

ANALYSE COMPAREE DE LA QUALITE DES EAUX DES RIVIERES KAMBO ET LONGMAYAGUI (DOUALA) A PARTIR DES INDICES BIOLOGIQUES DE DIATOMES

[COMPARATIVE ANALYSIS OF THE WATER QUALITY OF KAMBO AND LONGMAYAGUI RIVERS FROM BIOLOGICAL DIATOM INDEXES]

Gildas Parfait NDJOUONDO¹, Marie Louise BA'ANA ETOUNDI², Roland Didier NWAMO⁴, Henri FANKEM¹, and Siegfried
Didier DIBONG¹⁻³⁻⁴

¹Département de Biologie des Organismes Végétaux, Faculté des Sciences, Université de Douala, B.P. 24157 Douala,
Cameroon

²Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université de Douala, B.P. 3132 Douala, Cameroon

³Département des Sciences Pharmaceutiques, Faculté de Médecine et des Sciences Pharmaceutiques, B.P. 2701 Douala,
Cameroon

⁴Département d'Aquaculture, Institut des Sciences Halieutiques, B.P. 2701 Douala, Cameroon

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The anarchic and rampant human impact in the city of Douala is the cause of the deterioration of its wetlands. The overall objective of the study is to determine the water quality of Kambo and Longmayagui rivers of Douala located in peri-urban and urban center respectively from Diatoms indexes. Organic materials and stones were sampled in each river. A total of 43 species belonging to 9 families and 22 genera were identified. The Diatom index is 4.0 to Kambo river (site 1) and 6.9 to Longmayagui river (site 2). These indexes show that Kambo river is less polluted, while Longmayagui river is polluted. The most frequent and abundant Diatoms in the samples of the two streams, Batika river characteristics (control) and Kambo can be used as indicators of unpolluted environment. These are : *Amphipleura pellucida* Kuetzing, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cymatopleura solea* Bourrelly, *Cymbella amphicephala* Naegeli, *Cymbella cesatii* (Rabenhorst) Grunow, *Cymbella frustula* Krammer and Lange-Berthalot, *Cymbella naviculiformis* Averswald, *Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kuetzing, *Fragilaria capucina* (Kuetzing) Lange-Bertalot, *Melosira varians* JG Agarda, *Navicula accomoda* Hustedt, *Navicula nivalis* Ehrenberg, *Nitzschia fonticola* Grunow, *Pinnularia gibba* Ehrenberg and *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kuetzing. Monitoring, based on biological indexes of algae could be developed in order to prevent risks of disruption due to various pollutants.

KEYWORDS: diatoms, pollution indices, rivers, Longmayagui and Kambo, Douala.

RESUME: L'anthropisation anarchique et galopante dans la ville de Douala est à l'origine de la dégradation de ses zones humides. L'objectif général de l'étude est de déterminer la qualité des eaux des rivières Kambo et Longmayagui de Douala situées respectivement en zone périurbaine et au centre urbain à partir des indices de Diatomées. Les supports organiques et les pierres ont été échantillonnés dans chaque rivière. Au total, 43 espèces réparties en 9 familles et 22 genres ont été identifiées. L'indice diatomique est de 4,0 à la rivière Kambo (site 1) et 6,9 à la rivière Longmayagui (site 2). Ces indices montrent que la rivière Kambo est non polluée alors que la rivière Longmayagui est polluée. Les Diatomées les plus fréquentes et abondantes dans les prélèvements des deux cours d'eau, caractéristiques des rivières Batika (témoin) à Yabassi et Kambo peuvent être utilisées comme indicatrices de milieu moins pollué. Il s'agit de : *Amphipleura pellucida* Kuetzing, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cymatopleura solea* Bourrelly, *Cymbella amphicephala* Naegeli, *Cymbella cesatii*

(Rabenhorst) Grunow, *Cymbella frustula* Krammer et Lange-Berthalot, *Cymbella naviculiformis* Averswald, *Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kuetzing, *Fragilaria capucina* (Kuetzing) Lange-Bertalot, *Melosira varians* J. G. Agarda, *Navicula accomoda* Hustedt, *Navicula nivalis* Ehrenberg, *Nitzschia fonticola* Grunow, *Pinnularia gibba* Ehrenberg, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kuetzing. Une surveillance, basée sur les indices biologiques des Algues pourrait être mise au point dans le but de prévenir les risques de perturbation dus aux pollutions diverses.

MOTS-CLEFS: Diatomées, Indices de pollution, rivières, Kambo et Longmayagui, Douala.

