

Distribution Spatio-Temporelle du Phytoplancton en Relation avec Quelques Paramètres Physico-Chimiques dans le Système Lagunaire Adjin-Potou (Côte d'Ivoire)

Kandana Marthe Yéo, CR

Centre de Recherche en Ecologie,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Aya Nelly Berthe Kouadio, A

Laboratoire de Géosciences et Environnement,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Estelle Sévérine Konan, CR

Centre de Recherche Océanologique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Koffi Komoé, MC

Département de botanique, Université Félix Houphouët Boigny-Abidjan,
U.F.R. Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire

Droh Lanciné Goné, PT

Laboratoire de Géosciences et Environnement,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p269](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p269)

Submitted: 06 September 2023

Accepted: 13 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Yéo K.M., Kouadio A.N.B, Konan E.S., Komoé K. & Goné D.L. (2023). *Distribution Spatio-Temporelle du Phytoplancton en Relation avec Quelques Paramètres Physico-Chimiques dans le Système Lagunaire Adjin-Potou (Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 269. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p269>

Résumé

Le bassin versant du système lagunaire périurbain Adjin-Potou connaît ces dernières années une forte anthropisation susceptible de compromettre les usages et fonctions biologiques de cet hydrosystème. Afin de gérer durablement ces ressources en eau, une évaluation de la biodiversité algale en relation avec quelques paramètres physico-chimiques a été effectuée. Les prélèvements phytoplanctoniques se sont déroulés, en janvier, juin, août et novembre de l'année 2013. Neuf sites d'échantillonnage ont été retenus à cet effet. Les sels nutritifs (NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ et PO₄³⁻ et les paramètres

physico-chimiques classiques (pH, température, salinité et la turbidité) ont été également mesurés. Les résultats montrent que les sels nutritifs présentent de faibles concentrations. Les nitrates qui sont les plus représentés dans le milieu ont des concentrations moyennes mensuelles qui varient de $0,76 \pm 0,045$ mg.L⁻¹ à $4,92 \pm 2,09$ mg.L⁻¹ durant la période de l'étude. Les concentrations les plus élevées en éléments nutritifs ont été obtenues en lagune Potou. L'inventaire du phytoplancton a permis de dénombrer 80 taxons appartenant à six (6) embranchements (Cyanoprocarota, Chlorophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Dinophyta et Haptophyta caractéristiques des milieux pollués. Parmi ces taxons, 21 sont communs aux deux lagunes, 36 sont spécifiques à la lagune Adjin et 8 à celle de Potou. Cette lagune enregistre également les densités algales les plus élevées, surtout à la station 5 ($297\ 927 \times 10^3$ cellules.L⁻¹) où la pisciculture est pratiquée. Dans les échantillons, des taxons appartenant aux genres *Microcystis*, *Anabaena*, *Dinophysis* et *Oscillatoria*, pouvant produire des toxines susceptibles de nuire à la santé des êtres humains et des animaux sont identifiés. Les densités maximales dans les lagunes Adjin et Potou, ont été obtenues, respectivement dans les mois de juin et août et les Cyanobactéries dominent les peuplements des eaux.

Mots-clés: Lagune Adjin-Potou, Sels nutritifs, Phytoplancton, Densité, Côte d'Ivoire

Spatio-Temporal Distribution of Phytoplankton in Relation to Some Physico-Chemical Parameters in Adjin-Potou Lagoon System (Côte d'Ivoire)

Kandana Marthe Yéo, CR

Centre de Recherche en Ecologie,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Aya Nelly Berthe Kouadio, A

Laboratoire de Géosciences et Environnement,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Estelle Sévérine Konan, CR

Centre de Recherche Océanologique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Koffi Komoé, MC

Département de botanique, Université Félix Houphouët Boigny-Abidjan,
U.F.R. Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire

Droh Lanciné Goné, PT

Laboratoire de Géosciences et Environnement,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

In recent years, the watershed of Adjin-Potou peri-urban lagoon system has undergone significant anthropization, which is likely to compromise the uses and biological functions of this hydrosystem. In order to manage these water resources sustainably, an assessment of algal biodiversity in relation with some physico-chemical parameters was carried out. Phytoplankton sampling has been carried out in January, June, August and November 2013. Nine sampling sites were selected. Nutrients salts (NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ et PO₄³⁻) and classic physico-chemical parameters (pH, temperature, salinity and turbidity) were also measured. The results show low concentrations of nutrients. Nitrates, which are the most represented in the environment, have monthly mean concentrations ranging from 0.76 ± 0.045 mg.L⁻¹ to 4.92 ± 2.09 mg.L⁻¹ during the study period. The highest nutrient concentrations were found in Potou lagoon. The highest nutrients concentrations were obtained in Potou lagoon. The phytoplankton inventory revealed 80 taxa belonging to six (6) phyla (Cyanoprocaryota, Chlorophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Dinophyta and Haptophyta) characteristic of polluted environments. Of these taxa, 21 are common to both lagoons, 36 are specific to Adjin lagoon and 8 to Potou. This lagoon also records the highest algal densities, especially at station 5 (297 927.103 cells.L⁻¹) where fish farming is practiced. In the samples, taxa belonging to the genera *Microcystis*,

Anabaena, Dinophysis and Oscillatoria, which can produce toxins that can harm human and animal health, were identified. Maximum densities in the Adjin and Potou lagoons were obtained in June and August respectively, with Cyanobacteria dominating the water populations.

Keywords: Adjin-Potou lagoon, Nutrient salts, Phytoplankton, Density, Côte d'Ivoire

Introduction

L'approvisionnement en eau potable de la ville d'Abidjan est, jusqu'à présent, assuré à partir de la nappe du continental terminal, par 76 forages d'une profondeur moyenne de 120 mètres (Kouamé *et al.*, 2013). Du fait des variations climatiques et des activités anthropiques, les eaux souterraines de la nappe ne sont plus suffisantes aujourd'hui et la population se voit de plus en plus confrontée à de multiples pénuries d'eau. Les principaux facteurs à l'origine de ces difficultés sont entre autres, l'augmentation de la demande (liée à la croissance de la population et à l'augmentation du niveau de vie), la diminution des zones d'infiltration liée à l'urbanisation et à l'imperméabilisation des sols, qui réduisent le taux de recharge de la nappe (Traoré *et al.*, 2014). À ces facteurs, s'ajoute la dégradation de la qualité chimique des eaux souterraines liée au manque d'infrastructures d'assainissement adaptées au traitement des eaux de rejet, aggravés par l'insuffisance et à la précarité des services d'alimentation en eau potable et d'autre part à l'inaccessibilité aux installations d'assainissement. Jourda *et al.* (2006) et Ahoussi *et al.* (2008) ont révélé la pollution nitratée des eaux souterraines d'Abidjan. Ils concluent que ces pollutions proviendraient d'un mauvais assainissement, d'apport d'eaux usées et des excréta. D'autres travaux ont signalé la remontée d'eau salée dans les forages au Sud d'Abidjan, près des lagunes et de la mer. Ces facteurs tendent à mettre en péril la qualité des eaux souterraines et ont occasionné l'abandon de certains champs captant (Soro *et al.*, 2010). Il s'avère donc nécessaire de recourir à d'autres ressources en eau mobilisables.

Pour ce faire, des ressources en eau dont l'exploitation pourrait permettre de faire face aux besoins du District d'Abidjan ont été identifiées. Parmi celles-ci, figure la lagune Adjin qui est une lagune d'eau douce située à l'Est d'Abidjan. Cependant, avant d'envisager l'exploitation de cette ressource, il est nécessaire de s'assurer des potentialités réelles de la lagune Adjin. L'utilisation efficace de ce plan d'eau comme eau de boisson nous impose d'en connaître son fonctionnement qui passe par l'évaluation de sa qualité écologique (Fishar et Williams, 2008) ainsi que celle de la lagune Potou avec laquelle elle communique par un chenal naturel et par l'exutoire de la rivière Mé.

