



HAL
open science

Rapport sur la qualité de l'eau de la lagune Aghien (Côte d'Ivoire)

Jean-François F Humbert

► **To cite this version:**

Jean-François F Humbert. Rapport sur la qualité de l'eau de la lagune Aghien (Côte d'Ivoire). [Rapport de recherche] INRA; UMR Bioemco Paris. 2012. hal-03025037

HAL Id: hal-03025037

<https://hal.science/hal-03025037>

Submitted on 26 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Rapport sur la mission « lagune Aghien »

J.F. Humbert
UMR Bioemco, ENS Paris



Avril 2012

Sommaire

Introduction	3
Présentation générale de la lagune Aghien	4
Méthodologies de l'étude	5
Stratégie d'échantillonnage	5
Méthodologies de prélèvements et d'analyses	7
Résultats	7
Analyses physico-chimiques	7
Analyses sur la communauté phytoplanctoniques	10
Analyse spatiale des données physico-chimiques et biologiques	13
Qualité bactériologique des eaux	14
Analyse sommaire du Bassin Versant	14
Conclusions	15
Remerciements	18
Bibliographie	19
Annexes	20
Rapport court	22

Introduction

Le but de cette mission était d'évaluer la qualité de l'eau de la lagune Aghien dans la perspective de l'implantation éventuelle d'une usine de production de production d'eau potable dans la zone d'Akandjé, afin de répondre à la demande croissante en eau potable de la ville d'Abidjan. Il s'agissait en particulier de considérer avec attention, le problème des proliférations de cyanobactéries dans cette lagune, sachant que cet écosystème subit des pressions anthropiques importantes qui ont pu conduire à son eutrophisation et ainsi le rendre vulnérable à ces phénomènes de proliférations.

S'il était dès le départ évident que cette seule mission ponctuelle ne permettrait pas de se faire une opinion définitive sur l'état écologique de la lagune et sur la qualité de son eau, son autre objectif principal était de réfléchir aux modalités de mise en place d'un plan de surveillance de cet écosystème. Il s'agissait notamment de tester une stratégie d'échantillonnage permettant de bien prendre en compte l'hétérogénéité spatiale pouvant exister, à l'échelle horizontale, au sein de la lagune et de définir les paramètres les plus pertinents pour évaluer la qualité de l'eau.

Par ailleurs, il était nécessaire de pouvoir disposer d'une vision globale de l'occupation humaine et plus globalement des activités s'exerçant sur le bassin versant de la lagune afin de mieux connaître les pressions anthropiques pouvant potentiellement impacter la qualité de son eau. Cette analyse devait aussi permettre de tenter d'anticiper les évolutions à venir dans ce bassin versant et leurs répercussions sur la qualité de l'eau, sachant notamment que la ville d'Abidjan est située non loin de la lagune et que sa population est en constante augmentation, notamment dans les quartiers se situant non loin de la lagune.

Enfin, cette mission a Abidjan devait permettre d'identifier les compétences scientifiques disponibles localement pour réaliser un suivi de la lagune (que ce soit au sein de la SODECI ou en dehors de cette Société), de réfléchir aux modalités d'organisation d'un tel suivi (i) en incluant notamment une première estimation de son coût et des équipements nécessaires et (ii) en s'intéressant au rôle respectif des différents acteurs susceptibles d'intervenir dans les différentes étapes de ce processus (du prélèvement des échantillons jusqu'à la prise de décision finale sur l'utilisation ou non, de la lagune pour produire de l'eau potable).

Présentation générale de la lagune Aghien

La lagune Aghien fait partie d'un vaste réseau lagunaire qui se situe au Sud et à l'Est de la ville d'Abidjan (Figure 1). Le système Aghien-Potou occupe une même dépression qui a été scindée en deux par les apports de la Mé (Tastet et Guiral, 1994). Ce système a un périmètre de 72 km et une surface de 43 km² avec une longueur d'axe médian de 32 km (Varlet, 1978). Enfin, la profondeur de la lagune Aghien peut atteindre 11 m selon Tastet et Guiral (1994).

Ce système a fait l'objet d'un nombre plus restreint d'études que la lagune Ebrié. Cependant, ces quelques études ont montré que la lagune Aghien était principalement sous influence continentale (Guiral et Ferhi, 1989) au contraire de la lagune Ebrié qui subit des entrées importantes d'eau salée. Cette influence continentale est d'autant plus forte que la communication avec l'Océan Atlantique au niveau de la Comoe est désormais bouchée.



Figure 1. Réseau lagunaire dans la région d'Abidjan (d'après Guiral et Ferhi, 1989)

Dans la publication de Tastet et Guiral (1994) portant sur la géologie et la sédimentologie du système lagunaire, il a été montré que la lagune Aghien subit les influences conjointes des deux petites rivières qui débouchent à l'Ouest de la lagune (La Djibi et la Bété) et surtout de la Mé qui débouche dans le canal situé entre la lagune Aghien et la lagune Potou (Figure 2).

Il a été montré également dans cette même publication (Tastet et Guiral, 1994), que de très forts apports en matière organique détritiques constitués majoritairement de

particules terrigènes et de débris ligneux, se produisent dans la lagune en période de crues.

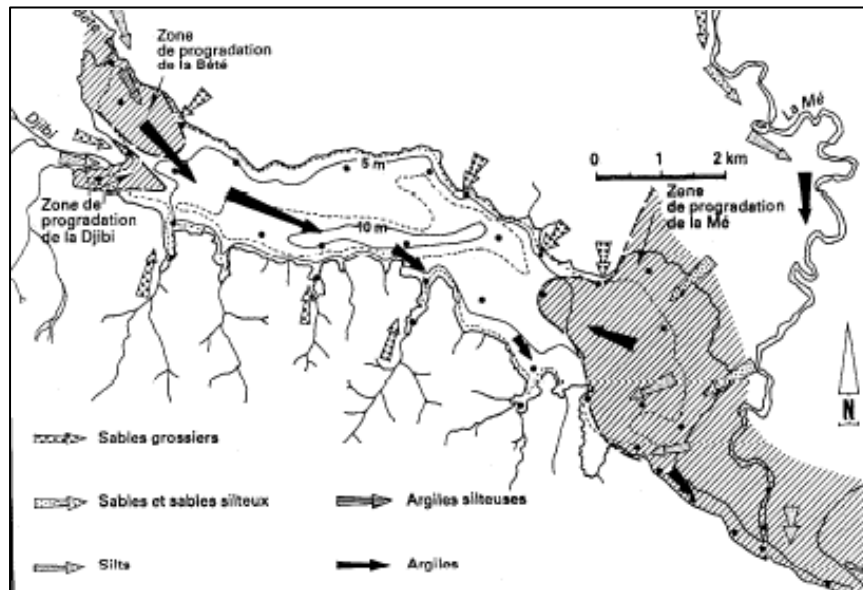


Figure 2. Influence relative de la Mé et de la Djibi et de la Bété sur les sédiments de la lagune Agien (Tastet et Guiral, 1994)

Enfin, une publication de Iltis (1984) portant sur le phytoplancton du système lagunaire de la zone d'Abidjan permet de disposer de quelques données sur le phytoplancton dans la lagune Aghien ce qui nous a permis de les comparer à nos propres résultats. Ce travail montrait notamment que la lagune Aghien est la plus riche de tout le système lagunaire en terme de biomasse du phytoplancton et qu'elle se distingue clairement, avec la lagune Potou, de la lagune Ebrié.

