	0	11965130	0	0	0	0	0	11965130,14
<i>Anabaena constricta</i>	942810377	653619164	0	846413306	0	0	136366588	2579209435
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	95682753	32691607	130766429	9568275,3	0	0	0	268709063,8
<i>Raphidiopsis curvata</i>	7110404,1	7110404,1	0	0	0	0	0	14220808,1
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) /B' (10^{-9}mg/l)	1,157E+09	705386305	137550658	855981581	0	0	136366588	
24h								
<i>Chroococcus minutus</i>	0	0	0	0	0	0	3392114,4	3392114,4
<i>Anabaena constricta</i>	0	182449090	68653524	0	0	0	0	3392114,4
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	2551540,1	0	0	0	0	0	3392114,4
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) /B' (10^{-9}mg/l)	1,164E+09	897497340	206204181	855981581	0	0	139758703	
3h								
<i>Chroococcus minutus</i>	0	1809127,7	0	0	0	0	0	1809127,7
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0	0	0	27786935	0	0	0	27786934,9
<i>Microcystis wesenbergii</i>	15953507	0	0	0	0	0	0	15953506,85

<i>Anabaena constricta</i>	0	304708790	188091846	691237533	394992876	5,21E+09	0	6789175173
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	69529467	0	0	0	0	0	69529466,96
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) /B' (10^{-9}mg/l)	15953507	376047385	188091846	719024468	394992876	5,21E+09	0	

Tableau 3 suite

	Février							B/B' ($\mu\text{m}^3/\text{l}$)/(10^{-9}mg/l)
	Profondeurs (m)							
6h	0	1	2	3	4	5	6	
<i>Anabaena constricta</i>	648916867,9	75236738	98748219	0	2,351E+09	0	0	3174049897
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	5581493,907	22325976	9568275,3	0	0	0	0	37475744,81
<i>Raphidiopsis curvata</i>	3555202,026	0	3555202	0	0	0	0	7110404,052
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) /B' (10^{-9}mg/l)	658053563,8	97562714	111871696	0	2,351E+09	0	0	
9h								
<i>Anabaena constricta</i>	0	0	2,558E+09	0	0	183389550	169282661	415817330,5
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) /B' (10^{-9}mg/l)	0	0	2,558E+09	0	0	183389550	169282661	
12h								
<i>Anabaena constricta</i>	954566117,3	423206653	0	545466353	451420430	0	0	2374659553
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	42259882,44	0	0	0	0	0	0	42259882,44
<i>Raphidiopsis curvata</i>	3555202,026	0	14220808	0	0	0	0	17776010,13
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) /B' (10^{-9}mg/l)	1000381202	423206653	14220808	545466353	451420430	0	0	
15h								
<i>Anabaena constricta</i>	2050201119	4,307E+09	0	0	0	0	357374507	6714878894
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	0	0	0	0	0	12757700	12757700,36
<i>Raphidiopsis curvata</i>	3555202,026	0	0	0	0	0	0	3555202,026
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$) /B' (10^{-9}mg/l)	2053756321	4,307E+09	0	0	0	0	370132207	
18h								