1 INTRODUCTION

Douala est identifiée comme étant une ville où les zones humides sont fortement anthropisées. Les conséquences marquantes qui en résultent sont de deux ordres : les pollutions et les inondations [12]. Qu'elles soient physiques ou chimiques, les pollutions ont deux principales sources dans la ville de Douala, l'habitat et les industries [15]. En effet, Douala est connue depuis plusieurs décennies pour sa forte productivité industrielle et sa commercialisation agropastorale. Or, la production de ces ressources implique une utilisation abusive de produits phytosanitaires (engrais et pesticides) ainsi que des décharges des déchets industriels. Ceux-ci pourraient avoir des conséquences sur la qualité des eaux, et conduire à des changements profonds de la composition et de la structure des peuplements des organismes des hydrosystèmes de cette zone [7]. La prise en compte des altérations provoquées par les activités humaines sur ces zones humides apparaît actuellement comme une préoccupation majeure. La relation entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes est une question écologique fondamentale : pour comprendre la structure et le fonctionnement d'un écosystème, il est indispensable de connaître les différents éléments qui le composent, c'est-à-dire la distribution des organismes dans le temps et dans l'espace [3]. D'un autre point de vue, si l'interrogation est portée sur la capacité de résistance des écosystèmes aux perturbations (en particulier anthropiques), il est nécessaire de statuer sur l'hypothèse selon laquelle la richesse spécifique favorise la stabilité des communautés de producteurs autotrophes [8]. Cependant la pollution en milieu urbain peut être déterminée par l'analyse des polluants, par des méthodes satellitaires ou l'analyse des communautés végétales [16]. Toutefois, nonobstant la pertinence des méthodes analytiques, elles restent de peu d'intérêts dans la détection des pollutions épisodiques [17]. Aussi, les plantes, intégratrices des phénomènes que connaissent les écosystèmes apparaissent comme des marqueurs des changements environnementaux [18]. L'analyse biologique permet d'identifier les perturbations et leurs effets sur les communautés animales et végétales en place.

Les réactions des différentes Diatomées ou communautés de Diatomées à la pollution et aux changements des conditions aquatiques peuvent se manifester de diverses manières. Selon les changements du milieu, les espèces de Diatomées ou les communautés de Diatomées réagissent par : des variations d'ordre sociologiques comme la fréquence absolue ou relative, la diversité, la stabilité, la structure de la communauté ; la biomasse ; des activités physiologiques (photosynthèse, respiration, nutrition, accumulation de substances, déplacement). Dans la pratique, les Diatomées sont utilisées comme indicatrices de réaction dans l'appréciation de la qualité des eaux. Pour ce faire, les caractéristiques des communautés doivent être connues. Le terme bio-indication englobe les méthodes biologiques qui permettent de tirer des conclusions sur les conditions de l'environnement en se basant sur les organismes présents [4]. Pour que des organismes ou des communautés d'organismes puissent être qualifiés de bio-indicateurs, leur présence, leur comportement ou leurs adaptations physiologiques (changements d'état réversibles) doivent être en relation aussi simple et étroite que possible avec des facteurs écologiques (facteurs de stress) [4].

L'objectif général de l'étude est de déterminer la qualité des eaux des rivières Kambo et Longmayagui de Douala situées respectivement en centre urbain et en zone périurbaine à partir des indices biologiques de Diatomées. Les objectifs spécifiques sont de : (1) déterminer les paramètres physico-chimiques associés à ces rivières ; (2) faire un inventaire floristique des Diatomées peuplant ces rivières ; (3) calculer les indices biologiques de ces rivières.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITES D'ÉTUDE

La région étudiée fait partie de la zone à climat équatorial côtier nord. La température moyenne annuelle est de 26,4 °C. Les précipitations montrent qu'elle est pluvieuse, s'étendant sur 9 mois. Ces précipitations moyennes annuelles sont de 360,83 mm. L'humidité moyenne annuelle de l'air est de 78,3%. L'évaporation moyenne annuelle est de 50,6%. L'insolation moyenne annuelle est de 109,6%. Le vent dominant est porteur de la mousson [12]. L'étude s'est déroulée dans les rivières Batika, (située

à yabassi, témoin), Kambo et Longmayagui (situées à Douala). La rivière Batika a une faible activité anthropique. L'agriculture de subsistance est l'activité économique la plus importante, en aval de la rivière. L'amont et la transition sont situés dans la forêt non exploitée par les riverains. L'extraction artisanale de sable, la pêche et la chasse y sont aussi importantes [1]. La rivière Kambo, située à la périphérie de la ville de Douala est exposée aux pollutions agropastorales. La rivière Longmayagui est située au centre urbain (Douala). Elle est exposée aux pollutions de la zone industrielle de Bassa notamment la Société Anonyme des Brasseries du Cameroun (SABC). La transition et l'aval sont exposés aux pollutions par les déchets ménagers, les activités agropastorales et les huiles de vidange venant de l'aéroport international de Douala.