Sachant que l'eutrophisation est un phénomène complexe susceptible de se développer dans les eaux de surface et caractérisé par un développement anormal de certains types d'algues, perturbant l'écosystème aquatique et pouvant présenter des risques pour la santé animale et humaine, un suivi régulier s'avère nécessaire en vue de garantir une gestion efficace et durable de leurs ressources.

Nos travaux se sont particulièrement orientés vers une étude comparative des communautés phytoplanctoniques dans les deux lagunes en relation avec quelques paramètres physico-chimiques.

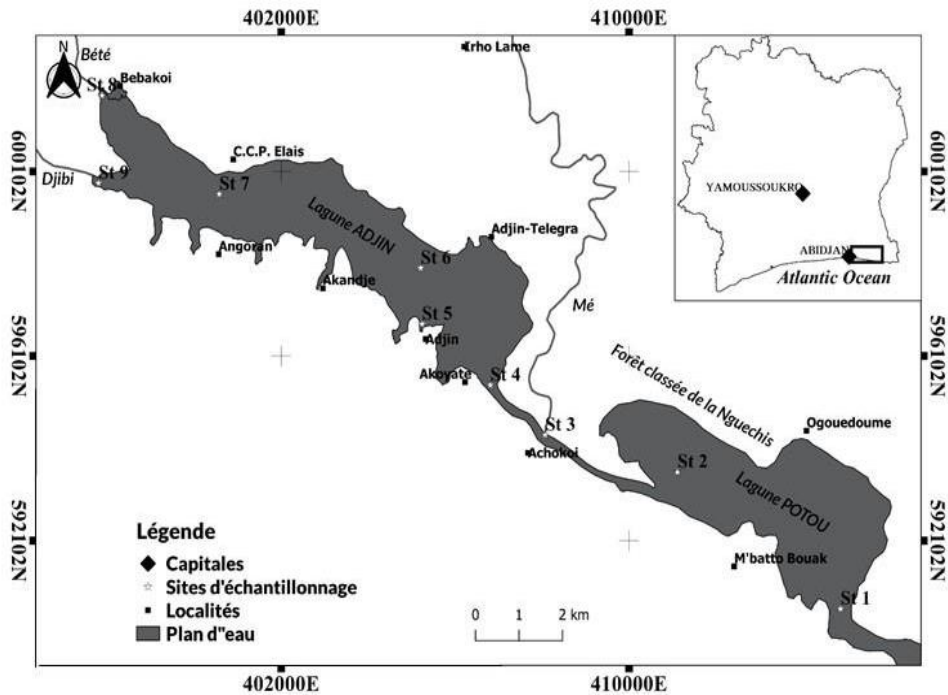
Matériel et méthodes

Situation géographique de la zone d'étude et choix des stations de prélèvement

Le système lagunaire Adjin-Potou constitue le secteur I de la lagune Ébrié avec une superficie de 43 km². Cet hydrosystème est situé entre les coordonnées 398 000 and 416 000 m Est et les coordonnées 590 000 et 620 000 m Nord (UTM 30). Ces deux lagunes communiquent entre elles par un canal naturel par lequel débouche l'exutoire de la rivière Mé. La lagune Adjin reçoit les eaux douces principalement des rivières Djibi et Bété et secondairement de la rivière Mé. La lagune Potou quant à elle reçoit les eaux de fleuve Comoé et de la rivière Mé et de façon modérée les eaux marines pendant la grande saison sèche (N'Guessan, 2008). La lagune Adjin a une superficie de 20,2 km² et la lagune Potou, une superficie de 22,8 km², avec des bassins versants respectifs de 72 km² et 135 km². La forêt sur le bassin versant de la lagune Adjin est fortement dégradée au profit des activités anthropiques et des installations humaines. En effet, on note une très forte pression urbaine sur le bassin versant de la Djibi dont environ 40% de la surface est urbanisée, et une urbanisation en forte progression sur celui de la Bété Chazot *et al.* (2016). La rivière Djibi reçoit les eaux usées d'une partie de la commune d'Abobo, l'une des grandes communes du district d'Abidjan et se jette dans la partie amont de la lagune Adjin.

Par ailleurs, la mangrove est détruite au profit des installations humaines. En effet, de nombreux villages sont situés à proximité du plan d'eau et les riverains s'adonnent également à des activités (pisciculture sur le plan d'eau, culture de marechiers, élevage) et le déversement de toutes sortes d'effluents dans ces eaux lagunaires qui peuvent être des sources de pollution chimique (Yéo *et al.*, 2015). Les cultures et jachères occupent la quasi-totalité du bassin (Koffi *et al.*, 2014). En lagune Potou, l'influence de l'intrusion saline est sensible en saison sèche, tout en restant modérée. Sa rive nord est occupée par la forêt de N'guéchié (Yéo, 2015) et selon la carte bathymétrique réalisé par N'Guessan en 2008, les profondeurs sont inférieures à 3 m sur les 22 km². Les profondeurs supérieures à 3 m se localisent à son entrée et à sa sortie.

Figure 1. Localisation des stations d'échantillonnage dans le système lagunaire Adjin-Potou



Neuf sites ont été retenus pour la caractérisation biotique des eaux des lagunes Adjin et Potou (figure 1). Spécifiquement, il y a des sites d'échantillonnage aux embouchures des principaux affluents, à savoir: la Mé (station 3), la Bété (station 8) et la Djibi (station 9). Le faible nombre de points de prélèvement dans la lagune Potou est du au fait que nous n'avons pas pu avoir accès à cette zone. En effet, les très faibles profondeurs ($\approx 0,5$ m) dues à l'ensablement de la lagune dans sa partie Est n'ont pas permis d'y effectuer un échantillonnage.

Echantillonnage et analyse des paramètres physico-chimiques et des micro-algues

Le prélèvement des algues planctoniques a été effectué, en janvier, juin, août et novembre de l'année 2013, correspondant respectivement à la grande saison sèche, la grande saison des pluies, la petite saison sèche et à la petite saison des pluies.

Le prélèvement des algues planctoniques s'est opéré à l'aide d'une bouteille de Niskin, à 1 m en dessous de la surface air-eau. La flore algale de 5 L d'eau a été concentrée sur place par filtration à l'aide d'un entonnoir. Les échantillons prélevés à chaque station sont recueillis dans des piluliers de 100 mL, puis fixés avec du formol à 5 % (Ouattara, 2000) pour les analyses au laboratoire.

L'observation des taxons phytoplanctoniques a été effectuée sous microscope ordinaire muni d'une chambre claire. Les observations sont faites d'abord à l'objectif 10x pour une vue d'ensemble, puis à l'objectif 40x pour plus de détails. Les différentes formes algales ont été mesurées à l'aide d'un micromètre-objet puis photographiées grâce à un appareil photo numérique.

Pour les Diatomées, une préparation spéciale visant à détruire la matière organique dans le but de conserver la coque siliceuse a été réalisée selon Leclercq et Maquet (1987).

L'identification des taxons a été réalisée à partir de combinaison de travaux de plusieurs auteurs dont ceux de Bourrelly (1981, 1985 et 1988), Couté et Iltis (1985), Da (1992, 2007), Zongo (1994), Ouattara (2000), Komoé (2010) et Konan (2014). Le dénombrement phytoplanctonique a été effectué selon la méthodologie de Uehlinger décrite par Lazzaro (1981).

La composition qualitative relative du phytoplancton de chacune des lagunes Adjin et Potou a été obtenue en déterminant le pourcentage de la densité phytoplanctonique de chaque embranchement par rapport à la densité total du phytoplancton dans chaque plan d'eau.

La température, le pH, la salinité et la turbidité ont été mesurés avec un multiparamètre de marque HANNA HI 9828. Les sels nutritifs ont été dosés selon les normes françaises NF T 90 013, NF T 90 012, NF T 90 015 et NF T 90-110, respectivement pour les nitrites, les nitrates, l'ammonium et les orthophosphates. Pour la réalisation de l'analyse univariée (test de Tukey de l'ANOVA à un facteur), le logiciel STATISTICA 7.1 a été utilisé pour comparer les moyennes de ces paramètres physico-chimiques dans les eaux des deux lagunes.