Méthodologies de l'étude

Echantillonnage dans la lagune Aghien

Au cours de cette mission, nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage dans la lagune Aghien reposant sur 11 points de prélèvements (Figures 3 et 4). Le choix de la localisation de ces points de prélèvements devait permettre de révéler l'existence éventuelle d'une structuration spatiale dans les communautés phytoplanctoniques à l'échelle de la lagune. Pour cette raison, nous avons réparti ces points dans l'axe principal de la lagune et nous avons réalisé également deux transects perpendiculaires à ce transect longitudinal. Le premier se localisait en face du village d'Akandjé (futur site de production d'eau potable) dans le but de déterminer si la qualité de l'eau variait en

fonction de la distance à la rive. Le second a été réalisé dans la zone ouest de la lagune pour rechercher l'influence éventuelle de la Mé sur la communauté phytoplanctonique de la lagune.



Figure 3. Localisation des points d'échantillonnage dans la partie Ouest de la lagune



Figure 4. Localisation des points d'échantillonnage dans la partie Est de la lagune

Méthodologies de prélèvements et d'analyses

Pour les analyses concernant la communauté phytoplanctonique de la lagune, nous avons filtré 500 ml d'eau sur des membranes GF/C afin de pouvoir estimer les concentrations en chlorophylle *a*. Celles-ci ont été réalisées en France en suivant les protocoles standards d'extraction des pigments consistant en une incubation des filtres une nuit dans du méthanol à 90 %, puis une mesure des concentrations pigmentaires en spectrophotométrie.

Par ailleurs, nous avons effectué, à chaque point de prélèvement, un trait de filet à phytoplancton (maille de 20 μm) dont le contenu a ensuite été fixé dans du formol. Les identifications et l'évaluation des proportions des différents genres de phytoplancton présents ont ensuite été réalisées en microscopie photonique, sachant qu'une estimation des proportions relatives de ces différents genres a été réalisée en cellules de Malassez.

Les analyses physico-chimiques ont quant à elles été effectuées par la SODECI qui a prélevé des échantillons d'eau en subsurface (10 cm) à chaque point d'échantillonnage. En complément à ces analyses sur la physicochimie, des analyses bactériologiques ont été réalisées par Enval Laboratoires sur d'autres échantillons d'eau prélevés dans les mêmes conditions, de même qu'une analyse des virus entériques qui n'a malheureusement pu aboutir faute d'un volume d'eau prélevé suffisant (analyses réalisées par l'Institut Pasteur d'Abidjan).

Résultats

Analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques auxquelles ont été ajoutés les dosages de chlorophylle *a* figurent dans le tableau 1 (voir annexes) ainsi que dans la figure 5. Cette figure permet de montrer les variations spatiales observées dans les valeurs mesurées, pour chacun des paramètres ayant fait l'objet d'un suivi. Il apparaît par exemple qu'à l'échelle de la lagune, la distribution spatiale n'est pas homogène pour les paramètres reflétant la quantité de matière organique ou la biomasse du phytoplancton. Les stations 1 et 2 ainsi que les stations 8 à 10, présentent des valeurs plus élevées pour ces paramètres que les stations intermédiaires (Figure 5A). D'autres paramètres chimiques présentent également ce même type d'hétérogénéité spatiale, ce qui suggère une

influence locale importante de la Mé et dans une moindre mesure de la Djibi et de la Bété sur la qualité physico-chimique de l'eau.

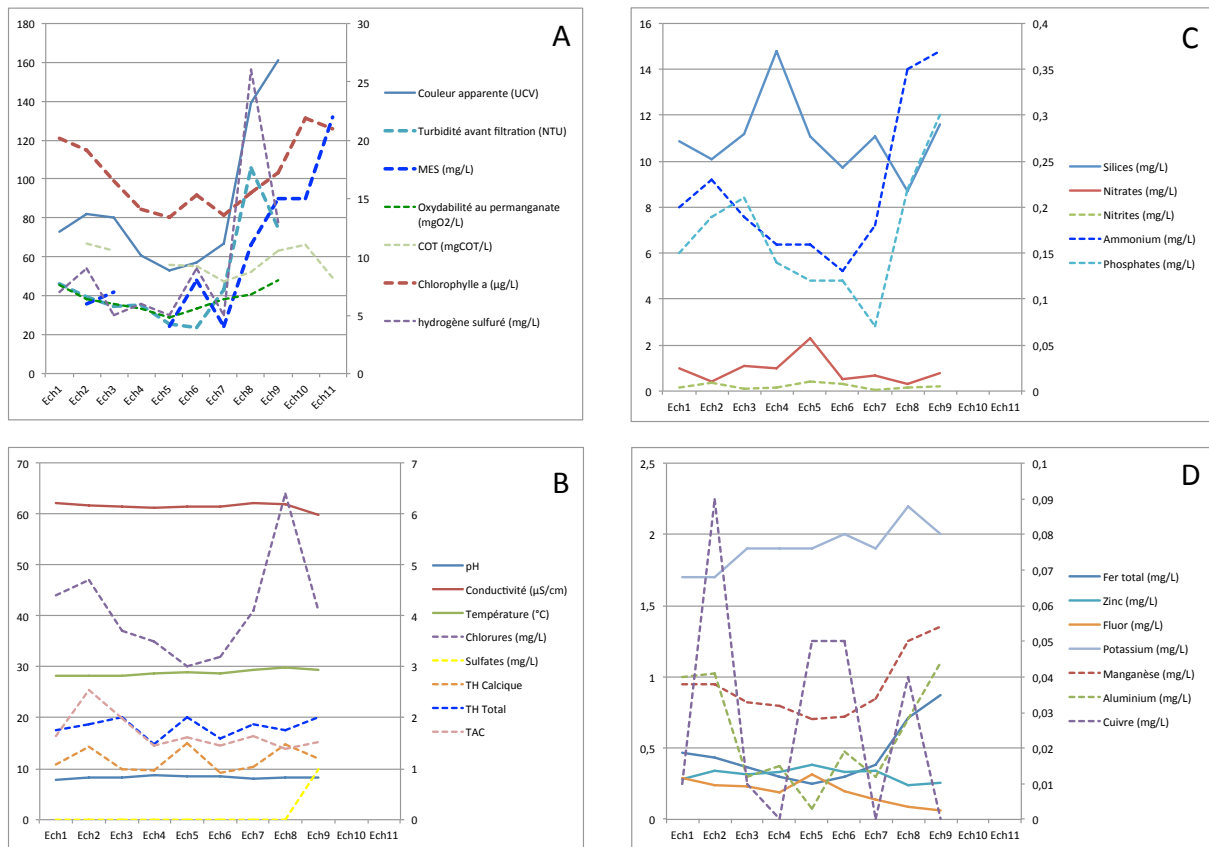


Figure 5. Evolution des principaux paramètres physico-chimiques mesurés dans la lagune Aghien aux différentes stations d'échantillonnage