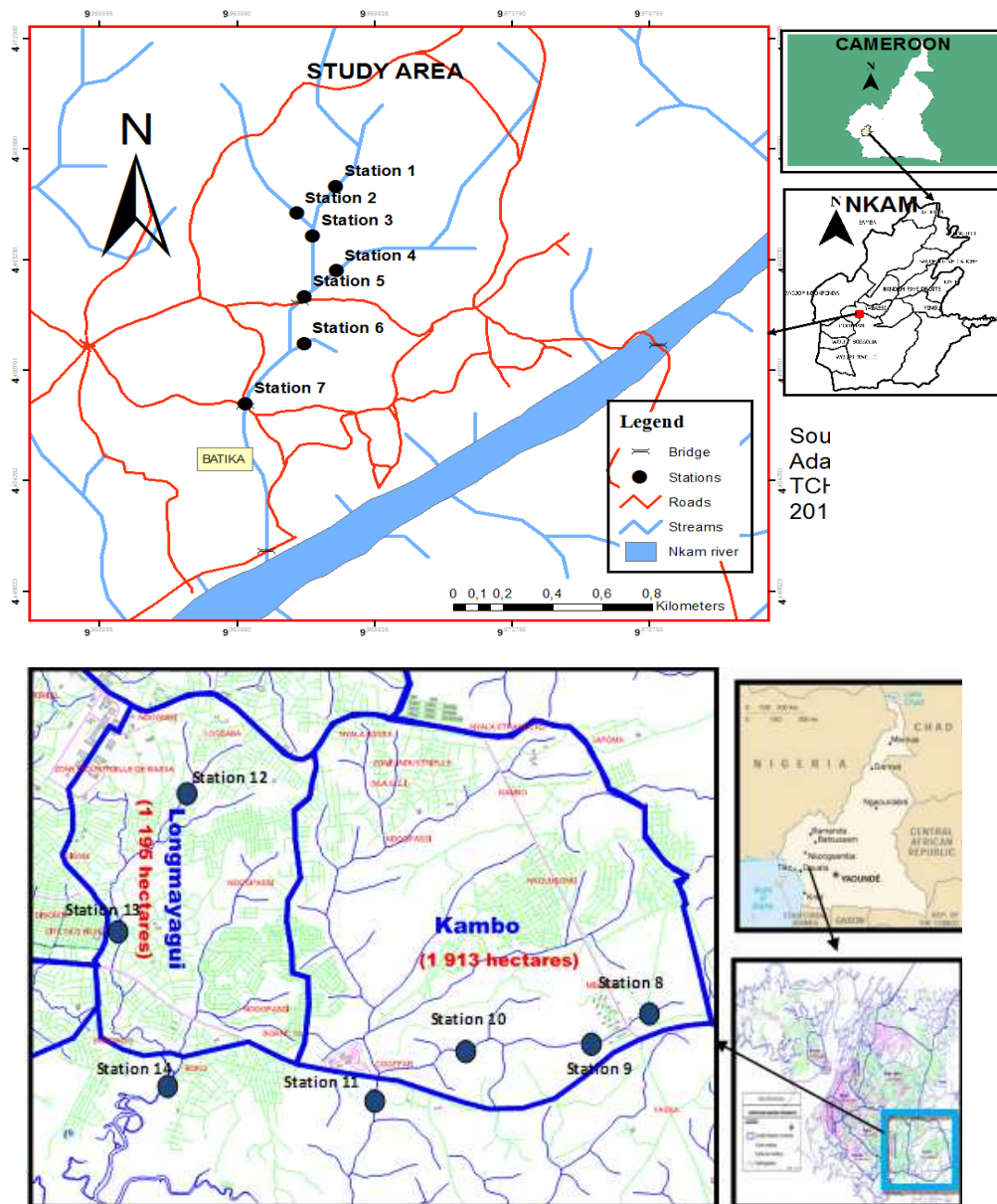


Figure 1. Cartes des sites d'étude montrant les stations d'échantillonnage (Anonyme, 2010, modifié).

2.2 ECHANTILLONNAGE

Le substrat solide, comme la surface des pierres et les végétaux immergés situées dans le courant, ont été échantillonnés. Les végétaux ont été pressés pour les espèces herbacées et grattés pour les espèces ligneuses de grand diamètre. Les pierres situées aux abords des cours d'eau ainsi que celles situées en pleine eau pour les sites (témoin et 1) de faible profondeur ont été grattées au moyen d'une brosse à dents. Le contenu a été rincé dans un récipient à de l'eau distillée. L'échantillon a été

agité et filtré au moyen d'un tamis afin de le débarrasser de restes de macrophytes, de petits cailloux, de feuilles ou d'autres grosses particules. Le contenu a été fixé au formol à 5% de son volume.

2.3 PREPARATION DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE POUR LES DIATOMÉES PERIPHYTIQUES

Des sous échantillons ont été effectués après homogénéisation et dilués à l'eau distillée. Les lamelles ont été placées à distance régulière sur la plaque chauffante. Après agitation, 0,5 ml du contenu du sous échantillon, a été déposé sur les lamelles et chauffé jusqu'à évaporation. Après dessiccation du matériel, la température a été augmentée pour carboniser la matière organique jusqu'à obtention de la couleur grise. Les lamelles couvre-objet ont été plongées dans de l'eau distillée pour éliminer les cendres. Plusieurs préparations ont ainsi été effectuées avec des dilutions différentes.

2.4 OBSERVATION MICROSCOPIQUE ET IDENTIFICATION

La préparation a été montée entre lame et lamelle. Ce travail au microscope comprend la détermination des espèces et le comptage des valves de Diatomées, comme les petites ornementsations des valves. Les clés d'identifications suivantes ont été utilisées : [4], [5].