Résultats

Composition qualitative du phytoplancton du système lagunaire Adjin-Potou

La composition taxonomique de la flore algale du système lagunaire Adjin-Potou et de la rivière Mé, comprend au total 80 taxons appartenant à six (6) embranchements : Cyanoprocaryota (13 taxons), Chlorophyta (36 taxons), Bacillariophyta ou Diatomées (16 taxons), Euglenophyta (12 taxons), Dinophyta (2 taxons) et Haptophyta (1 taxon). Parmi ces taxons, 21 sont communs aux deux lagunes. Trente-cinq (35) taxons inventoriés, ont été récoltés dans les eaux de la lagune Potou dont 8 lui sont spécifiques, contre 67 en lagune Adjin dont 36 lui sont spécifiques (Tableau 1).

Tableau 1. Liste des taxons algaux répertoriés par station dans le système lagunaire Adjin-Potou

Phytoplankton	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9
Cyanobacteria									
<i>Anabaena affinis</i> Lemmerman	+	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>Anabaena</i> sp.	+	-	-	-	+	+	-	-	+
<i>A. spiroides</i> kleb	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	+	-	-	+	+	+	+	+	-
<i>Merismopedia elegans</i> Braun	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<i>Microcystis aeruginosa</i> Kützing	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>M. flos-aquae</i> (Wittrock) Kirchner	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>M. incerta</i> (Lemmerman) Lemmerman	+	-	+	+	+	+	+	-	-
<i>Microcystis novacekii</i> (Komárek) Compère	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oscillatoria princeps</i> Vaucher	-	-	-	-	+	+	+	+	+
<i>Oscillatoria</i> sp.1	+	+	+	-	+	-	+	-	+
<i>Oscillatoria</i> sp.2	-	-	-	+	+	+	+	+	+
<i>Oscillatorias</i> p.3	-	-	-	-	-	-	+	+	-
Dinophyta									
<i>Dinophysis</i> sp.	-	-	+	-	-	-	+	+	+
<i>Protoperidinium</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Chlorophyta									
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	+	+	-	+	+	-	-	+	+
<i>Ankistrodesmus bibraianus</i> (Reinsch) Korshikov	+	-	-	-	+	+	-	-	+
<i>A. falcatus</i> (Corda) Ralfs	-	-	-	-	+	+	+	+	+
<i>A. fusiformis</i> Corda	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>A. gracilis</i> (Reinsch) Korshikov	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Ankistrodesmus</i> sp.1	-	-	-	+	+	-	-	+	-
<i>Ankistrodesmus</i> sp.2	-	-	-	-	+	-	-	+	+
<i>Closterium gracile</i> Brébisson ex Ralfs	+	+	+	-	+	-	+	-	-
<i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A. Dang) Senn	-	-	-	+	+	-	+	+	+
<i>Cosmarium decorum</i> West & G.S. West	-	-	+	+	+	+	+	-	+
<i>C. spinuliferum</i> West & G.S. West	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cosmarium</i> sp.	-	-	-	+	+	+	+	+	+
<i>Euastrum</i> sp.	-	-	-	+	+	+	+	-	+
<i>Micrasterias</i> sp.	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Pandorina morum</i> (Müller)Bory	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Pediastrum biradiatum</i> var. <i>longecornutum</i> Gutwinski	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>P. duplex</i> Meyen	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gracillimum</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs	-	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>Pseudostaurastrum</i> sp.	-	-	-	-	+	+	-	-	+
<i>Scenedesmus bernardii</i> G.M. Smith	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>S. bicaudatus</i> Dedussenko	-	+	-	-	+	-	-	-	+
<i>S. dimorphus</i> (Turpin) Kützing	-	-	+	-	+	-	-	-	+
<i>S. denticulatus</i> Lagerheim	-	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>S. ecornis</i> (Ehrenberg) Schodat	-	-	-	-	+	-	-	+	+
<i>S. obtusus</i> Meyen	-	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>S. quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	+	+	+	+	+	+	+	+	+

<i>Schroederia</i> sp.	-	+	+	-	+	-	+	+	+
<i>Spirogyra</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Staurastrum cingulum</i> (West & G.S. West) G.M. Smith	+	-	+	+	-	-	+	+	-
<i>S. gracile</i> Ralfs ex Ralfs	-	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>S. polymorphum</i> Brébisson	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>S. volans</i> West & G.S. West	+	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>Stauroidesmus convergens</i> (Ehrenberg ex Ralfs) Teiling	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>S. triangularis</i> (Lagerh) Teiling	-	-	-	-	+	-	-	-	+
Bacillariophyta									
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>A. granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen			+	+	+	-	+		-
<i>A. granulata</i> var. <i>angustissima</i> (Otto Müller) Simonsen	+	+	+	+	+	-	+	+	+
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> fo. <i>Spiralis</i> (Otto Müller) Simonsen	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	+	+
<i>Fragilaria</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Frustulia</i> sp.	-	-	-	+	+	-	-	-	+
<i>Gyrosigma</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Petrodictyon gemma</i> (Ehrenberg) D.G. Mann	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Surirella robusta</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Surirella</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Terpsinoe musica</i>	+	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P.Compère	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Euglenophyta									
<i>Euglena proxima</i> P.A. Dangeard	-	-	+	-	+	-	-	-	+
<i>Lepocinclis acus</i> (O.F. Müller) B. Marin & Melkonian	+	+	-	+	+	+	+	+	+
<i>L. spirogyra</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Lepocinclis tripteris</i> (Dujardin) B.Marin & M.Melkonian	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phacus curvicauda</i> Svirendo	+	+	+	+	+	+	-	+	+
<i>P. longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Phacus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>P. tortus</i> Lemmerman	-	-	-	-	+	+	-	-	+
<i>Trachelomonas caudata</i> (Ehrenberg) F. Stein	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T. hispida</i> (Perty) F. Stein	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>T. planctonica</i> Svirenko	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>T. similis</i> A.C. Stokes	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Haptophyta	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyocha</i> sp.	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Abondance totale du phytoplancton	29	23	30	29	47	31	36	42	45

St = Station (St 1 et 2 = lagune Potou; St 3 = rivière Mé; St 4 à 9 = lagune Adjin). Symboles
 + = présent ; - = non identifié.

En ce qui concerne le nombre de taxons par station (Tableau 1), le maximum de taxons a été enregistré à la station 5 située sur la plan lagunaire Adjin (47 taxons) ; tandis que le minimum a été obtenu à la station 2 sur la lagune Potou (23 taxons). Les stations 5 à 9 situées sur la lagune Adjin, ont enregistré plus de taxons dans système lagunaire Adjin-Potou. La lagune Adjin comporte une composition phytoplactyonique plus diversifiée que la lagune Potou.

Dans les plans d'eau étudiés, l'embranchement des Chlorophyta a le nombre de taxon le plus élevé. En effet, les Chlorophyta sont de 52,24 %, 35,48 %, et 34,29 % respectivement à la lagune Adjin, la rivière Mé et la lagune Potou (Tableau 1 et 2).