Une analyse multivariée réalisée sur ces mêmes données (Figure 6) confirme ces premières observations en montrant tout d'abord, que les échantillons prélevés aux stations 8 et 9 (la plupart des données physicochimiques des stations 10 et 11 étaient absentes) se distinguent clairement des autres, notamment sur des critères tels que les MES, la couleur de l'eau ou les concentrations en orthophosphates. Par ailleurs, cette analyse montre également un regroupement des échantillons prélevés aux points 1, 2 et 3, sur le premier axe de l'analyse qui représente plus de 78% de la variance totale. Enfin, les points de la zone centrale du lac (4 à 7), bien que proches des points 1 à 3 s'en distinguent cependant sur l'axe 1.

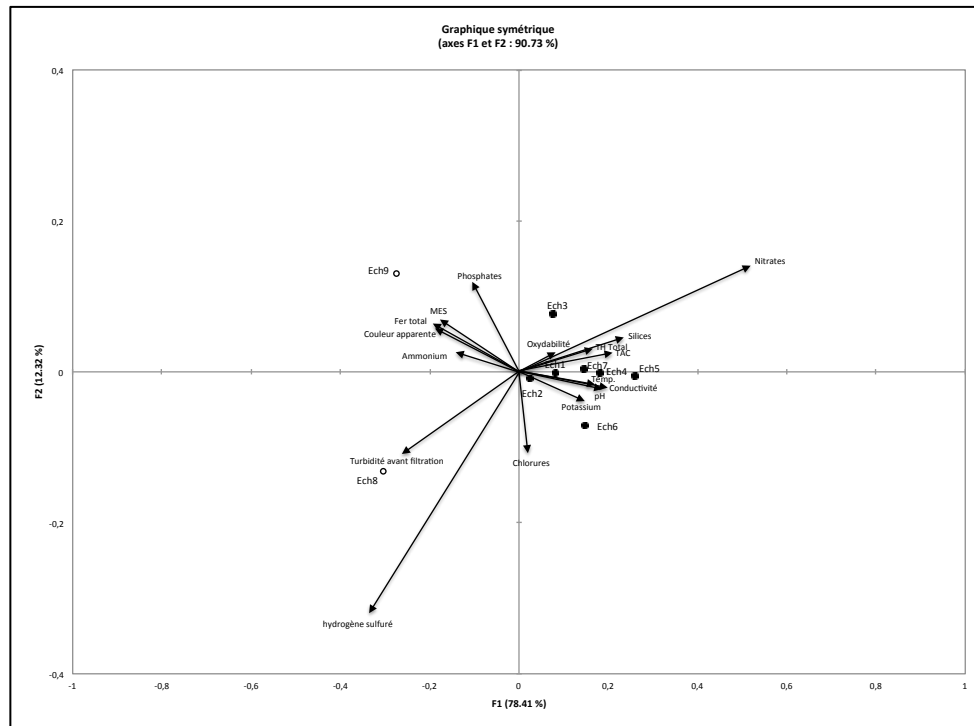


Figure 6. Analyse en composante principale sur les données physico-chimiques de la lagune Aghien

L'analyse des données physico-chimiques en regard de la qualité d'eau qui est attendue pour produire de l'eau potable montre :

- Des quantités de Carbone Organique Total (COT) qui dépassent 10 mg/L à plusieurs des sites échantillonnés. Cet indicateur d'une charge importante en matière organique est confirmé par les valeurs très élevées obtenues pour la couleur apparente et la couleur vraie,
- Des concentrations en orthophosphates et en phosphore total classant cet écosystème dans la catégorie des écosystèmes eutrophes à hypereutrophes,
- Des concentrations importantes en hydrogène sulfuré dans certaines zones de la lagune.

Les conséquences de ces observations pour la production d'eau potable sont nombreuses puisque les concentrations observées en COT rendraient les eaux de la lagune impropres à la production d'eau potable en France et en Europe. En effet, les charges élevées en COT ont de multiples conséquences sur la production d'eau potable (voir par exemple Gruau *et al.*, 2009) dont on peut citer par exemple :

- Les quantités importantes de boues générées sont onéreuses à traiter,

- Le COT résiduel dans l'eau réduit l'efficacité de la chloration et donc la destruction de certains pathogènes d'origine fécale (par exemple les parasites des genres *Giardia* et *Cryptosporidium*),
- Le COT résiduel dans l'eau distribuée favorise la survie et parfois le développement de ces pathogènes dans les réseaux de distribution,
- Le COT résiduel réagit avec les chlorines ce qui se traduit par la formation de sous-produits très toxiques lors de la chloration, à l'exemple des trihalomethanes (THM).

En ce qui concerne les concentrations en orthophosphates, les valeurs élevées traduisent la forte disponibilité de cet élément qui est normalement celui qui est le plus limitant pour la production phytoplanctonique. Sachant que les différentes formes de l'azote sont également présentes à des concentrations élevées, la lagune Aghien possède un potentiel évident pour permettre le développement de fortes biomasses phytoplanctoniques impliquant par exemple des cyanobactéries toxiques.

Enfin, les concentrations élevées en hydrogène sulfuré peuvent potentiellement être responsables d'un mauvais goût dans l'eau. Dans le même ordre d'idée, on peut aussi souligner les concentrations en Fer très importantes, qui peuvent aussi donner un mauvais goût à l'eau de même qu'une coloration.

Au niveau de leur qualité chimique, les eaux de la lagune posent donc plusieurs problèmes potentiels pour la production d'eau potable. En particulier, la matière organique présente demandera la mise en place d'une filière de traitement très performante et en conséquence coûteuse pour l'éliminer. En revanche, il faut remarquer comme point positif que les concentrations en chlorure et la conductivité sont très faibles (de même que lors d'autres analyses réalisées en 2012), ce qui traduit l'absence d'entrée d'eau salée dans la lagune, tout au moins aux différents moments où ont été réalisés les prélèvements.

Analyses sur la communauté phytoplanctonique

Les concentrations en chlorophylle *a* varient entre 13 et 22 µg/L en fonction des points d'échantillonnage (Figure 5A), sachant que les plus fortes concentrations sont observées dans les zones situées aux deux extrémités de la lagune.

Au niveau des genres phytoplanctoniques présents dans la lagune d’Aghien, il apparaît que les principaux sont *Mougeotia*, *Staurastrum*, *Aulacoseira*, *Peridinium*, *Planktolyngbya* et *Diatoma* (ou *Eunotia*). A l’exception de *Planktolyngbya* qui n’est présent en abondance que sur un seul site, tous les autres genres dominants sont soit des chlorophycées, soit des diatomées. Ils représentent tous, à un moment donné et à une station donnée, au moins 10% des cellules (ou colonies) comptées. Lorsque l’on regarde la classification fonctionnelle de ces genres proposée par Reynolds et al. (2002), on remarque qu’ils partagent tous la même capacité à vivre dans des milieux où la lumière est limitante.