2.5 COMPTAGE

Le comptage s'est effectué selon la méthode de [4]. Après détermination des Diatomées fréquentes dans un échantillon, le dénombrement des valves de Diatomées a été effectué. Au moins 400 valves ont été comptées. Toutes les valves trouvées en cours de dénombrement ont été identifiées, même celles de taxons qui n'ont pas de valeur indicatrice D. Le comptage s'est effectué sur toute la préparation en tenant compte de toutes les valves intactes ; les cellules entières ont été comptées comme 2 valves. Parmi les fragments, ceux qui présentent au moins une demi-valve ont été comptés.

2.6 CALCUL DE L'INDICE DE DIATOMÉES

Pour apprécier l'état de santé du site d'étude, l'indice des Diatomées DI-CH (indice Suisse), a été calculé sur la base de la liste de comptage obtenue selon la formule suivante :

$$DI-CH = \frac{\sum_{i=1}^n D_i G_i H_i}{\sum_{i=1}^n G_i H_i} \quad \text{où,}$$

DI-CH = indice Suisse des Diatomées (Diatomées Indice Suisse, second étalonnage) ; D_i = valeur de classement du taxon i sur la base de sa préférence autoécologique (valeur indicatrice D) ; G_i = facteur de pondération du taxon i ; H_i = fréquence relative du taxon en pour cent (= nombre de valves recensées du taxon divisé par le nombre total de valves de l'échantillon étudié) ; n = nombre de taxons dans l'échantillon.

2.7 COEFFICIENT DE SIMILARITÉ DE SORENSEN

Le coefficient de similarité de Sorensen (C_s) est donné par la formule :

$$C_s = \frac{2j}{2j+a+b}$$

Soit A et B deux milieux, a = nombre d'espèces présentes dans le milieu A, b = nombre d'espèces présentes dans le milieu B et j = nombre d'espèces communes aux 2 milieux ; l'indice de similarité de Sorensen varie de 0 (absence de similarité) à 1 (milieux identiques).

2.8 ANALYSE STATISTIQUES

Microsoft Office Excel 2010 a été utilisé pour le calcul des erreurs types, des écart-types ainsi que la représentation des histogrammes. Ces données sont présentées en termes de moyennes et d'écart-types. La comparaison multiple des groupes a été effectuée par le test paramétrique de one way ANOVA et le test-T de Student grâce au logiciel Past 3.02a. Les différences ont été considérées significatives pour $p < 0,05$. L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été appliquée à la composition du peuplement afin de regrouper les sites d'échantillonnage en fonction de leurs similarités floristiques. Ces analyses ont été effectuées avec les logiciels XLSTAT 2014 et, Past 3.02a pour les dendrogrammes.

3 RÉSULTATS

3.1 PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES

Les paramètres physico-chimiques montrent que les sites témoin et 1 (Batika) sont de faibles profondeurs. La valeur minimale moyenne est observée au site témoin (batika) de $27,42 \pm 15$ cm. La profondeur maximale moyenne est située au site 2 (Longmayagui) de $100 \pm 0,00$ cm. Les éléments de minéralisation et organiques montrent un gradient du site témoin au site 2. Les TDS varie de $39,05 \pm 14,02$ ppm (témoin) à $171,33 \pm 18,00$ ppm (site 2). La conductivité varie de $51,03 \pm 0,75$ $\mu\text{S} / \text{cm}$ (témoin) à $259,00 \pm 4,00$ $\mu\text{S} / \text{cm}$ (site 2). La salinité varie de $34,15 \pm 8,14$ ppm (témoin) à $143,33 \pm 7,00$ ppm (site 2). Le pH montre que les sites d'étude sont neutres et varie respectivement de $6,63 \pm 0,53$ (site 1) à $7,03 \pm 0,03$ (site 2). Les nitrates varient du site témoin au site 2 respectivement de $0,12 \pm 0,27$ mg/l et $2,19 \pm 1,64$ mg/l. Les phosphates varient de $0,18 \pm 0,06$ mg/l (témoin) à $18,32 \pm 2,58$ (site 2) mg/l.

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques des sites d'étude (Ts = température de l'eau, TDS = solides totaux dissous, COND =

conductivité, pH = potentiel hydrogène ; $p < 0,05$, **différence très significative, *différence significative).