Tableau 2. Répartition de la flore algale dans les lagunes Adjin et Potou et fréquences des embranchements phytoplactoniques

Embranchements	Lagune Potou		Rivière Mé		Lagune Adjin	
	Nombre de taxons	Pourcentage (%)	Nombre de taxons	Pourcentage (%)	Nombre de taxons	Pourcentage (%)
Cyanoprocaryota	9	25,71	6	19,36	12	17,91
B Bacillariophyta	8	22,86	8	25,81	7	10,45
Dinophyta	1	2,86	2	6,45	2	2,98
Chlorophyta	12	34,29	11	35,48	35	52,24
Euglenophyta	5	14,28	4	12,90	10	14,93
Haptophyta	0	0	0	0	1	1,49
Total	35	100	31	100	67	100

Comme le montre les figures 2a et 2b, les Cyanoprocaryota dominent la flore algale des deux lagunes avec 49,76 % et 88,66 %, respectivement à Potou et à Adjin. Les Bacillariophyta suivent avec respectivement 47,84 % et 4,97 %,

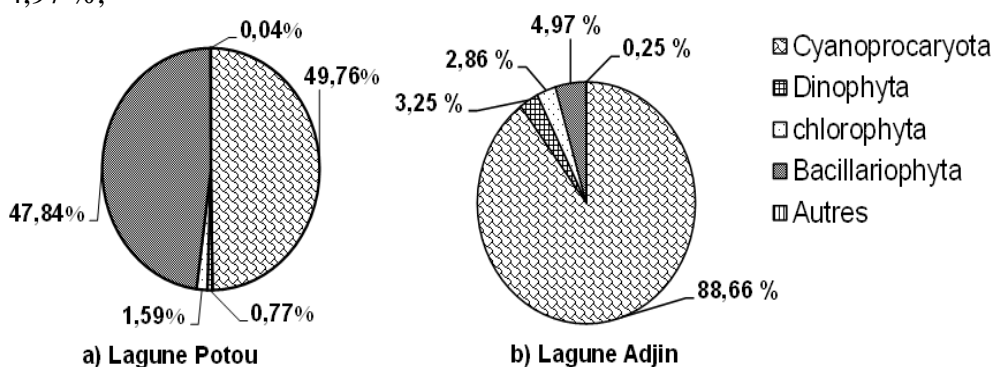


Figure 2. Composition qualitative relative du phytoplancton des lagunes Potou (a) et Adjin (b)

Puis les Dinophyta et les Chlorophyta représentent respectivement 0,77 % et 1,59 % à Potou et 3,25 % et 2,86 % à Adjin les autres (Euglenophyta,

Haptophyta) ne représentent pas plus de 1 % de la densité totale. En lagune Potou, les Bacillariophyta ont une proportion presque identique à celle des Cyanoprocarvota.

Parmi les taxons qui ont les densités phytoplanctoniques élevées de la période de l'étude, figurent : *Microcystis aeruginosa* (28,93 %), *Anabaena affinis* (20,15 %), *Oscillatoria* sp.2 (13,28 %), *Microcystis flos-aquae* (11,76 %), *Anabaena spiroides* (10,51 %), *Aulacoseira* sp. (6,42 %), *Protoperidinium* sp. (2,70 %), *Oscillatoria* sp.1 (1,39 %), *Ulnaria ulna* (1,33 %) et *Pediastrum duplex* (1,27 %). Les autres taxons ont un pourcentage inférieur à 1 % de la densité totale. Cependant, les taxons tels que *Oscillatoria* sp., *M. aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *U. ulna*, *A. sp.*, *Cosmarium spinuliferum*, *Scenedesmus quadricauda*, *P. duplex*, *Staurastrum volans* et *Staurastrum* sp. sont présents en nombre important dans 50 % des prélèvements.

Composition quantitative du phytoplacton du système lagunaire Adjin-Potou

La densité la plus élevée, $297\ 927 \times 10^3$ cellules.L⁻¹, est enregistrée à la station 5 (figure 3a). Suivent les stations 9 et 8 avec respectivement $155\ 925 \times 10^3$ cellules.L⁻¹ et $151\ 264 \times 10^3$ cellules.L⁻¹. La station 2 possède la plus faible densité algale avec seulement $12\ 190 \times 10^3$ cellules.L⁻¹. À toutes les stations (figure 3b), on note une prédominance de la densité des individus appartenant à l'embranchement des Cyanoprocarvota, hormis la station 4 où les Bacillariophyta sont dominantes. Aux stations 1 et 2 les Bacillariophyta sont le groupe dominant après les Cyanophytes.

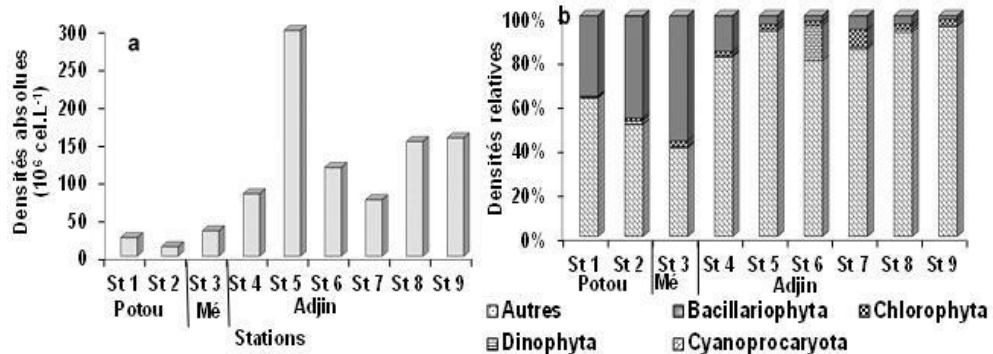


Figure 3. Variations spatiales des densités absolues (a) et relatives (b) des grands groupes phytoplanctoniques dans les lagunes Potou et Adjin et la rivière Mé en 2013.

Au cours de l'échantillonnage, la densité phytoplanctonique a été maximale en juin (figure 4a) en lagune Adjin ($487\ 045\ 800$ cellules.L⁻¹) pendant la grande saison des pluies. Cette poussée phytoplanctonique est dominée par les Cyanoprocarvota (figure 4c) pendant les mois de juin, d'août et de novembre, avec les taxons comme *Anabaena affinis* ($188\ 236 \times 10^3$

cellules.L⁻¹) et *Microcystis aeruginosa* (150 305×10³ cellules.L⁻¹). Les Dinophyta dominant en janvier. En revanche, dans la lagune Potou (figure 4b) le maximum de poussée phytoplantonique a lieu en août (54 396×10³ cellules.L⁻¹) pendant la petite saison sèche avec en tête les Bacillariophyta (figure 4d) dominées par les taxons *Ulnaria ulna* et *Aulacoseira* sp., suivies des Cyanoprocaryota. Dans les eaux de Potou, le phytoplanton est dominé par les Cyanoprocaryota en janvier, en juin et en novembre (figure 4d). Les minima de densités cumulées pour les deux lagunes sont observés en janvier lors de la grande saison sèche (figures 4a et 4b). En considérant les densités des grands groupes d'algues relevées à cette période sèche, on note une dominance des Cyanoprocaryota, puis suivent les Bacillariophyta, les

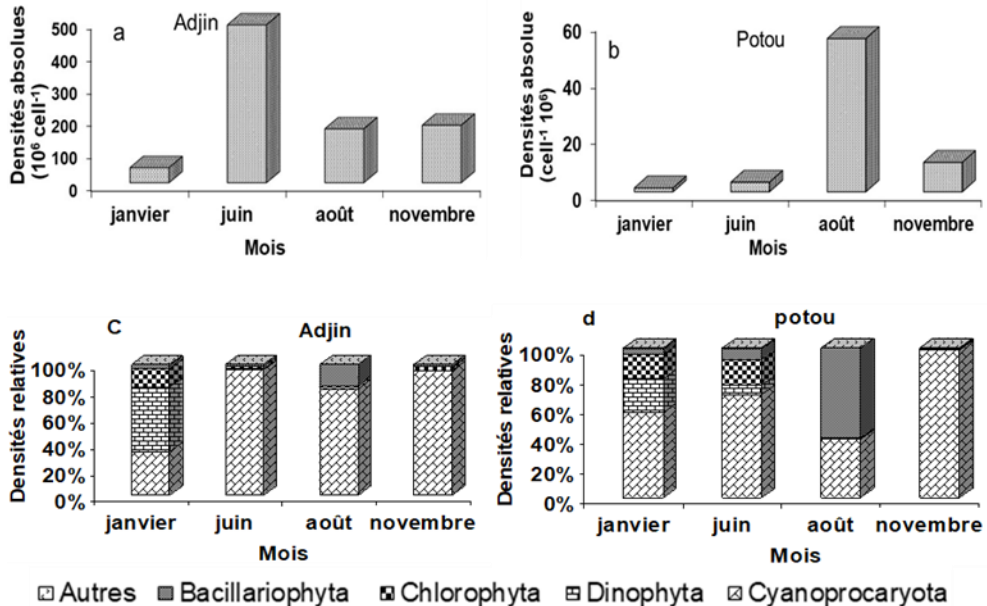


Figure 4 : Variations temporelles des densités absolues (a et b) et relatives (c et d) des grands groupes phytoplantoniques dans les lagunes Adjin et Potou, en 2013

Dinophyta, les Chlorophyta, et les Dinophyta, à Adjin comme à Potou. Les autres taxons sont faiblement représentés. Le phytoplanton est plus diversifié en janvier dans la lagune Adjin tandis qu'à Potou, il l'est en janvier et en juin. Dans les eaux du système lagunaire, les Cyanoprocaryota, les Bacillariophyta, les Chlorophyta et les Dinophyta sont les principaux taxons qui contribuent à l'augmentation de la densité phytoplantonique. Les autres taxons constitués par les Haptophyta et les Euglenophyta, ont enregistré des densités très faibles (0 à 160×10³ cellules.L⁻¹) durant la période d'étude.