Par ailleurs, il apparaît clairement que l’importance relative de ces genres dans chacun des échantillons, varie en fonction des stations d’échantillonnage (Figure 7), *Mougeotia* étant par exemple largement dominant dans les stations 1 à 7, alors qu’*Aulacoseira* domine les stations 8 à 11.

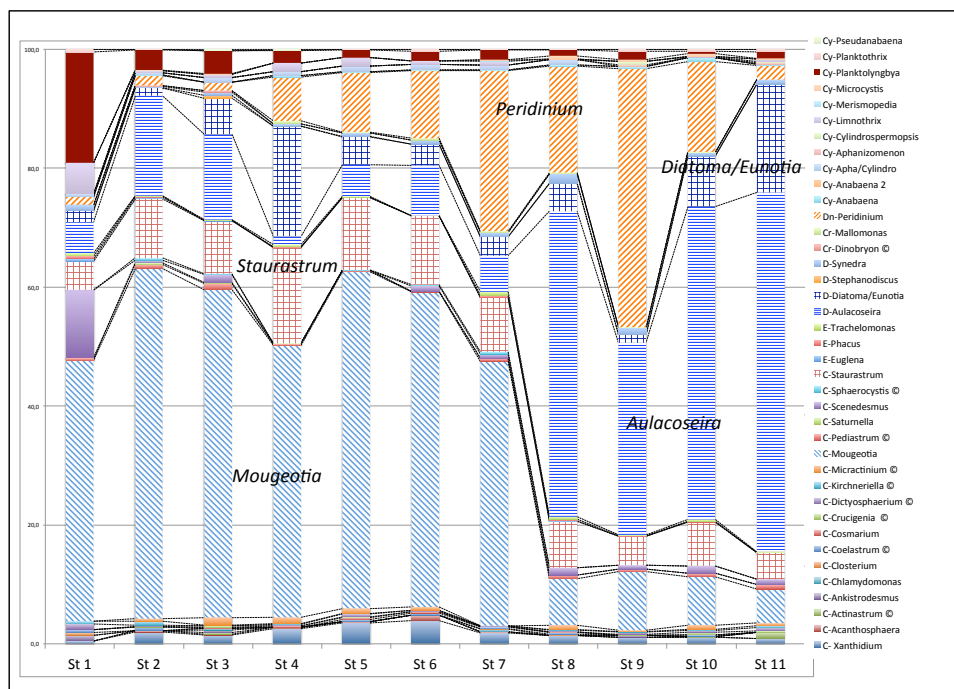


Figure 7. Proportions relatives des différents genres phytoplanctoniques aux onze stations d’échantillonnage

Une Multidimensional Scaling Analysis (MDS) réalisée sur les données de proportions des différents genres identifiés dans la communauté phytoplanctonique montre que les stations 1 à 7 se différencient nettement des stations 8 à 11 (Figure 8).

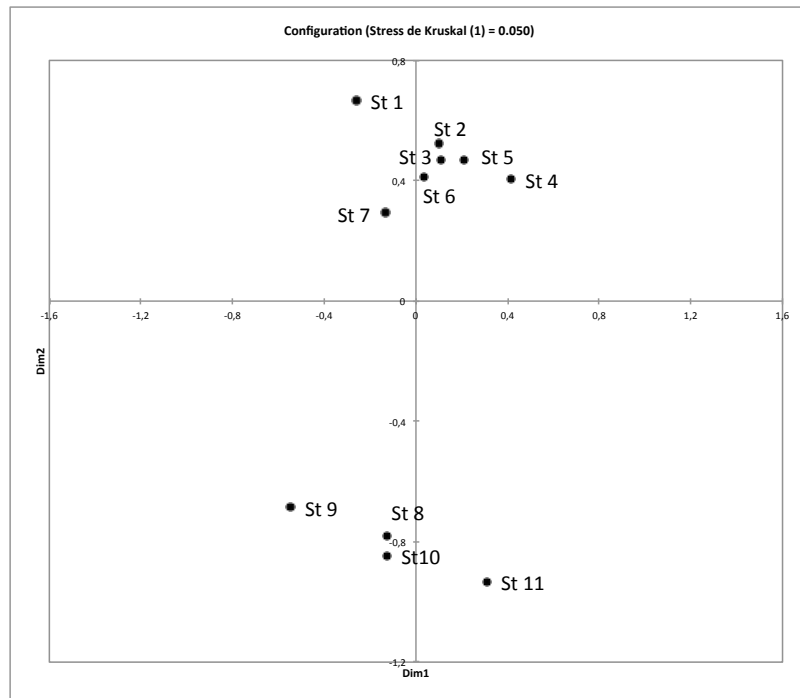


Figure 8. Analyse MDS réalisée sur les données de proportions des différents genres phytoplanctoniques

L'analyse des données sur la communauté phytoplanctonique de la lagune Aghien en regard de la qualité d'eau qui est attendue pour produire de l'eau potable montre :

- Des concentrations en chlorophylle *a* comprises entre 13 et 22 µg/L
- Une dominance de la communauté phytoplanctonique par des diatomées et des chlorophycées
- La présence de plusieurs genres de cyanobactéries potentiellement capables de produire des toxines dangereuses pour la santé humaine (*Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Anabaena*)

Les conséquences de ces observations pour la production d'eau potable sont que, d'après les niveaux de chlorophylle *a*, le système est classé comme étant eutrophe, c'est à dire capable d'héberger une biomasse phytoplanctonique importante. Il faut noter cependant que les concentrations mesurées en chlorophylle restent « raisonnables » et qu'elles sont beaucoup plus faibles que ce qui pouvait être attendu d'après les données disponibles sur les concentrations en éléments nutritifs. Cependant, le caractère ponctuel de notre prélèvement ne permet de juger des évolutions possibles au cours

d'un cycle annuel de la communauté phytoplanctonique, tant en terme de biomasse, qu'en terme de composition.

Au niveau de la communauté phytoplanctonique, les données obtenues lors de notre campagne d'échantillonnage n'ont pas révélé la présence massive de cyanobactéries dans la lagune d'Aghien, même si plusieurs genres potentiellement toxiques sont bien présents dans ses eaux. Il faut cependant considérer avec prudence ces premiers résultats car ils ne sont basés que sur une seule campagne d'échantillonnage, sachant que des changements très importants peuvent survenir dans les biomasses phytoplanctoniques à des échelles de temps réduites, en fonction par exemple de contraintes climatiques.