<i>Microcystis wesenbergii</i>	0	0	0	0	0	0	3988376,7	3988376,713
<i>Snowella lacustris</i>	0	2676725,8	0	0	0	0	0	2676725,836
<i>Anabaena constricta</i>	0	230412511	493741095	0	394992876	0	0	1119146482
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	0	27907470	3189425,1	0	0	0	0	31096894,63
<i>Raphidiopsis curvata</i>	0	0	3555202	14220808	0	3555202	0	21331212,15
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$)/B' (10^{-9}mg/l)	0	260996706	500485722	14220808	394992876	3555202	3988376,7	
21h								
<i>Anabaena constricta</i>	0	658321460	5,041E+09	0	282137769	0	0	5981320696
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$)/B' (10^{-9}mg/l)	0	658321460	5,041E+09	0	282137769	0	0	
24h								
<i>Chroococcus minutus</i>	0	0	0	0	0	1356845,8	0	1356845,8
<i>Microcystis aeruginosa</i>	0	0	0	0	50521700	0	0	50521699,83
<i>Anabaena constricta</i>	300946953,2	188091846	451420430	3,931E+09	216305623	7523673,8	28213777	5123621879
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	44651951,26	0	73356777	0	116414016	4465195,1	18339194	257227133,5
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$)/B' (10^{-9}mg/l)	345598904,5	188091846	524777207	3,931E+09	383241338	13345715	46552971	
3h								
<i>Chroococcus minutus</i>	0	0	0	0	0	0	9045638,4	9045638,4
<i>Anabaena constricta</i>	333863026,3	1,166E+09	79939034	0	0	0	0	1579971505
<i>Pseudanabaena cf. limnetica</i>	114819303,2	23920688	35083676	11162988	0	0	0	184986655,2
Total B ($\mu\text{m}^3/\text{l}$)/B' (10^{-9}mg/l)	448682329,5	1,19E+09	115022710	11162988	0	0	9045638,4	

B : biovolume ; B_t : biomasse

II. Impacts sur la qualité des eaux

Les impacts Cyanobactériennes sur la qualité des eaux sont présentés par la figure 4. La surface des eaux de la partie amont de la station S3 est colonisée par la présence relativement abondante de l'espèce *Nymphaea lotus* L., 1753 de la famille des Nymphaeaceae (Fig. 4a). Les eaux de cette station avec présence de liquide huileux (Fig. 4b) sont verdâtres (Fig. 4c). Nos résultats seraient comparables aux hypothèses relatées dans les travaux de certains auteurs comme Barica, 1978 ; Chorus & Bartram, 1999 ; Chen *et al.*, 2003 ; Cox *et al.*, 2005). En effet, l'apparition d'une floraison de Cyanobactéries est aisément identifiable par l'aspect esthétique d'un plan d'eau (turbidité, couleur verte) (Barica, 1978 ; Chorus & Bartram, 1999 ; Chen *et al.*, 2003), la production de composés malodorants (Chorus & Bartram, 1999 ; Chen *et al.*, 2003 ; Cox *et al.*, 2005), les coûts importants liés par exemple aux traitements de l'eau potable et à la fermeture de plage (Chen *et al.*, 2003) et les importants impacts sur les écosystèmes (Barica, 1978 ; Chorus & Bartram, 1999 ; Chen *et al.*, 2003). Mais le problème le plus important du point de vue de la santé publique est la synthèse par certains genres de cyanobactéries de toxines auxquelles sont sensibles les humains et les animaux s'abreuvant à partir des plans d'eau contaminés (Paerl *et al.*, 2001). Les effets des cyanotoxines sont bien connus (Carmichael, 1994). Elles peuvent causer une simple irritation de la peau (endotoxines lipopolysaccharidiques [LPS]), mais aussi des lésions du foie (hépatotoxines, e.g. microcystines) et affecter le système nerveux (neurotoxines, e.g. anatoxine) pouvant causer la mort (Pouria *et al.*, 1998 ; Chen *et al.*, 2003). Certaines toxines sont aussi soupçonnées d'avoir un potentiel cancérigène (Ueno *et al.*, 1996; Duy *et al.*, 2000). Il semble aussi qu'elles s'accumulent dans le réseau alimentaire (Kotak *et al.*, 1996). Les facteurs à l'origine de la synthèse des toxines ne sont pas très bien connus. Mais jusqu'à maintenant, elle ne serait pas corrélée positivement avec la biomasse de cyanobactéries (Jacoby *et al.*, 2000) mais pourrait être