On note une constance de la composition phytoplantonique, en particulier les grands groupes dominants que sont les Cyanoprocaryota, les Bacillariophyta, les Chlorophyta et les Dinophyta dans les eaux du système Adjin-Potou au cours de la période de l'échantillonnage. Dans la lagune Potou,

en août, la prédominance des Bacillariophyta coïncident avec l'absence des autres groupes, exception faite des Cyanophytes qui restent bien représentées à toutes les périodes de l'échantillonnage.

Caractéristiques physico-chimiques des eaux du système lagunaire Adjin-Potou

Le tableau 3 présente les valeurs des paramètres physico-chimiques étudiés au cours de cette étude sur les deux lagunes et à l'exutoire de la Mé.

Tableau 3. Caractéristiques physico-chimiques des eaux du système lagunaire Adjin-Potou au cours des mois de janvier, juin, août et novembre de l'année 2013.

Paramètres	Paramètres statistiques	Potou	Mé	Adjin
Température (°C)	moy ± erreur type	29,03 ^a ± 0,27	27,64 ^a ± 0,48	29,18 ^a ± 0,16
	min - max	26,30 - 33,50	25,19 - 31,00	26,00 - 34,20
pH	moy ± erreur type	6,78 ^a ± 0,07	6,66 ^a ± 0,10	6,83 ^a ± 0,05
	min - max	5,20 - 7,90	5,89 - 7,37	5,20 - 8,99
Salinité	moy ± erreur type	0,05 ^{ab} ± 0,01	0,02 ^a ± 0,01	0,02 ± 0,00
	min - max	0,01 - 0,29	0,00 - 0,12	0,00 - 0,12
Turbidité (UNT)	moy ± erreur type	36,32 ^a ± 1,94	34,43 ^a ± 3,33	17,67 ^b ± 1,02
	min - max	10,90 - 68,30	11,44 - 61,00	1,89 - 49,14
NO ₂ ⁻ (µg.L ⁻¹)	moy ± erreur type	3,71 ^a ± 0,17	3,67 ^a ± 0,49	2,09 ^a ± 0,12
	min - max	1,00 - 6,00	0,60 - 7,00	0,00 - 9,00
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	moy ± erreur type	3,10 ^a ± 0,25	2,85 ^a ± 0,44	2,49 ^a ± 0,14
	min - max	0,17 - 7,14	0,41 - 7,05	0,18 - 6,91
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	moy ± erreur type	0,06 ^a ± 0,01	0,06 ^a ± 0,01	0,04 ^a ± 0,00
	min - max	0,01 - 0,16	0,01 - 0,13	0,01 - 0,16
PO ₄ ³⁻ (µg.L ⁻¹)	moy ± erreur type	59,57 ^b ± 3,99	72,94 ^a ± 10,78	48,87 ^b ± 2,29
	min - max	5,30 - 117,00	13,00 - 195,00	4,00 - 104,21

Des valeurs moyennes avec une même lettre minuscule (exposants) ne sont pas significativement différentes. Moy = moyenne ; min = minimum ; max = maximum.

Dans l'ensemble des eaux échantillonnées, la température moyenne qui varie entre 27,64 ± 0,48 °C et 29,18 ± 0,16 °C. Selon le test de Tukey de l'ANOVA à un facteur, la variation de la température n'est pas marquée (p > 0,05) entre les plans d'eau. Cependant, les eaux de la lagune Adjin sont légèrement plus chaudes que celles de la Mé et de Potou.

Dans le système lagunaire Adjin-Potou, les valeurs moyennes du pH sont comprises entre 6,66 ± 0,40 et 7,26 ± 0,62. Ces eaux présentent un caractère faiblement acide à faiblement basique. Aucune différence significative (p > 0,05, test de Tukey) ne s'observe entre les valeurs de pH d'un plan d'eau à l'autre.

Les valeurs de la salinité sont faibles (salinité ≤ 0,29). Les valeurs les plus élevées sont observées à la lagune Potou et elles sont significativement

plus élevées ($p < 0,05$) que celles enregistrées dans les eaux de la lagune Adjin et de la Mé.

Les valeurs moyennes de turbidité varient entre $13,99 \pm 8,88$ et $36,45 \pm 12,68$ UNT. Les eaux de la lagune Adjin sont significativement moins turbides ($p < 0,05$) que celles de Potou et de la Mé.

Pour toutes les formes d'azote (nitrites, nitrates et ammonium) évaluées dans les eaux des lagunes Adjin et Potou et de la rivière Mé, les nitrites présentent les concentrations les plus faibles. Les valeurs oscillent entre 0 mg.L^{-1} et $0,009 \text{ mg.L}^{-1}$, entre $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$ et $7,14 \text{ mg.L}^{-1}$ et entre $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ et $0,16 \text{ mg.L}^{-1}$ respectivement pour les nitrites, les nitrates et l'ammonium.

Les variations entre les plans d'eau ne sont pas marquées. Par ailleurs, les eaux d'Adjin sont moins chargées ($p < 0,05$) en éléments nutritifs azotés que celles de Potou et de la Mé.

En ce qui concerne les orthophosphates, les teneurs moyennes de la période d'étude oscillent entre $0,047 \pm 0,006 \text{ mg.L}^{-1}$ et $0,250 \pm 0,032 \text{ mg.L}^{-1}$. Le tableau 3 montre que les eaux de la Mé sont significativement plus chargées ($p < 0,05$) en orthophosphates que celles des lagunes Adjin et Potou.

Discussion

L'analyse de la communauté phytoplanctonique dans le système lagunaire Adjin-Potou a permis de recenser quatre-vingt taxons répartis en six embranchements (Cyanoprocyota, Bacillariophyta Chlorophyta, Dinophyta, Haptophyta, Euglenophyta). La flore algale de ce système peut être considérée donc comme riche de par le nombre de taxons qu'elle renferme. Cette richesse serait due au fait que les eaux du système lagunaire ne sont pas constamment renouvelées, ce qui favoriserait les processus biologiques tels que les cycles complets de reproduction et de développement des algues. Cette richesse algale, en relation avec la stabilité des eaux, a été constatée par Komoé *et al.* (2009) dans la lagune de Grand-Lahou et par Seu-Anoï (2012) dans les complexes lagunaires Aby, Ébrié et Grand-Lahou en Côte d'Ivoire. En effet, selon Iltis (1984) le taux de renouvellement des eaux de la lagune Adjin est beaucoup plus faible par rapport à l'ensemble de la lagune Ebrié. Cette stabilité de la colonne d'eau entraîne un piégeage des sels nutritifs qui sont par la suite diffusés dans le milieu, ce qui favoriserait une prolifération des microalgues (Gonzalez et Descamps-Julien, 2004). Les embranchements observés sont caractéristiques des milieux pollués riches en éléments nutritifs (Thomas, 2003). Cela s'expliquerait par le rejet dans cet écosystème d'importantes quantités d'eaux usées domestiques non traitées. Ceux-ci sont riches en nutriments, en plus des apports en éléments azotés et phosphorés du bassin versant. La station 5 a le nombre le plus élevé de taxons (47) et possède également la densité phytoplanctonique absolue la plus élevée ($297\ 927.10^3$

cellules.L⁻¹), est le lieu où sont implantés les étangs d'aquaculture servant à l'élevage de carpes sur la lagune Adjin. En effet, selon Merceron *et al.* (2002) les déchets issus de la fabrication d'aliments pour la pisciculture et les restes d'aliments non consommés par les poissons (environ 60 % de l'azote contenu dans les aliments) restent dans les eaux et enrichissent celles-ci en nutriments pouvant favoriser le développement des algues.