Analyse spatiale comparée des données physico-chimiques et de celles concernant la communauté phytoplanctonique

De l'analyse comparée des résultats aux onze points d'échantillonnage, il ressort que la lagune Aghien présente une forte hétérogénéité spatiale tant au niveau de ses caractéristiques physico-chimiques, qu'au niveau de sa communauté phytoplanctonique. Il apparaît notamment qu'il existe une structuration spatiale évidente des données, avec un partage de la lagune entre sa partie Ouest (sites de prélèvements de 1 à 7) et sa partie Est (sites 8 à 11). Par ailleurs, même si les différences sont moins importantes, les sites d'échantillonnage 1 à 3 se distinguent des sites 4 à 6, aussi bien au niveau de certaines variables physico-chimiques (couleur et turbidité par exemple), qu'à celui de la composition de la communauté phytoplanctonique. Enfin le site 7 présente pour certains paramètres des valeurs intermédiaires entre celles des sites 4 à 6 et celles des sites 8 à 11.

Toutes ces observations suggèrent que les trois rivières principales qui alimentent la lagune ont une influence très importante sur son fonctionnement et sur la spatialisation observée pour de nombreux paramètres. En particulier, la Mé qui débouche entre la lagune Aghien et la lagune Potou semble très fortement influencer toute la partie Est de la lagune. On retrouve également un impact de la Djibi et de la Bété sur la partie Ouest de la lagune, même si cet impact est beaucoup moins marqué, sans doute en raison du faible débit de ces rivières au moment de notre échantillonnage. Sachant que nos prélèvements ont été réalisés en saison sèche, il sera particulièrement intéressant de comparer ces résultats à ceux qui seront issus des suivis réalisés en

saison humide car l'influence respective de ces rivières risque d'être encore beaucoup plus marqué.

Qualité bactériologique des eaux

Les analyses réalisées par la laboratoire Enval pour la SODECI sur les prélèvements réalisés aux sites 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11 révèlent la présence de *E. coli* dans tous les échantillons à des concentrations allant de 6 à 86 colonies pour 100 ml. Il en est de même pour les autres indicateurs bactériologiques étudiés (Streptocoques fécaux, anaérobies surfito-réducteurs et coliformes totaux, même si ces derniers peuvent aussi regrouper des coliformes ayant une autre origine). Même si les concentrations estimées sont toujours peu importantes, ce résultat révèle que les eaux de la lagune font l'objet d'une contamination sans doute récurrente, par des pathogènes fécaux, car il faut prendre en compte le fait que les prélèvements d'eau ont été réalisés assez loin des rives où les concentrations sont probablement beaucoup plus élevées. Les cas d'ulcère de Buruli constatés récemment par l'Institut Pasteur d'Abidjan au village du Débarcadère sont une autre manifestation de cette contamination chronique des eaux par des agents pathogènes, qu'ils soient ou non d'origine fécale.

Compte tenu des quantités importantes de matières organiques présentes dans les eaux de la lagune (voir paragraphe sur les analyses physico-chimiques) et de leur impact potentiel sur la survie des pathogènes et sur l'efficacité de la chloration au cours du processus de traitement de l'eau, cette contamination des eaux de la lagune par des agents pathogènes sera à prendre en compte avec la plus grande attention, d'autant plus si la densité des populations humaines augmente sur le bassin versant.

Analyse sommaire de l'occupation du bassin versant et de son évolution future

Une analyse détaillée de l'occupation du bassin versant demanderait une approche beaucoup plus complète que celle que nous avons menée et faisant appel, par exemple, aux outils de SIG. Cependant, après visite sur site, il apparaît de façon assez évidente qu'il existe un fort contraste entre la rive nord et la rive sud de la lagune. En effet, si la rive nord est essentiellement occupée par des plantations d'hévéa et, dans une moindre mesure, de palmiers à huile dont on peut supposer (même si cela reste à confirmer) qu'elles ont un impact assez limité sur la qualité des eaux de la lagune, la rive sud accueille quant à elle, une population humaine beaucoup plus importante qui ne semble,

en plus, qu'au tout début de son accroissement. En effet, l'essentiel de cette rive Sud a fait l'objet d'un déboisement massif qui a été réalisé en prévision de la construction de nouveaux lotissements dans les prochaines années.

Par ailleurs, l'occupation actuelle de la rive sud du bassin versant de la lagune se traduit d'ores et déjà par des pollutions qu'il serait nécessaire de quantifier à l'exemple de celles liées au stockage de déchets hautement toxiques juste au dessus d'un ravin qui conduit à la lagune. Sur cet emplacement, aucun bac de rétention des eaux d'écoulement ne semble exister pour prévenir une éventuelle contamination de la lagune par des lixiviats de ces déchets.



Conclusions

Cette étude ponctuelle sur la qualité de l'eau de la lagune Aghien ne constitue qu'un premier éclairage sur le potentiel d'utilisation de cette lagune pour produire de l'eau potable. En effet, il serait nécessaire de disposer d'un suivi du même type sur une période minimale de un an pour pouvoir véritablement évaluer l'état écologique de la lagune et la qualité de ses eaux.

Cependant, l'analyse des données collectées lors de la campagne d'échantillonnage montre que si les concentrations en phosphore et en azote sont très élevées et peuvent donc potentiellement permettre de générer de très fortes biomasses phytoplanctoniques, les concentrations en chlorophylle *a*, bien que plaçant la lagune

dans un état eutrophe, sont beaucoup plus faibles que celles qui pouvaient être attendues d'après les données chimiques. Par ailleurs, il est apparu que la communauté phytoplanctonique n'était pas dominée par les cyanobactéries, même si plusieurs genres potentiellement toxiques sont bien présents dans la lagune. Une comparaison de ces données avec celles de Ittis publiées en 1984, ne semble pas montrer d'évolution notable, que ce soit au niveau de la composition de la communauté ou à celui des concentrations en chlorophylle *a*. Il faut cependant considérer avec prudence ces résultats qui ne reposent que sur un prélèvement réalisé en une seule date, sachant que des variations importantes peuvent survenir sur ces paramètres (composition de la communauté et concentrations en chlorophylle *a*) sur des périodes de temps de quelques jours.

Enfin, il est apparu au niveau des paramètres physico-chimiques mais aussi au niveau de la communauté phytoplanctonique, que la lagune présente une forte hétérogénéité spatiale qui s'explique sans doute par l'influence relative des trois principaux tributaires. Cette influence peut probablement fortement évoluer en fonction du débit de ces tributaires.

Si les cyanobactéries ne posait pas de problème au moment de notre étude, il n'en est pas de même pour les valeurs de COT (et pour d'autres indicateurs de la charge en matière organique des eaux comme la couleur par exemple) qui sont très élevés, puisqu'elles ne permettraient pas l'utilisation du plan d'eau pour la production d'eau potable en France et dans le reste de l'Europe. Sachant en plus que la lagune est exposé à des contaminations fécales qui sont probablement récurrentes et qui risquent de s'accroître dans le futur avec l'augmentation des densités de populations humaines occupant son bassin versant, la charge élevée en matière organique peut poser de nombreux problèmes, que ce soit en terme de qualité de l'eau potable produite, qu'en terme de prix de revient de la production de cette eau. Une nouvelle fois ce résultat mérite d'être considéré avec prudence compte tenu du caractère ponctuel de notre suivi mais il renforce la nécessité de mettre en place un suivi de la lagune sur une période minimale de un an, et de s'interroger sur les ressources alternatives à cette lagune qui pourraient être mobilisées, si ces premiers résultats venaient à se confirmer.