liée à une faible concentration en fer et une abondance en zinc (Lukac & Aegerter, 1993). Les raisons justifiant la synthèse de toxines s'attaquant au bétail, qui ne sont pourtant pas des prédateurs des cyanobactéries, sont aussi mal connues. Les toxines pourraient en fait être une protection contre le zooplancton, qui simultanément, seraient nocives envers les vertébrés. Elles pourraient aussi être un artéfact d'une fonction métabolique ancienne, inutile maintenant et qui, par hasard, s'avèrent être toxiques (Carmichael 1994). Il est important de mentionner que les fleurs d'eau de cyanobactéries toxiques ne sont pas toxiques en tout temps (Carmichael, 2007 ; van Apeldoorn *et al.*, 2007 ; Codd *et al.*, 1999). Plusieurs cas de fleurs d'eau de cyanobactéries à potentiel toxique se sont apparemment révélés inoffensifs pour les animaux (Carmichael, 2007). Selon Carmichael, cette situation peut s'expliquer soit par une faible concentration de toxines ou par une faible biomasse des souches de cyanobactéries toxiques présentes, soit par la faible sensibilité des animaux aux toxines présentes, par la faible quantité de toxines ingérées ou par la présence d'autres aliments dans l'estomac de l'animal, ou enfin par l'âge et le sexe de l'animal. Ces observations seraient en adéquation avec nos résultats du fait du constat de l'absence de mortalités de poissons ou d'animaux s'abreuvant à la retenue d'eau, bien vrai que la richesse taxinomique ichtyologique caractérisée par 60% des captures de l'espèce planctonophage *Oreochromis niloticus* soit relativement faible avec 6 espèces répertoriées (Adon, 2013) et la faible richesse taxinomique du zooplancton caractérisée par 29 taxons avec une dominance des brouteurs (Ahizi, 2010).

Les espèces de Chroococcales *Microcystis wesenbergii*, *Snowella lacustris* et d'Hormogonales *Anabaena constricta*, bien que moins diversifiées en nombre de taxons et abondantes en terme de biomasse pour les Chroococcales dans la colonne de l'eau aux différentes saisons durant le cycle journalier ont été identifiées comme les espèces indicatrices de saprobie (Adon *et al.*, 2021a ; 2021b ; 2022).



Figure 4. Vue partielle de la partie amont de la station S3 (a) et de la couleur des eaux au niveau de cette station (b, c).

Remerciements

Cette étude est une contribution aux travaux menés dans le cadre du stage réalisé conjointement à la Direction de l'Hydraulique Humaine (Ministère des Infrastructures Economiques-Côte d'Ivoire et au Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique de l'Université Nangui Abrogoua (Ex Université Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire). Nos sincères remerciements sont adressés aux membres de ces deux institutions et à Mr KOUASSI Blé Alexis Tardy, actuellement Maître de Conférences, qui a été pour nous un très bon collaborateur scientifique depuis les premières années de notre stage.

References

Adon M.P., Niamien-Ebrottié J.E., Kouassi B.A.T., Aka-Koffi N.M., Bony K.Y., Ouattara A., Koné T., Gourene G. 2021a. Saprobic Indicators from Few

Ivorian's Hydrosystems. *In*: Poonam S. (Ed.). Research Trends in Environmental Science (Volume-7). AkiNik Publications. pp. 1-23. ISBN: 9789391216139

<https://doi.org/10.22271/ed.book.1219>

Marie Paulette ADON, Kotchy Yves, Tidiani KONE (2021b). Microorganisms as bioindicators of saprobiology. *LAP Lambert Academic Publishing AG & Co. KG, Sarrebruck, Germany*. KS OmniScriptum S.R.L. Publishing Group. *MoreBooks*. 140 p. ISBN-13: 978-620-3-92858-7; ISBN-10: 6203928585; EAN: 9786203928587

Adon M.P., Kouassi B.A.T., Aka-Koffi N.M., Boni K.Y., Ouattara A., Kone T., Gourene G. 2022. Overview of ecological studies from several ivorian's hydrosystems: species indicators of saprobity. *In*: Sanjeeb K.D. (Ed.). An introduction to plant Biology