Les Cyanophytes dominent la flore algale des deux lagunes. Elles sont constamment présentes sur les stations prospectées et pendant tous les mois de la période d'échantillonnage, sauf à la station 4 (station de la rivière Mé) où les Bacillariophyta dominent. La dominance des Cyanoprocaryota serait due au fait que cette catégorie d'algues s'adapte à une multitude de conditions environnementales et sont capables de proliférer sous des conditions extrêmes (Walsby, 2001 ; Oberholster *et al.*, 2004 ; Lavoie *et al.*, 2007 ; Salla *et al.*, 2011). Cette prédominance peut être aussi attribuée à des stratégies développées par les Cyanophytes pour éviter d'être la cible des brouteurs (zooplancton et poissons phytophages). En effet, elles peuvent libérer des toxines leur procurant un « mauvais goût » (Haney, 1987) pour se protéger contre la prédation par le zooplancton (Chan *et al.*, 2004), pour éliminer les compétiteurs qui se disputent les mêmes ressources (Pearl et Millie, 1996). Elles vivent aussi en grandes colonies pour passer à travers les mécanismes de filtration des brouteurs (Lampert, 1987). La production de ces composés toxiques contribuerait à augmenter l'avantage compétitif des Cyanoprocaryota sur les autres embranchements d'algues. La prépondérance des Cyanophytes dans les eaux étudiées n'est pas due au grand nombre d'espèces qu'elles renferment, mais plutôt à un nombre très élevé de filaments ou de cellules réunis en colonies appartenant à un lot très restreint d'espèces dominantes. Cette dominance des Cyanoprocaryota a également été signalée dans les eaux saumâtres au Nigeria (Onyema et Nwankwo, 2010), au Brésil (Domingos *et al.*, 1994) et en Inde (Badylak et Philips, 2004). Seu-Anoï (2012) a également fait les mêmes observations dans les complexes lagunaires Ébrié, Aby et Grand-Lahou.

Les espèces de cyanobactéries à potentiel toxique peuvent se maintenir à une densité minimale dans la colonne d'eau, en conditions défavorables, et survivre dans les sédiments pendant cette période. Ces cellules en dormance peuvent recoloniser la colonne d'eau lorsque les conditions redeviennent favorables (Latour *et al.*, 2007 ; Komoé, 2010).

Dans les échantillons du système lagunaire Adjin-Potou, des taxons appartenant aux genres *Microcystis*, *Anabaena*, *Dinophysis* et *Oscillatoria*, pouvant produire des toxines susceptibles de nuire à la santé des êtres humains et des animaux (Huisman *et al.*, 2005 ; Pantelić *et al.*, 2013) sont identifiés. Les toxines sécrétées par ces algues sont des hépatotoxines et des neurotoxines (Pantelić *et al.*, 2013).

Le faible nombre de taxons et les faibles densités observés dans les stations de Potou peuvent être mis en rapport avec le fort renouvellement de ces eaux par la rivière Mé à partir du mois d'août qui débouche entre les deux lagunes, à la crue du fleuve Comoé de septembre à novembre, ajouté à une entrée des eaux marines de façon modérée pendant la grande saison sèche (décembre - février). Selon Durand et Guiral, (1994), la lagune Potou constitue un secteur intermédiaire d'eaux peu profondes, sensible à la marée, et essentiellement dépendant des apports fluviaux (Mé, Comoé).

En effet, les eaux de la lagune Potou sont renouvelées périodiquement par les crues de la Mé et de la Comoé, de même que par les eaux de la lagune Adjin située en amont de Potou.

La nette dominance des Bacillariophyta à la station 4 et leur proportion presque identique à celle des Cyanophytes dans la lagune Potou montrent que la plupart des taxons appartenant aux Bacillariophyta seraient donc apportés à la lagune Potou par les eaux de cette rivière.

Le nombre de taxons ainsi que les densités élevées aux stations d'Adjin pourraient être liés au très faible taux de renouvellement des eaux dans celle-ci (Durand et Guiral, 1994). En revanche, dans les eaux à fort taux de renouvellement, très turbides et riches en MES comme c'est le cas des stations 1 à 4 dont la concentration de chlorophylle *a* reste faible dans la colonne d'eau, bien qu'il y ait de forts apports en nutriments disponibles pour le développement du phytoplancton. En effet, la forte turbidité limite l'activité photosynthétique en raison de la faible pénétration de la lumière dans la colonne d'eau (Dufour, 1994 ; Ouattara *et al.*, 2001 ; Gonzalez *et al.*, 2004 ; Koné, 2008 et Ouffoué *et al.*, 2013). La présence de fortes charges en suspension est donc un facteur clé qui régit la pénétration de la lumière dans cet écosystème, tel que publié par Panigrahi (2006), Panigrahi *et al.* (2009) et Satpathy *et al.* (2011), dans les eaux côtières de Kalpakkam au Sud-Est de l'Inde et par Komoé *et al.* (2009) dans le système lagunaire de Grand-Lahou.

Du point de vue saisonnier, les fluctuations algales sont moins importantes dans les deux lagunes, mais c'est durant le mois de novembre correspondant à la saison des crues selon Durand et Guiral (1994), N'Guessan (2008), Yéo (2015)) que le phytoplancton apparaît le moins hétérogène. Les effectifs les plus faibles se distinguent pendant la grande saison sèche et les maximums ont lieu en grande saison des pluies (juin) et en petite saison sèche (août) respectivement dans les lagunes Adjin et Potou. En effet, durant la grande saison pluvieuse et la petite saison sèche, les concentrations en sels nutritifs surtout azotés, deviennent importantes. En effet, ces sels nutritifs sont drainés par les eaux de ruissellement chargées de produits de lessivage des bassins versants et par l'arrivée des eaux continentales (Koné, 2008; Yéo, 2015; Traoré, 2016). La richesse des eaux lagunaires en cette période entraînerait une prolifération algale dans cette zone, notamment les

Cyanophytes, les Diatomées et les Chlorophytes. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Komoé *et al.* (2009) dans la lagune de Grand-Lahou. La disponibilité des nutriments constituerait donc l'un des principaux facteurs qui contrôlerait la composition taxonomique du phytoplancton au sein des lagunes (Okbah et Hussein, 2006 ; Komoé *et al.*, 2009).

Les faibles biomasses récoltées pendant la petite saison des pluies ainsi que les faibles concentrations de chlorophylle *a* seraient dues aux fortes turbidités et à la dilution des eaux lagunaires. Au cours de cette saison, une partie de la surface lagunaire est aussi recouverte de plantes d'eau douce empêchant la pénétration de la lumière et réduisant les réactions de photosynthèse. Cette faible productivité en phytoplancton durant la petite saison des pluies a également été observée par Iltis (1984) en lagune Ébrié, par Komoé (2010) dans le complexe lagunaire de Grand-Lahou et par Seu-Anoï (2012) en lagune Aby.

La grande saison sèche, est marquée par une floraison de Cyanophytes, de Dinophytes et de Chlorophytes. A cette période, la prolifération des Cyanophytes n'est pas liée à la richesse du milieu en nutriments, comme l'ont démontré les travaux de Berrada *et al.* (2000). En effet, certaines espèces de Cyanophytes inventoriées dans nos échantillons possèdent des hétérocytes. Ces Cyanophytes (genre *Anabaena*) sont capables de fixer l'azote atmosphérique grâce à leurs hétérocytes, et ceci leur permet de proliférer dans les milieux pauvres en azote. Cette prolifération de Cyanophytes serait également favorisée par les fortes températures et les valeurs élevées de pH (Shapiro, 1997 ; Tang *et al.*, 1997). En ce qui concerne les Dinophytes, leur prolifération coïncide avec les faibles concentrations en sels nutritifs. Selon Komoé *et al.* (2009), les Dinophytes sont plus compétitives que les autres groupes d'algues lorsque le milieu est pauvre en éléments nutritifs. Ceci confirme l'idée que la capacité compétitive des espèces à utiliser les faibles concentrations des nutriments est un facteur important dans la succession phytoplanctonique (Sommer, 1983).