Pour ces autres ressources alternatives, la même recommandation d'une évaluation réalisée sur une période minimale de un an doit être formulée puisque ce

n'est qu'à la fin de ce processus que pourra être fait le choix du plan d'eau ou de la rivière qui sera utilisée pour produire de l'eau potable destinée à l'agglomération d'Abidjan. Par ailleurs, seule une évaluation approfondie de la qualité de l'eau de ces écosystèmes permettra de définir le type de filière de traitement de l'eau qu'il sera nécessaire de mettre en place pour produire une eau de qualité.

Enfin, que ce soit pour la lagune d'Aghien ou pour les autres systèmes susceptibles d'être choisis pour produire de l'eau potable, il apparaît que la protection du bassin versant de ces systèmes est un point clé si l'on veut inscrire leur utilisation dans le long terme. En particulier, compte tenu du fait que la collecte puis le traitement des eaux usées sont quasiment absents en Côte d'Ivoire, les systèmes aquatiques sont particulièrement exposés aux pollutions liées à l'occupation humaine de leur bassin versant.

D'autres recommandations plus détaillées (notamment sur l'organisation des suivis) avaient déjà été formulées dans le rapport court fourni juste après la mission ; ce rapport figure à la fin de ce document.

Remerciements

Je tenais à remercier l'AFD pour l'organisation de cette mission, notamment son Agence d'Abidjan (M. Berthon et M. Sylla) qui a permis d'optimiser au mieux mon séjour à Abidjan, la SODECI et en particulier M Tchimou et Mme Adopo qui ont largement contribué à l'obtention d'une grande partie des données figurant dans ce rapport, et enfin l'Institut Pasteur d'Abidjan (Mme Dosso et M. Kalpy) qui a apporté ses connaissances et son expérience sur les problèmes liés à la qualité de l'eau à Abidjan.

Bibliographie

- Gruau *et al.* (2009). Evolution de la quantité de « matière organique » des captages d'eau brute de Bretagne. Note technique n°6 du GEPMO, 2à p.
- Guiral D., Ferhi A. (1989). Caractérisation ionique et isotopique d'un système hydrologique tropical : La lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Oceanologica Acta* 12, 47-55.
- Iltis A. (1984). Biomasses phytoplanctoniques de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia* 118, 153-175.
- Reynolds *et al.* (2002) Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankt. Res.* 24, 417-428.
- Tastet J.P., Guiral D. (1994) Géologie et sédimentologie. In Durand J.R. (ed.), Dufour P. (ed.), Guiral D. (ed.), Zabi S.G.F. (ed.) Environnement et ressources aquatiques en Côte d'Ivoire : 2. Les milieux lagunaires SourceParis : ORSTOM, 1994, p. 35-58. ISBN 2-7099-1136-1141.
- Varlet F.T. (1978) Le régime de la lagune Ébrié (Côte-d'Ivoire). Paris, Trav. Doc. Orstom, 83.

ANNEXES

Tableau 1. Résultats des analyses physico-chimiques.

	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10	Ech11
Couleur apparente (UCV)	73	82	80	61	53	57	67	139	161		
Couleur vraie après filtration (UCV)	39	42	37	26	36	25	29	72	71		
Turbidité avant filtration (NTU)	7,65	6,54	5,76	5,84	4,27	3,9	7,17	17,6	12,5		
Turbidité après filtration (NTU)	2,7	3,22	2,1	1,53	1,86	1,42	1,71	6,69	6,97		
MES (mg/L)		6	7		4	8	4	11	15	15	22
Oxydabilité au permanganate (mgO ₂ /L)	7,6	6,4	6	5,6	4,8	5,6	6,4	6,8	8		
COT (mgCOT/L)		11,1	10,5		9,32	9,26	7,86	8,75	10,5	11	8,17
Chlorophylle a (µg/L)	20,18	19,18	16,56	14,06	13,39	15,31	13,56	15,54	17,2	21,85	20,96
hydrogène sulfuré (mg/L)	7	9	5	6	5	9	5	26	13		

	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10	Ech11
pH	7,82	8,17	8,19	8,7	8,61	8,46	8,14	8,36	8,24		
Conductivité (µS/cm)	62,2	61,7	61,4	61,1	61,3	61,4	62,1	61,9	59,7		
Température (°C)	28,2	28,3	28,3	28,7	28,9	28,7	29,5	29,8	29,4		
Chlorures (mg/L)	4,4	4,7	3,7	3,5	3	3,2	4,1	6,4	4,1		
Sulfates (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
TH Calcique	1,08	1,44	1	0,96	1,5	0,92	1,04	1,48	1,2		
TH Total	1,76	1,88	2	1,48	2	1,6	1,88	1,76	2		
TAC	1,64	2,54	1,99	1,46	1,61	1,45	1,64	1,39	1,52		

	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10	Ech11
Silices (mg/L)	10,9	10,1	11,2	14,8	11,1	9,7	11,1	8,7	11,6		
Nitrates (mg/L)	1	0,4	1,1	1	2,3	0,5	0,7	0,3	0,8		
Nitrites (mg/L)	0,004	0,009	0,002	0,004	0,01	0,008	0,001	0,004	0,005		
Ammonium (mg/L)	0,2	0,23	0,19	0,16	0,16	0,13	0,18	0,35	0,37		
Phosphates (mg/L)	0,15	0,19	0,21	0,14	0,12	0,12	0,07	0,22	0,3		
Phosphore total (mg/L)		0,313	0,125		3	0,313	0,25	1	0,25	0,25	0,313
Azote total (mg/L)		1,68	2,24		6,16	5,6	2,8	5,04	1,12	0,56	1,12

	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10	Ech11
Fer total (mg/L)	0,47	0,43	0,37	0,3	0,25	0,3	0,38	0,71	0,87		
Manganèse (mg/L)	0,038	0,038	0,033	0,032	0,028	0,029	0,034	0,05	0,054		
Aluminium (mg/L)	0,04	0,041	0,012	0,015	0,003	0,019	0,012	0,028	0,044		
Cuivre (mg/L)	0,01	0,09	0,01	0	0,05	0,05	0	0,04	< 0,01		
Zinc (mg/L)	0,28	0,34	0,32	0,33	0,38	0,33	0,34	0,24	0,26		
Fluor (mg/L)	0,29	0,24	0,23	0,19	0,32	0,2	0,14	0,09	0,06		
Potassium (mg/L)	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	2	1,9	2,2	2		

Tableau 2. Résultats exprimées en proportions des comptages réalisés au niveau des genres phytoplanctoniques dans les onze stations échantillonnées