- (Volume 2). AkiNik Publications. pp. 1-20. ISBN: 978-93-5570-180-0
<https://doi.org/10.22271/ed.book.1694>
- Adon M.P. 2013. Variations spatiale et saisonnière du phytoplancton de la retenue d'eau d'adzopé (côte d'ivoire) : composition, structure, biomasse et production primaire. Thèse de l'Université Nangui Abrogoua, Abidjan, 199 p.
- Adon M.P. 2023. Phycotoxines de quelques hydrosystèmes ivoirien. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 57(1): 10401-10413.
- Adon M.P., Ouattara A., Gourene G. 2011. Seasonal variation in the diversity and abundance of phytoplankton in a small African tropical reservoir. *African Journal of Microbiology Research*, 5(18): 2616-2626.
- Ahizi N.M. 2010. Structure et distribution verticale du zooplancton dans la retenue d'eau d'Adzopé (Côte d'Ivoire). Mémoire de DEA, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, 53 p
- Anonyme 2000. Plan d'aménagement de la forêt classée du MABI (Adzopé). Rapport d'activité de la SO.DE.FOR., Côte d'Ivoire, 156 p.
- Barica J. 1975. Summerkill risk in prairie ponds and possibilities of its prediction. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 32: 1283-1288.
<https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/f75-149>
- Barica J. 1978. Collapses of *Aphanizomenon flos-aquae* blooms resulting in massive fish kills in eutrophic lakes: effect of weather. *Verhandlungen Internationale Vereinigung fur theoretische und angewandte Limnologie*, 20: 208-213.
<https://doi.org/10.1080/03680770.1977.11896507>
- Boutray M.-L., Maghsoudi E., Ndong M., Dorner S. 2017. Revue de littérature sur les cyanotoxines dans les milieux aquatiques d'eau douce : leurs effets potentiels sur la santé des usagers et les critères ou seuils d'alerte de toxicité chronique et aiguë. Chaire de recherche du Canada en protection des sources d'eau potable. Polytechnique, Montréal, Canada. 230 pp.
- Bouvy M., Pagano M., Troussellier M. 2001. Effects of a cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) on bacteria and zooplankton communities in Ingazeira reservoir (northeast Brazil). *Aquatic Microbial Ecology*, 25 (3): 215-227.
- Brookes J.D., Ganf G.G. 2001. Variations in the buoyancy response of *Microcystis aeruginosa* to nitrogen, phosphorus and light. *Journal of Plankton Research*, 23: 1399-1411.
<https://doi.org/10.1093/plankt/23.12.1399>
- Carmichael W.W. 2007. "Health effects of toxin-producing cyanobacteria: The CyaboHABs", *Human and Ecological Risk Assessment*, 7: 1393-1407.
- Carmichael W.W. 1994. The toxins of cyanobacteria. *Scientific American*, 270: 78-86.
- Chen Y., Qin B., Teubner K., Dokulil M. 2003. "Long-term dynamics of phytoplankton assemblages: Microcystis-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China". *Journal of Plankton Research*, 25: 445-453.
<https://doi.org/10.1093/plankt/25.4.445>
- Chorus I., Bartram J. 1999. Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. *E & FN Spon.*, London. 415 p.
- Codd G.A., Bell S.G., Kaya K., Ward C.J., Beattie K.A., Metcalf J.S. 1999. Cyanobacterial toxins, exposure routes and human health. *European Journal of Phycology*, 34: 405-415.
<https://doi.org/10.1080/09670269910001736462>
- Compère P. 1974. Algues de la région du lac Tchad. II : Cyanophycées. *Cahiers O.R.S.T.O.M., série Hydrobiologie*, 8(3/4) : 165-198.
- Compère P. 1975. Algues de la région du lac Tchad. III : Rhodophycées, Euglénophycées, Cryptophycées, Dinophycées, Chrysophycées, Xanthophycées. *Cahiers O.R.S.T.O.M., série Hydrobiologie*, 9(3) : 167-192.
- Compère P. 1986. Flore pratique des algues d'eau douce de Belgique. Tome 1. Cyanophyceae. Jardin Botanique National de Belgique, Meise, 120 p.
- Compère P. 1989. Flore pratique des algues d'eau douce de Belgique. Tome 2. Pyrrhophytes : Cryptophyceae, Dinophyceae ; Raphidophytes : Raphidophyceae ; Euglenophytes : Euglenophyceae. Jardin Botanique National de Belgique, Meise, 209 p.
- Coulibaly K.J. 2014. Cyanobactéries : - Etude écosystématique, caractérisation moléculaire et facteurs de virulence. Thèse unique de Doctorat de l'Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, 222 p.
- Coulibaly K.J., Coulibaly N.D., Grogan N., Niamien-Ebrottié J.E., Koffi K.S., Koudougou M., Amon L., Ouattara A., Ehuié P., Sylla A., Cissé B., Dosso M. 2014. Detection of potentially toxic *Microcystis* and cyanobacteria by molecular method in Côte d'Ivoire. *The Experiment*, 26: 1775-1787.
- Coulibaly K.J., Soumahoro M.-K., Niamien-Ebrottié J.E., Yéo K., Amon L., Djaman A.J., Dosso M. 2017. Déterminisme de la prolifération des cyanobactéries toxiques en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1): 266-279.
<http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.21>
- Cox P.A., Banack S.A., Murch S.J., Rasmussen U., Tien G., Bidig R.R., Metcalf J.S., Morrison L.F., Codd G.A., Bergman B. 2005. "Diverse taxa of cyanobacteria produce {beta}-N-methylamino-L-alanine, a neurotoxic amino acid", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102: 5074-5078.
- Desikachary T.V. 1959. Cyanophyta. Indian Council of Agriculture Research, New Delhi, 689 p.