Conclusion

L'étude réalisée sur le phytoplancton du système lagunaire Adjin-Potou montre que la composition taxonomique diffère d'une lagune à l'autre. Le phytoplancton de la lagune Adjin apparaît le plus diversifié, mais les Cyanoprocarota dominant dans les eaux des deux lagunes.

Quant à l'évolution saisonnière, les fortes densités sont enregistrées pendant la grande saison pluvieuse et la petite saison sèche, respectivement pour les lagunes Adjin et Potou. Le peuplement phytoplanctonique se compose majoritairement des taxons vivant dans des eaux eutrophes tropicales, avec des taxons potentiellement toxiques.

Par ailleurs, les fortes densités algales ainsi que la diversité phytoplanctonique observées au sein de la lagune Adjin sont dues au faible taux de renouvellement de ces eaux soumises à une forte pression anthropique alors que les eaux de la lagune potou sont constamment renouvelées par les eaux de la rivière Mé et de de la Comoé pendant la période pluvieuse et par l'intrusion des eaux marines pendant la grande saison sèche. Cette forte densité algale observée dans la lagune Adjin, serait à l'origine de l'épuisement des nutriments dans les eaux de la dite lagune.

La forte prolifération phytoplanctonique en particulier des Cyanobactéries, peut constituer une entrave aux activités socio-économiques (pêche, baignade) dans ces hydrosystèmes. Cela pourrait aussi induire des conditions écologiques défavorables pour la biodiversité aquatique et avoir des conséquences néfastes sur la santé des humains. Dans une perspective de développement durable de ces ressources en eau, une étude de restauration s'impose afin de réduire la prolifération du phytoplancton, notamment les Cyanobactéries qui sont caractéristiques des milieux pollués. Pour ce faire, l'on doit, créer des périmètres de protection (rapproché et éloigné) afin de réduire l'impact direct de l'homme sur ces eaux. Il faut aussi mener une politique de réduction de l'utilisation des fertilisants en agriculture sur le bassin versant du système lagunaire qui sont des ressources nutritives pour le phytoplancton apportés aux plans d'eau par le ruissellement. Les eaux usées de la commune d'Abobo qui sont rejetées dans la lagune Adjin via la rivière Djibi doivent aussi être traitées avant leur rejet dans les eaux lagunaires. Une étude écotoxicologique doit être également menée pour évaluer les risques d'intoxication humaine, de même que les risques écologiques liés à la présence d'algues potentiellement toxiques dans l'écosystème aquatique Adjin-Potou.

Conflit d'intérêt: Il n'y a pas eu de conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Ahoussi, K.E., Soro, N., Soro, G., Lasm, T., Oga M.S., Zadé, S. (2008). Groundwater Pollution in Africans Biggest Towns: Case of Town of Abidjan (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 20 (2), pp. 302-316.

2. Badylak, S., Phlips, E.J. (2004). Spatial and temporal patterns of phytoplankton composition in a subtropical coastal lagoon, the Indian River Lagoon, Florida, USA. *Journal of Plankton Research*, 26 (10): 1229-1247.
3. Berrada, D., Berrada, F., Benzekri, A., Jabry, E. (2000). Évolution saisonnière des pleuplements phytoplanctoniques dans le lac-réservoir El Kansera (Maroc), en relation avec certains paramètres abiotiques et biotiques. *Hydroecology Applied*, 12 (1-2): 207-231.
4. Bourrelly, P. (1981). Les Algues d'eau douce. Tome II : Les Algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. Editions Nouvelles Boubée, Paris 517 p.
5. Bourrelly, P. (1985). Les Algues d'eau douce. Tome III : Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Editions Nouvelles Boubée, Paris 606 p.
6. Bourrelly, P. (1988). Les Algues d'eau douce. Complément tome I: Les algues vertes. Editions Nouvelles Boubée, Paris 182 p. 118 à 130 pl.
7. Chan, F., Pace, M.L., Howarth, R.W., Marino, R.M. (2004). Bloom formation in heterocystic nitrogen-fixing bacteria: The dependence on colony size and zooplankton grazing. *Limnology and Oceanography*, 49: 2171-2178.
8. Da, K.P. (1992). Contribution à la connaissance du phytoplancton de la mare et du complexe piscicole du Banco (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de 3è cycle, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan 384 p.
9. Da, K.P. (2007). Étude taxinomique du phytoplancton dulçaquicole des masses d'eau lenticues et lotiques de quelques sites au Sud de la Côte d'Ivoire, entre les fleuves Bandama et Bia: Apports de la microscopie électronique à balayage. Thèse de Doctorat d'État des Sciences Naturelles, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan 402 p.
10. Domingos, P, Huszar, V.L.M., Carmouze, J.P. (1994). Composition et biomasse du phytoplancton d'une lagune tropicale (Brésil) au cours d'une période marquée par une mortalité de poissons. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*. 27(3), 235-250.
11. Dufour, P., Lemoalle, J., Albaret, J.J. (1994). Le système Ébrié dans les typologies lagunaires. *In* : Environnement et Ressources Aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II. Les milieux lagunaires. Durand, J.R., Dufour, Ph., Guiral, D. et Zabi, S. Éditeurs. Éditions de l'ORSTOM, Paris, 17-24.
12. Durand, J.R., Guiral, D. (1994). Hydroclimat et hydrochimie. *In* : Environnement et Ressources Aquatiques de Côte d'Ivoire, Tome II.

- Les milieux lagunaires. Durand. J. R., Dufour Ph., Guiral D. et Zabi S. (Éditeurs). Éditions de l'ORSTOM, Paris, 59-90.
13. Fishar, M.R., Williams, W.P. (2008). The development of a Biotic Pollution Index for the River Nile in Egypt. *Hydrobiologia*, 598: 17-34.
 14. Gonzalez, A., Descamps-Julien, B. (2004). Population and Community Variability in Randomly Fluctuating Environments. *Oikos*, 106 : 105-116.
 15. Haney, J.F. (1987). Field studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21: 467-475.
 16. Huisman, J., Matthijs, H.C.P., Visser, P.M. (2005). Harmful cyanobacteria. Springer, Dordrecht, Netherlands, 243 p.
 17. Iltis, A. (1984). Biomasse phytoplanctonique de la lagune Ébrié (Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia*. 118(2), 153-176.
 18. Jourda, J.P., Saley, M.B., Djagoua, E.M.V., Kouamé, K.J., Biémi, J., Razack, M. (2006). Utilisation des images Landsat ETM+ pour l'évaluation des potentialités en eaux souterraines dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation. *Revue Télédétection*, 5, 339-357.
 19. Koffi, K.J.-P., N'Go, Y.A., Yéo, K.M., Koné, D., Savané I. (2014). Détermination des périmètres de protection de la lagune Aghien par le calcul du temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune. *Larhyss Journal*, 19 : 19-35.
 20. Koné, Y.J.-M. (2008). Dynamics of carbon dioxide and methane in the mangroves of Vietnam, and the rivers and the lagoons of Ivory Coast. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université de Liège, Belgique, 205 p.
 21. Komoé, K. (2010). Diversité du phytoplancton du complexe lagunaire de Grand-Lahou, en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, UFR Biosciences 306 p.
 22. Komoé, K., Da, K.P., Kouassi, A.M., Aka, N.M., Kamanzi, A.K., Adingra, A.A. (2009). Seasonal Distribution of Phytoplankton in Grand-Lahou Lagoon (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 26 (3) : 329-341.
 23. Konan, E.S. (2014). Distribution spatio-temporelle du peuplement phytoplanctonique en relation avec les facteurs abiotiques de la lagune de Fresco (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan), UFR Biosciences 197 p.
 24. Koné, Y.J.-M. (2008). Dynamique du dioxyde de carbone et du méthane dans les mangroves du Vietnam, les rivières et les lagunes de