	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9	St 10	St 11
<i>C-Xanthidium</i>	0,5	2,0	1,5	2,5	3,5	3,9	1,8	1,4	1,1	1,1	0,9
<i>C-Acanthosphaera</i>	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>C-Actinastrum</i> ©	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	1,0
<i>C-Ankistrodesmus</i>	1,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
<i>C-Chlamydomonas</i>	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>C-Closterium</i>	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0
<i>C-Coelastrum</i> ©	0,5	0,6	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,2	0,0
<i>C-Cosmarium</i>	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
<i>C-Crucigenia</i> ©	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,2
<i>C-Dictyosphaerium</i> ©	1,0	0,2	0,0	0,3	0,5	0,2	0,1	0,3	0,4	0,3	0,6
<i>C-Kirchneriella</i> ©	0,5	0,7	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3
<i>C-Micractinium</i> ©	0,0	0,4	1,2	1,1	0,8	0,6	0,0	0,7	0,2	0,7	0,5
<i>C-Mougeotia</i>	43,8	58,9	55,1	45,8	56,7	53,0	44,5	7,8	9,8	8,2	5,7
<i>C-Pediastrum</i> ©	0,5	0,7	1,1	0,2	0,2	0,1	0,5	0,6	0,4	0,6	0,8
<i>C-Saturnella</i>	0,0	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>C-Scenedesmus</i>	11,4	0,4	1,4	0,0	0,0	0,9	0,7	1,2	0,7	1,2	0,9
<i>C-Sphaerocystis</i> ©	0,0	0,4	0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>C-Staurastrum</i>	4,8	10,0	8,9	16,1	12,2	11,6	9,1	7,8	4,9	7,4	4,5
<i>E-Euglena</i>	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
<i>E-Phacus</i>	0,5	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,4	0,3	0,1	0,1	0,0
<i>E-Trachelomonas</i>	0,5	0,1	0,1	0,4	0,1	0,0	0,6	0,4	0,2	0,3	0,1
<i>D-Aulacoseira</i>	5,2	16,9	14,4	1,4	5,3	8,5	6,1	51,4	32,4	52,7	60,5
<i>D-Diatoma/Eunotia</i>	1,9	1,3	6,1	18,5	4,7	3,6	3,2	4,7	1,3	8,5	18,2
<i>D-Stephanodiscus</i>	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>D-Synedra</i>	1,0	0,2	0,5	0,4	0,6	0,7	0,7	1,6	1,1	0,6	0,8
<i>Cr-Dinobryon</i> ©	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cr-Mallomonas</i>	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0
<i>Dn-Peridinium</i>	1,4	1,7	1,4	7,3	10,0	11,4	27,1	17,9	43,5	15,3	2,4
<i>Cy-Anabaena</i>	0,0	0,1	0,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	0,2
<i>Cy-Anabaena 2</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
<i>Cy-Apha/Cylindro</i>	0,5	0,4	0,8	0,7	1,0	0,9	0,8	0,9	0,0	0,0	0,0
<i>Cy-Aphanizomenon</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2
<i>Cy-Cylindrospermopsis</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	0,2
<i>Cy-Limnotherix</i>	5,2	0,4	0,5	1,4	1,4	0,6	0,6	0,1	0,0	0,1	0,4
<i>Cy-Merismopedia</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Cy-Microcystis</i>	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,3	0,5	0,1
<i>Cy-Planktolyngbya</i>	18,6	3,4	3,8	2,1	1,3	1,6	1,6	1,0	1,4	0,4	1,1
<i>Cy-Planktothrix</i>	0,5	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,3	0,4
<i>Cy-Pseudanabaena</i>	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Les lettres devant les noms de genre signifient leur appartenance aux différentes classes : C = Chlorophycées, D = Diatomées, E = Euglenophycées, Cr = Chrysophycées, Dn = Dynophycées, Cy = Cyanobactéries ; © = comptage des colonies

Rapport court (version du 28/02/2012)

Partout dans le monde, les eaux douces de surface sont au centre d'enjeux de multiples natures (écologique, économique, politique...), et elles subissent des pressions croissantes d'origine anthropique (augmentation de la population humaine, réchauffement climatique...). Ces pressions se traduisent par une diminution de la quantité et de la qualité de ces ressources. C'est ainsi que dans le district d'Abidjan, l'augmentation de la demande en eau se traduit actuellement par un déficit de production d'eau potable de 150 000 m³/jour, ce qui représente 30% de cette demande. Face à ce constat, l'Etat Ivoirien et la SODECI sont à la recherche de ressources d'eau douce complémentaires à celle de la nappe d'Abidjan qui est à son niveau de production maximale. C'est dans ce cadre que l'exploitation de l'eau de la lagune d'Aghien a été envisagée, sachant que cette eau est peu salée et qu'elle semble donc propice à la production d'eau potable. Suite à une visite de P. Gerini de l'AFD et à ses inquiétudes sur les risques potentiels pouvant être liés à des proliférations de cyanobactéries, j'ai été chargé de réaliser une expertise sur ce risque potentiel.

Si la campagne d'échantillonnage effectuée le mardi 21 février 2012 n'a pas révélé la présence massive de cyanobactéries, en revanche la présence d'au moins quatre espèces potentiellement toxiques a été relevée après examen microscopique des prélèvements. Sachant que les proliférations de ces espèces peuvent survenir sur des périodes de temps courtes (quelques semaines), l'absence de prolifération lors de ce suivi ne préjuge en rien de la possibilité de développements massifs de ces cyanobactéries dans la lagune. Pour confirmer l'existence de ce potentiel, nous avons analysé les mesures de la qualité chimique de l'eau, réalisées sur les mêmes échantillons, Les résultats les plus remarquables de ces analyses sont la présence :

1. de concentrations très élevées en orthophosphates (PO₄) qui se situent entre 70 et 300 µg/L. Sachant qu'un écosystème d'eau douce est considéré comme eutrophe (c'est à dire trop chargé en nutriments et donc susceptible de connaître des développements importants de microorganismes phytoplanctoniques, incluant les cyanobactéries) à partir de 40 µg/L, les valeurs obtenues sur Aghien classent cette lagune dans un état hypereutrophe. Les conditions nutritives de la lagune peuvent donc permettre le développement de proliférations massives de cyanobactéries, qui, lorsqu'elles impliquent des espèces toxiques, peuvent présenter un risque important pour la santé humaine et qui rendent difficile la production d'eau potable.
2. de quantités de matière organique très importantes comme le montrent les valeurs de Couleur Apparente (entre 53 et 161 UCV) et les concentrations en Carbone Organique Totale (COT). Concernant le COT, les concentrations se situent entre 8 et 11 mg/L, sachant que les valeurs limites pour l'eau brute recommandées par la France et l'Europe sont respectivement de 10 et 7 mg/L. Parmi les nombreux problèmes causés par une trop grande abondance de matière organique dans l'eau, on peut signaler :
 - (i) que leur présence résiduelle dans les eaux distribuées favorise la survie des pathogènes (bactéries, protozoaires...) et les risques sanitaires associés,

- (ii) que leur traitement va générer des quantités importantes de boues qu'il faudra éliminer, sachant que ces boues peuvent contenir des polluants ou/et des agents pathogènes, et
 - (iii) qu'il faudra mettre en place une filière de potabilisation performante, ce qui aura des répercussions sur le prix de revient de l'eau.
3. de concentrations en chlorure (3-6,4 mg/L) et de valeurs de conductivité très faibles (59,7-62,2 $\mu\text{S/cm}$), ce qui montre que l'eau est essentiellement d'origine continentale et donc que la lagune était faiblement influencée par l'océan au moment des prélèvements. Des résultats obtenus en 1999 présentaient des valeurs dix fois plus élevées, rapprochant les caractéristiques de l'eau de la lagune de celles de l'eau de mer. Des variations importantes dans la salinité peuvent donc survenir, sans que l'on en connaisse, pour l'instant, la fréquence et l'importance, faute d'un suivi régulier.