Paramètres	Sites		
	Témoin (Batika)	1 (Kambo)	2 (Longmayagui)
Profondeur (cm)	$27,42 \pm 15$	$60,00 \pm 15,00^*$	$100 \pm 0,00^{**}$
Ts (°C)	$26,02 \pm 0,12$	$27,36 \pm 0,40^*$	$27,90 \pm 0,50^*$
TDS (ppm)	$39,05 \pm 14,02$	$39,73 \pm 3,80$	$171,33 \pm 18,00^*$
COND ($\mu\text{S} / \text{cm}$)	$51,03 \pm 0,75$	$61,30 \pm 8,71$	$259,00 \pm 4,00^*$
Salinité (ppm)	$34,15 \pm 8,14$	$41,08 \pm 4,45$	$143,33 \pm 7,00^*$
pH	$6,69 \pm 0,13$	$6,63 \pm 0,53$	$7,03 \pm 0,03$
Nitrates (mg / l)	$0,12 \pm 0,27$	$0,81 \pm 0,2^*$	$2,19 \pm 1,64^{**}$
phosphates (mg / l)	$0,18 \pm 0,06$	$0,28 \pm 0,24$	$18,32 \pm 2,58^*$

3.2 RAPPROCHEMENT DES STATIONS EN FONCTION DES PARAMETRES CHIMIQUES

Le rapprochement des sites en fonction des paramètres physico-chimiques montre deux groupes (Fig. 2) :

- le groupe I constitué des sites témoin et 1 montrant des valeurs relativement basses de TDS, conductivité, salinité, pH, nitrates et phosphates ;
- le groupe II constitué du site 2 montrant des valeurs élevées de paramètres chimiques.

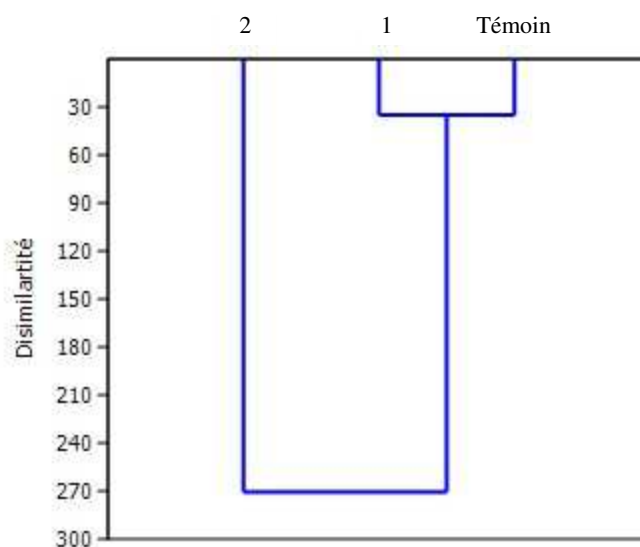


Figure 2. Dendrogramme de rapprochement des sites en fonction des paramètres physico-chimiques.

3.3 COULEUR DE L'EAU

La couleur de l'eau dans les sites d'étude est influencée par le degré de pollution. La rivière Kambo comparativement à Longmayagui montre la même couleur que la rivière Batika (Fig. 3). Ces deux rivières présentent des eaux transparentes. Les eaux de la rivière Longmayagui sont vertes. La transparence prise par le Secchi est de $41,66 \pm 0,12$ cm à Longmayagui.

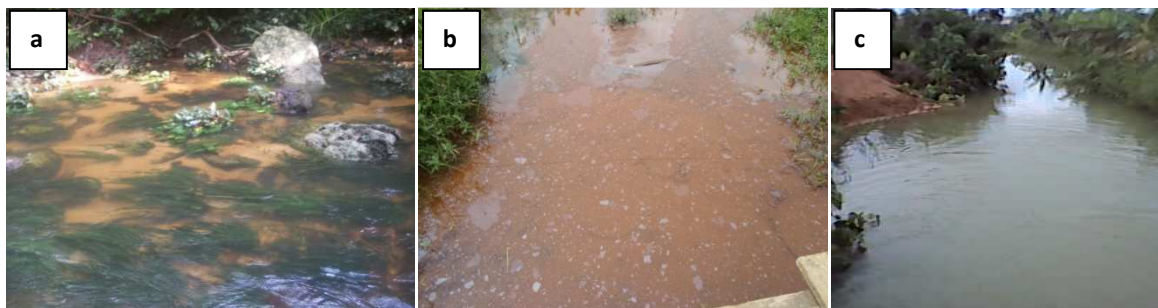


Figure 3. Aspect des eaux des rivières (a) Batika, (b) Kambo et (c) Longmayagui.

3.4 RICHESSE SPÉCIFIQUE

La richesse spécifique des Diatomées des sites d'étude s'élève à 43 espèces réparties en 9 familles et 22 genres (Tableau 2). Le genre *Navicula* (8 espèces) est le plus représenté, suivi de *Cymbella* (5 espèces), et de *Diatoma* et *Melosira* (3 espèces). Les familles les moins représentées sont celles des *Asterolampraceae* et *mastogloiaceae* (1 genre et 1 espèce).