- Dia A., Reynaud P.A. 1982. Le phytoplancton du lac de Guiers : approche qualitative et quantitative. *Cahiers ORSTOM. Série Biologie*, 45: 35-47.
- Duy T.N., Lam P.K., Shaw G.R., Connell D.W. 2000. Toxicology and risk assessment of freshwater cyanobacterial (blue-green algal) toxins in water. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 163: 113-185.
- Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P. 1971. Aperçu sur le régime hydrologique. In : Avenard J.M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J.L., Adjahoun E., Perraud A., (Eds.). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoire O.R.S.T.O.M., Paris, 50 : 109-155.
- Groupe scientifique sur l'eau 2017. Cyanobactéries et cyanotoxines dans l'eau potable et l'eau récréative. Dans *Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine*. Repéré sur le site de l'Institut national de santé publique du Québec <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/cyanobacteries>
- Halle B., Bruzon V. 2006. Profil Environnemental de la Côte d'Ivoire. Rapport final de la Commission Européenne, 133 p.
- Haney J.F. 1987. "Field studies on zooplankton-cyanobacteria interactions", *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21: 467-475. <https://doi.org/10.1080/00288330.1987.9516242>
- Huisman J., Matthijs H.C.P., Visser P.M. 2005. Harmful Cyanobacteria, In: Huisman J., Matthijs H.C., Visser P.M. (eds). Harmful Cyanobacteria. *Aquatic Ecology Series*, vol 3. Springer. pp. 1-23.
- 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*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57: 231-240. <http://dx.doi.org/10.1139/f99-234>
- Komárek J., Anagnostidis K. 2005. Cyanoprokaryota 2. Teil : Oscillatoriales. In : Büdel B., Krienitz L., Gärtner G. & Schagerl M. (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 19(2): 1-759.
- Komárek J., Anagnostidis K. 1999. Cyanoprokaryota. 1. Teil : Chroococcales. In : Ettl H., Gärtner G., Heynig H. & Mollenhauer D. (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 19(1) : 1-548.
- Kotak B.G., Zurawell R.W., Prepas E.E., Holmes C.F.B. 1996. *Microcystin*-LR concentration in aquatic food web compartments from lakes of varying trophic status. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 1974-1985.
- Kouassi Blé A.T. 2013. Taxinomie, composition floristique et dynamique spatio-saisonnière des algues périphytiques de la retenue d'eau d'adzopé (côte d'ivoire). Thèse unique de Doctorat de l'Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, 207 p.
- Kra Y.Q.F., Allouko J.R., Adon M.P., Kouassi N.C. & Bony K.Y. 2021. Structure and spatial distribution of phytoplankton from the Bouake's research station fishponds (central, Côte d'Ivoire). *International Journal of Zoology and Applied Biosciences*, 6 (5): 261-269. <https://doi.org/10.55126/ijzab.2021.v06.i05.022>
- Lampert W. 1987. Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21: 483-490. <https://doi.org/10.1080/00288330.1987.9516244>
- Laplace-Treyture C., Barbe J. & Dutartre A. 2007. Protocole standardisé d'échantillonnage, de conservation et d'observation du phytoplancton en plan d'eau. Département Milieux Aquatiques. Cemagref, 1-19.
- Lukac M., Aegerter R. 1993. Influence of trace metals on growth and toxin production of *Microcystis aeruginosa*. *Toxicon*, 31: 293-305.
- Mikalsen B., Boison G., Skulberg O.M., Fastner J., Davies W., Gabrielsen T.M., Rudi K., Jakobsen K.S. 2003. "Natural variation in the Microcystin Synthetase Operon *mcvABC* and Impact on Microcystin Production in *Microcystis* strains", *Journal of Bacteriology*, 185: 2774-2785.
- OMS 2003. Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1, Coastal and Freshwaters. World Health Organization. 219 p.
- Ouattara A. 2000. Premières données systématiques et écologiques du phytoplancton du lac d'Ayamé (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Katholieke Universiteit Leuven, Belgique, 207 p.
- Pearl H.W. 1988. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters. *Limnology and Oceanography*, 33: 823-847.
- Paerl H.W., Fulton R.S., Moisaner P.H., Dyble J. 2001. Harmful freshwater algal blooms, With an Emphasis on Cyanobacteria. *The Scientific World Journal*, 1: 76-113.
- Paerl H.W., Otten T.G. 2013. Harmful Cyanobacterial Blooms: Causes, Consequences, and Controls. *Microbial Ecology*, 65(4): 995-1010.
- Pouria S., de Andrade A., Barbosa J., Cavalcanti R.L., Barreto V.T., Ward C.J., Preiser W., Poon G.K., Neild G.H., Codd G.A. 1998. Fatal microcystin intoxication in haemodialysis unit in Caruaru, Brazil. *Lancet*, 352: 21-26. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(97\)12285-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(97)12285-1)
- Reynolds C.S., Walsby. A.E. 1975. "Water-blooms". *Biological Review*, 50: 437-481. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1975.tb01060.x>
- Sivonen K., Jones G. 1999. Cyanobacterial toxins. In: Chorus I., Bartram J. (Eds.). Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring, and Management. E & FN Spon, London. pp. 41-111