Ainsi, si aucune prolifération de cyanobactérie n'a été détectée lors de notre étude, il apparaît, à la lecture des données disponibles sur la qualité chimique de l'eau, que la lagune d'Aghien présente un caractère eutrophe et donc qu'elle peut potentiellement héberger de fortes proliférations de cyanobactéries. Par ailleurs, l'eau de cette lagune contient beaucoup de matière organique, ce qui pose de multiples problèmes pour la production d'eau potable.

On peut ajouter à ces premiers constats que l'Institut Pasteur d'Abidjan a documenté, dans les années récentes, plusieurs cas d'ulcère de Buruli (provoqué par la bactérie *Mycobacterium ulcerans*) dans un village situé sur les rives de la lagune (Débarcadère), ce qui montre que des agents pathogènes circulent dans l'eau, sans doute en quantité importante.

La principale faiblesse de cette première analyse est qu'elle repose essentiellement sur notre campagne d'échantillonnage et sur quelques données obtenues les années précédentes, alors qu'il serait nécessaire de disposer d'au moins une année de suivi régulier, pour pouvoir vraiment se faire une opinion sur la qualité de l'eau de la lagune.

Les inquiétudes suscitées par ces premières données sont renforcées si l'on procède à une analyse de l'occupation actuelle du bassin versant (BV) de la lagune et de ses tributaires. En effet, ce BV présente un degré d'anthropisation encore assez limité puisque :

- (i) les populations humaines vivant au bord de la lagune sont peu nombreuses,
- (ii) toute la rive Nord est occupée par des plantations d'hévéa et de palmiers à huile dont on ne connaît pas précisément les impacts sur l'environnement, mais qui semblent, *a priori*, assez limités, et enfin
- (iii) la rive Sud a été déboisée (ce qui favorise l'érosion et les apports de matière organique) avec de nombreux projets

de lotissement qui ne se sont pas encore concrétisés jusqu'à présent. Cependant, sachant que ces lotissements vont voir le jour dans les années prochaines et qu'aucun assainissement collectif ne sera mis en œuvre, il ne fait aucun doute que l'augmentation de la densité de population humaine sur le BV de la lagune va contribuer à dégrader encore plus la qualité de son eau.

Compte tenu de tous ces constats, les trois recommandations suivantes peuvent être proposées :

- 1. Nécessité d'établir une surveillance de la lagune Aghien sur une période minimale de un an, pour disposer d'un état complet de la qualité de ses eaux sachant que cet état est indispensable à la rédaction d'un cahier des charges pour la filière de traitement de l'eau.**

Cette surveillance doit s'établir sous la responsabilité et la coordination d'un Conseil Scientifique (CS) qui sera placé sous l'autorité de l'Etat et qui associera des représentants de l'Etat, des représentants de la SODECI et des scientifiques. Outre la responsabilité de définir avec précision les modalités de ce suivi, le CS sera également chargé d'assurer la collecte et le stockage des données, ainsi que les modalités d'accès à ces données.

Ce suivi devra concerner également les trois rivières qui alimentent la lagune (Djibi, Bété et La Mé) afin d'identifier leur contribution respective au mauvais état de la qualité de l'eau de la lagune et donc de mieux cerner les principales sources de pollution.

Outre les paramètres physico-chimiques et biologiques classiquement surveillés, ce suivi devra prendre en compte des paramètres n'ayant encore jamais fait l'objet d'analyses, à l'exemple des micropolluants, sachant qu'un stockage de produits toxiques existe toujours sur le BV de la lagune.

Ce suivi devra s'appuyer sur des compétences scientifiques déjà bien identifiées à l'exemple de l'Institut Pasteur d'Abidjan (Pr M. Dosso et Dr J. Kalpy) pour les virus, bactéries et protozoaires pathogènes, de l'Université d'Abobo-Adjamé (Hydrobiologie ; Dr F. Konan), de la SODECI pour le suivi de la qualité chimique de l'eau.

Ce suivi devra être prolongé au delà de la première année si la lagune est finalement retenue pour la production d'eau potable.

- 2. Nécessité de prendre des mesures pour protéger le Bassin Versant de la lagune, d'un impact anthropique croissant.**

Pour ce faire, la mesure qui nous semble la plus urgente est de stopper l'urbanisation du BV de la lagune, en prenant par exemple des mesures de protection foncière de cette zone.

Une autre mesure serait d'identifier les principaux points de vulnérabilité du Bassin Versant afin de pouvoir mettre en œuvre des mesures pour limiter leur impact. Dans le même esprit, l'enlèvement des déchets toxiques stockés dans le BV et le nettoyage de la zone de stockage de ces déchets doivent être envisagés au plus vite.

Sachant qu'une grande partie du BV est occupée par des cultures d'hévéa et de palmiers à huile, il serait nécessaire de mieux connaître l'impact environnemental de ces plantations, notamment au niveau de la gestion des fertilisants et des pesticides.

Enfin, parmi les autres mesures de protection pouvant être proposées, une reforestation des zones déboisées serait nécessaire pour limiter l'érosion.

3. Identification d'autres ressources pour produire de l'eau potable pour Abidjan, si la lagune Aghien n'est pas retenue, et mise en place d'études pour évaluer la qualité de l'eau dans ces ressources.

Après avoir identifié d'autres ressources potentielles en eau douce si la lagune Aghien ne peut être utilisée, il sera nécessaire de procéder, au plus vite,

- (i) à une évaluation de la qualité de leurs eaux en suivant les actions préconisées dans la première recommandation et
- (ii) d'étudier la vulnérabilité et les protections éventuelles à mettre en œuvre sur leur BV en suivant les actions préconisées dans la seconde recommandation.

Plus globalement, dans le contexte actuel des changements globaux (augmentation de la population humaine et réchauffement climatique) et de l'importance stratégique pour la Côte d'Ivoire des ressources en eaux douces, il semble nécessaire de mettre en œuvre dès que possible, une politique d'évaluation (reposant par exemple sur l'utilisation de bio indicateurs) et de protection de ses eaux douces de surface.