Tableau 2 : Richesse spécifique des sites d'étude

Familles	Genres	Nombre d'espèces
<i>Achnanthaceae</i>	<i>Achnantes</i>	2
<i>Asterolampraceae</i>	<i>Aulacoseira</i>	1
<i>Coscinodiscaceae</i>	<i>Cyclotella</i>	2
	<i>Melosira</i>	3
	<i>Meridion</i>	1
	<i>Stephanodiscus</i>	2
<i>Diatomataceae</i>	<i>Diatoma</i>	3
	<i>Fragilaria</i>	1
	<i>Tabellaria</i>	1
<i>Mastogloiaceae</i>	<i>Mastogloia</i>	1
<i>Naviculaceae</i>	<i>Cymbella</i>	5
	<i>Gomphonema</i>	2
	<i>Amphipleura</i>	1
	<i>Anomoeoneis</i>	1
	<i>Caloneis</i>	1
	<i>Navicula</i>	8
	<i>Pinnularia</i>	1
	<i>Pleurosigma</i>	1
<i>Nitzschiaceae</i>	<i>Nitzschia</i>	3
<i>Surirellaceae</i>	<i>Cymatopleura</i>	1
	<i>Surirella</i>	1
<i>Thalassiosiraceae</i>	<i>Talassiosira</i>	1

3.5 INDICE DE SIMILITUDE DE SORENSEN

L'indice de similitude de Sorensen est variable et décroît de 0,91 (sites témoin et 1) à 0,53 (sites 1 et 2) (Fig. 4). Les sites témoin et 1 ont 21 espèces communes, les sites témoin et 2 ont 9 espèces communes et les sites 1 et 2 ont 8 espèces communes. Il existe 8 espèces communes aux 3 sites.

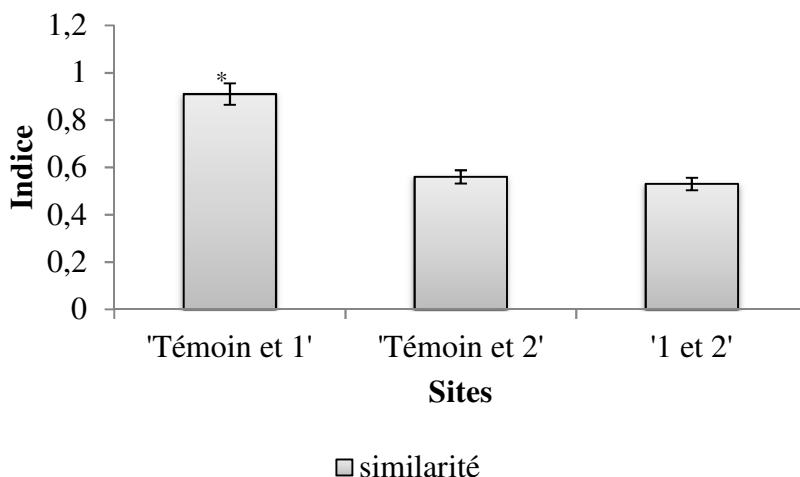


Figure 4. Indice de similitude entre les différents sites d'étude ($p < 0,05$, *différence significative).

3.6 RAPPROCHEMENT DES SITES EN FONCTION DES ESPECES FREQUENTES ET ABONDANTES

La variation spatiale des sites d'étude en fonction des espèces montre 2 groupes (Fig. 5) :

- le groupe I, représentant la rivière Longmayagui constitué d'une espèce exclusive, *Stephanodiscus hanzschuii* ;
- le groupe II rapprochant les sites témoin (Batika) et 1 (Kambo), constitué d'espèces communes telles que *Amphipleura pellucida* ; *Aulacoseira granulata* ; *Cymatopleura solea* ; *Cymbella amphicephala* ; *Cymbella cesatii* ; *Cymbella frustula* ; *Cymbella naviculiformis* ; *Diatoma mesodon* ; *Fragilaria capucina* ; *Melosira varians* ; *Navicula nivalis* ; *Nitzschia fonticola* ; *Pinnularia gibba*.