- la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat à la Faculté des Sciences à l'université de Liège 207p.
25. Kouamé, K.J., Jourda, J.P., Deh, S.K., Djemin, E.J., Saley, M.B., Anani, A.T., Biémi, J. (2013). Apport des méthodes mathématiques dans la délimitation des périmètres de protection autour des ouvrages de captage des eaux souterraines d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemistry Science*, 7 (5), 1987-2006.
 26. Lampert, W. (1987). Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21: 483-490.
 27. Latour, D., Salençon, M.J., Reyss, J.L., Giraudet, H. (2007). Sedimentary imprint of *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) blooms in Grangent Reservoir (Loire, France). *Journal of Phycology*, 43 : 417-425.
 28. Lavoie, I., Laurion, I., Vincent, W.F. (2007). Les fleurs d'eau de cyanobactéries, document d'information vulgarisée. *INRS rapport*, 9: 17-27.
 29. Lazzaro, X. (1981). Biomasses, peuplements phytoplanctoniques et production primaire du lac Titicaca. *Revue d'Hydrobiologie tropicale*. 14(4), 349-380.
 30. Leclercq, L., Maquet, B., 1987. Deux nouveaux indices chimique et diatomique de la qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents (Bassin de la Meuse belge). Comparaison avec d'autres indices chimiques, biogéniques et diatomiques. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Document de travail, n°28, 113 p.
 31. Merceron, M., Kempf, M., Bentley, D., Gaffet, J.D., Le Grand, J., Lamort-Datin, L. (2002). Environmental impact of a salmonid farm on a well flushed marine site. I. Current and water quality. *Journal of Applied Ichthyology*, 18: 40-50.
 32. N'Guessan, Y.A. (2008). Analyse morphologique, sédimentologique et environnement de dépôts des sédiments superficiels des lagunes Adjin et Potou (zone littorale de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody, Abidjan, 169 p.
 33. Oberholster, P.J., Botha, A.-M., Grobbelaar, J.U. (2004). *Microcystis aeruginosa* : source of toxic microcystins in drinking water. *African Journal of Biotechnology*, 3 (3): 159-168.
 34. Okbah, M.A., Hussein, N.R. (2006). Impact of environmental conditions on the phytoplankton structure in mediterranean sea lagoon, lake Burullus, Egypt. *Water, Air, and Soil Pollution*, 172: 129-150.

35. Onyema, I.C., Nwankwo, D.I. (2010). An incidence of substratum discolouration in a tropical west African lagoon. *Journal of American Science*, 5 (1): 44-48.
36. Ouattara, A. (2000). Premières données systématiques et écologiques du phytoplancton du lac d'Ayamé (Côte-d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Faculté Wetenschappen, Instituut voor Plantkunde, Katholieke Universiteit Leuven, Belgique 207 p. 19 pl.
37. Ouattara, A., Podoor, N., Gourène, G. (2001). Études préliminaires de la distribution spatio-temporelle du phytoplancton dans un système fluvio-lacustre africain (Bassin Bia ; Côte d'Ivoire). *Hydroécologie Applied*, 13: 113-132.
38. Ouffoué, K.S., Salla, M., Kicho, D.Y., Soro, D., Da, K.P. (2013). Aspects physico-chimiques et biologiques des eaux de la rivière tropicale côtière, Boubo (Côte d'Ivoire). *ScienceLib Éditions Mersenne*, 5 (131) : 1-17.
39. Panigrahi, S. (2006). Seasonal variability of phytoplankton productivity and related physico-chemical parameters in the Chilika lake and its adjoining sea. Ph.D. thesis, Berhampur University, India, 286 p.
40. Panigrahi, S., Wikner, J., Panigrahy, R.C., Satapathy, K.K., Acharya, B.C. (2009). Variability of nutrients and phytoplankton biomass in a shallow brackish water ecosystem (Chilika Lagoon, India). *Limnology*, 10: 73-85.
41. Pantelić, D., Svirčev, Z., Simeunović, J., Vidović, M., Trajko, I. (2013). Cyanotoxins : Characteristics, production and degradation routes in drinking water treatment with reference to the situation in Serbia. *Chemosphère*, 91 (4): 421-441.
42. Pearl, H.W., Millie, D.F. (1996). Physiological ecology of toxic aquatic Cyanobacteria, *Phycologia*, 35 : 160-167.
43. Salla, M., Da, K.P., Ouffoué, S. (2011). Cyanobactéries des rivières Boubo et Mé dans le Sud côtier de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 (4) : 1365-1373.
44. Satpathy, K.K., Mohanty, A.K., Sahu, G., Sarguru, S., Sarkar, S.K., Natesan, U. (2011). Spatio-temporal variation in physicochemical properties of coastal waters off Kalpakkam, southeast coast of India, during summer, pre-monsoon and post-monsoon period. *Environmental Monitoring and Assessment*, 180: 41-62.
45. Seu-Anoï, N.M. (2012). Structuration spatiale et saisonnière des peuplements phytoplanctoniques et variabilité des facteurs abiotiques dans trois complexes lagunaires de Côte d'Ivoire (Aby, Ébrié et Grand-Lahou). Thèse de Doctorat de l'Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire 186 p.

46. Shapiro, J. (1997). The role of carbon dioxide in the initiation and maintenance of blue green dominance in lakes. *Freshwater Biology*, 37: 307-323.
47. Sommer, U. (1983). Nutrient competition between phytoplankton species in multispecies chemostat experiments. *Archive d'Hydrobiologie*, 96: 399-416.
48. Soro, N., Ouattara, L., Dongo, K., Kouadio, K.E., Ahoussi, K.E., Soro, G., Oga, M.S., Savané, I., Biémi, J. (2010). Déchets municipaux dans le District d'Abidjan en Côte d'Ivoire: sources potentielles de pollution des eaux souterraines. *International Journal Biology and Chemistry Sciences*, 4(2), pp. 364-384.
49. Tang, E.P.Y., Tremblay, R., Vincent, W.F. (1997). Cyanobacterial dominance of polar freshwater ecosystems: Are high-latitude mat-formers adapted to low temperature? *Journal of Phycology*, 33 : 171-181.
50. Thomas, C.-S. (2003). "Protist phylogeny and the high-level classification of Protozoa", *European Journal of Protistology*, 39: 338-348.
51. Traoré, A. (2016). Impacts des changements climatiques et du changement de l'occupation et de l'utilisation du sol sur les ressources en eau de l'environnement lagunaire d'aghien et de potou (sud-est de la côte d'ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 248 p.
52. Traoré, A., Soro, G., Ahoussi, K. E., Bamba, B. S., Soro, N., Biemi, J. (2014). Niveau de contamination en métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale : la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Afrique Science*, 10 (3), pp. 73-88.
53. Walsby, A.E. (2001). Determining the photosynthetic productivity of a stratified phytoplankton population. *Aquatic Sciences*, 63: 18-43.
54. Xuelu, G., Jinming, S. (2005). Phytoplankton distributions and their relationship with the environment in the Changjiang Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin* 50 (2005) 327-335.
55. Yéo, K.M. (2015). Dynamique spatiale et temporelle des caractéristiques chimiques des eaux et des sédiments, et statut trophique du système lagunaire périurbain Adjin-Potou (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire 192 p.
56. Yéo, K.M., Goné, D.L., Kamagaté, B., Douagui, G.A., Dembélé, A. (2015). Seasonal and Spatial Variations in Water Physicochemical Quality of Coastal Potou Lagoon (Côte d'Ivoire, Western Africa). *Journal of Water Resource and Protection*, 7 : 741-748.

57. Zongo, F. (1994). Contribution à l'étude du phytoplancton d'eau douce du Burkina Faso : cas du barrage n°3 de la ville de Ouagadougou. Thèse de Doctorat 3ème cycle, F.A.S.T., Université de Ouagadougou 161 p.