Sun J., Liu D. 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of plankton research*, 25 (2): 1331-1346.

<https://doi.org/10.1093/plankt/fbg096>

Ueno Y., Nagata S., Tsutsumi T., Hasegawa A., Watanabe M.F., Park H.D., Chen G.C., Chen G., Yu S.Z. 1996. Detection of microcystins, a blue-green algal hepatotoxin, in drinking water sampled in Haimen and Fusui, endemic areas of primary liver cancer in China, by highly sensitive immunoassay. *Carcinogenesis*, 17: 1317-1321.

<https://doi.org/10.1093/carcin/17.6.1317>

Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9: 1-39.

van Apeldoorn M.E., van Egmond H.P., Speijers G.J.A., Bakker G.J.I. 2007. "Toxins of cyanobacteria" *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(1): 7-60.

<https://doi.org/10.1002/mnfr.200600185>

Walsby A.E. 1994. "Gas vesicles" *Microbiological Reviews*", 58(1): 94-144.

<https://doi.org/10.1128/mr.58.1.94-144.1994>

Watson S.B., McCauley E., Downing J.A. 1997. "Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of differing nutrient status", *Limnology and Oceanography*, 42: 487-495.

Wetzel R.G., Likens G.E. 2000. *Limnological Analysis*. Third edition Springer-Verlag. 429 p.

Yao D.A.R. 2020. Etude des Cyanobactéries de la lagune Aghien et de leur potentialité à produire des métabolites secondaires. Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire. 191 p.