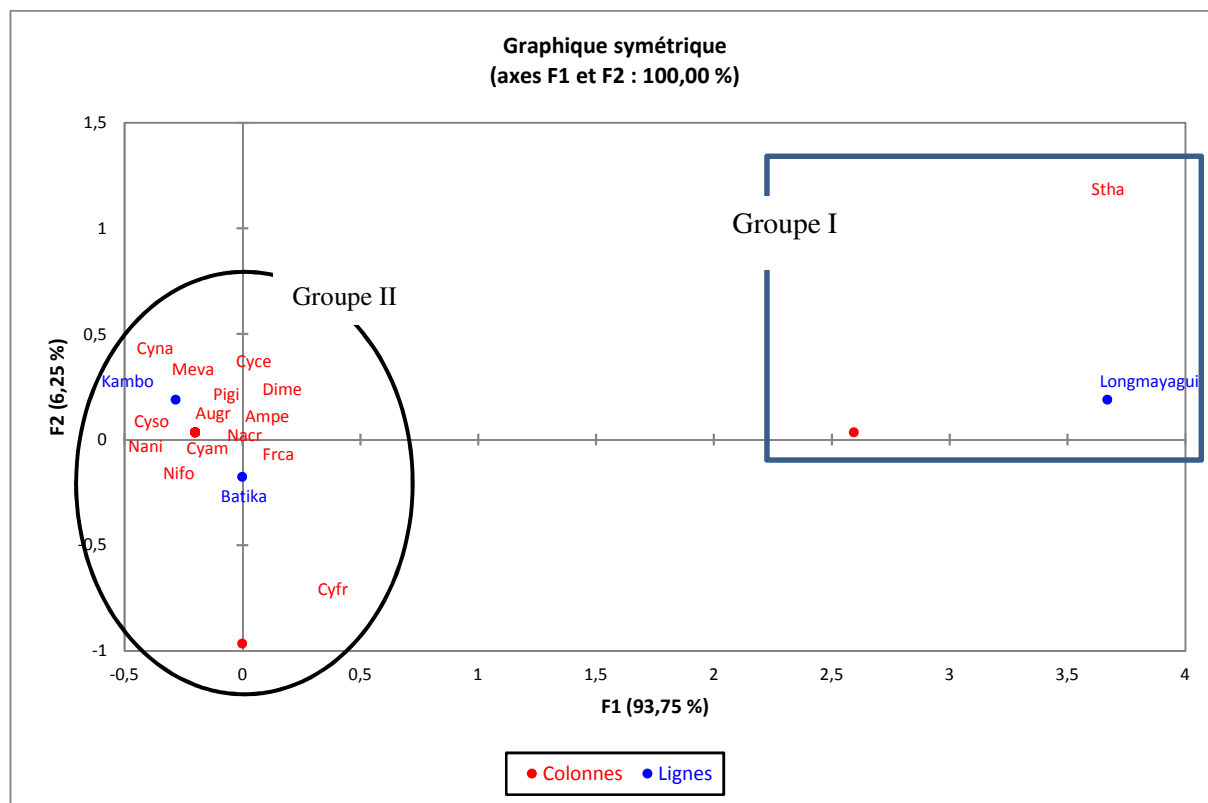


Fig. 5. Représentations des groupes (I et II), des sites (en bleu) et des espèces (en rouge) dans le plan factoriel 1-2 de l'AFC

(Ampe = *Amphipleura pellucida* ; Augr = *Aulacoseira granulata* ; Cyso = *Cymatopleura solea* ; Cyam = *Cymbella amphicephala* ; Cyse = *Cymbella cesatii* ; Cyfr = *Cymbella frustula* ; Cyna = *Cymbella naviculiformis* ; Dime = *Diatoma mesodon* ; Frca = *Fragilaria capucina* ; Meva = *Melosira varians* ; Nani = *Navicula nivalis* ; Nifo = *Nitzschia fonticola* ; Pigi = *Pinnularia gibba* ; Stha = *Stephanodiscus hantzschii*).

3.7 LISTE DES ESPECES DONT LES PRELEVEMENTS SONT SUPERIEURS A 5 % POUVANT ETRE UTILISEES COMME INDICATEURS DE MILIEUX NON POLLUES

Les espèces fréquentes, présentes dans la plupart des prélèvements avec une fréquence supérieure ou égale à 5% peuvent être utilisées comme indicatrices de milieu non pollué. Ce sont: *Amphipleura pellucida* Kuetzing, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cymatopleura solea* Bourrelly, *Cymbella amphicephala* Naegeli, *Cymbella cesatii* (Rabenhorst) Grunow, *Cymbella frustula* Krammer et Lange-Berthalot, *Cymbella naviculiformis* Averswald, *Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kuetzing, *Fragilaria capucina* (Kuetzing) Lange-Bertalot, *Melosira varians* J. G. Agarda, *Navicula accomoda* Hustedt, *Navicula nivalis* Ehrenberg, *Nitzschia fonticola* Grunow, *Pinnularia gibba* Ehrenberg, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kuetzing.

3.8 INDICE DE DIATOMÉES

L'indice de Diatomées calculé dans les sites décroît du site témoin (Batika) au site 2 (Longmayagui) respectivement de 3,9 à 6,9 (Tableau 4). Les valeurs de ces indices situées entre 3,5 et 4,49 aux sites témoin et 1, témoignent la bonne qualité de ces eaux. Par contre la valeur de l'indice du site 2 situé entre 6,5 et 8,0, témoigne la mauvaise qualité de ces eaux.

Tableau 4a: Indice de pollution du site témoin (D = valeur indicatrice du taxon, G = facteur de pondération et H = fréquence du taxon).

Genre	Espèces	Variété	Auteur	D	G	Nombre de valves	H (%)	G × H	D × G × H
<i>Achnanthes</i>	<i>minutissima</i>	var. <i>saprophia</i>	(Kobayasi et Mayama) Diot.	7,5	4	10	0,03	0,12	0,9
<i>Amphipleura</i>	<i>pellucida</i>		Kuetzing	1,0	1	7	0,02	0,02	0,02
<i>Aulacoseira</i>	<i>granulata</i>		(Ehrenberg) Simonsen	4,5	1	30	0,08	0,06	0,36
<i>Cyclotella</i>	<i>ocellata</i>		Pantocsek	2,0	1	41	0,10	0,10	0,2
<i>Cymbella</i>	<i>cesatii</i>		(Rabenhorst) Grunow	1,0	1	24	0,06	0,06	0,06
	<i>naviculiformis</i>		Averswald	1,0	1	25	0,06	0,06	0,06
<i>Diatoma</i>	<i>mesodon</i>		(Ehrenberg) Kuetzing	1,0	4	13	0,03	0,12	0,12
<i>Fragilaria</i>	<i>capucina</i>		(Kuetzing) Lange-Bertalot	1,0	4	17	0,04	0,16	0,16
<i>Melosira</i>	<i>varians</i>		J. G. Agarda	4,5	2	51	0,13	0,26	1,17
<i>Navicula</i>	<i>accomoda</i>		Hustedt	8,0	8	13	0,03	0,24	1,92
	<i>cryptotenelloides</i>		Lange-Berthalot	4,0	0,5	5	0,01	0,005	0,02
	<i>gregaria</i>		Donkin	5,5	1	11	0,03	0,03	0,165
	<i>lenzii</i>		Hustedt	4,5	1	4	0,01	0,01	0,045
<i>Nitzschia</i>	<i>fonticola</i>		Grunow	3,5	1	35	0,09	0,09	0,315
	<i>sigma</i>		Grunow	4,0	2	10	0,03	0,06	0,24
<i>Pinnularia</i>	<i>gibba</i>		Ehrenberg	7,5	2	8	0,02	0,04	0,3
<i>Stephanodiscus</i>	<i>hantzschii</i>		Grunow	3,5	1	18	0,05	0,05	0,175
<i>Surirella</i>	<i>brebissonii</i>		Compère	4,5	2	11	0,03	0,06	0,27
<i>Tabellaria</i>	<i>flocculosa</i>		(Roth) Kuetzing	3,5	1	65	0,16	0,16	0,56
		Total				400	1,00	1,585	6,16
			DI-CH, arrondi						3,9

Tableau 4b : Indice de pollution du site 1 (D = valeur indicatrice du taxon, G = facteur de pondération et H = fréquence du taxon).

Genre	Espèces	Variété	Auteur	D	G	Nombre de valves	H (%)	G × H	D × G × H
<i>Achnanthes</i>	<i>minutissima</i>	var. <i>saprophia</i>	(Kobayasi et Mayama) Diot.	7,5	4	8	0,02	0,08	0,6
<i>Amphipleura</i>	<i>pellucida</i>		Kuetzing	1,0	1	8	0,02	0,08	0,6
<i>Aulacoseira</i>	<i>granulata</i>		(Ehrenberg) Simonsen	4,5	1	23	0,06	0,06	0,27
<i>Cyclotella</i>	<i>ocellata</i>		Pantocsek	2,0	1	35	0,09	0,09	0,18
<i>Cymbella</i>	<i>cesatii</i>		(Rabenhorst) Grunow	1,0	1	35	0,09	0,09	0,09
	<i>naviculiformis</i>		Averswald	1,0	1	15	0,04	0,04	0,04
<i>Diatoma</i>	<i>mesodon</i>		(Ehrenberg) Kuetzing	1,0	4	15	0,04	0,16	0,16
<i>Fragilaria</i>	<i>capucina</i>		(Kuetzing) Lange-Bertalot	1,0	4	15	0,04	0,16	0,16
<i>Melosira</i>	<i>varians</i>		J. G. Agarda	4,5	2	61	0,15	0,3	0,3
<i>Navicula</i>	<i>accomoda</i>		Hustedt	8,0	8	18	0,05	0,4	3,2
	<i>cryptotenelloides</i>		Lange-Bertalot	4,0	0,5	5	0,01	0,01	0,02
	<i>gregaria</i>		Donkin	5,5	1	10	0,03	0,03	0,17
	<i>lenzii</i>		Hustedt	4,5	1	10	0,03	0,03	0,14
<i>Nitzschia</i>	<i>fonticola</i>		Grunow	3,5	1	40	0,10	0,10	0,35
	<i>sigma</i>		Grunow	4,0	2	5	0,01	0,02	0,08
<i>Pinnularia</i>	<i>gibba</i>		Ehrenberg	7,5	2	15	0,04	0,08	0,6
<i>Surirella</i>	<i>brebissonii</i>		Compère	4,5	2	10	0,03	0,06	0,27
<i>Tabellaria</i>	<i>flocculosa</i>		(Roth) Kuetzing	3,5	1	72	0,18	0,18	0,63
		Total				400	1,00	1,97	7,86
			DI-CH, arrondi						4,00

Tableau 4c : Indice de pollution du site 2 (D = valeur indicatrice du taxon, G = facteur de pondération et H = fréquence du taxon).

Genre	Espèces	Variété	Auteur	D	G	Nombre de valves	H (%)	G × H	D × G × H
<i>Achnanthes</i>	<i>minutissima</i>	var. <i>saprophia</i>	(Kobayasi et Mayama) Diot.	7,5	4	51	0,13	0,52	3,9
<i>Cyclotella</i>	<i>ocellata</i>		Pantocsek	2,0	1	30	0,08	0,08	0,16
<i>Navicula</i>	<i>accomoda</i>		Lange-Bertalot	8,0	8	78	0,20	1,6	12,8
	<i>gregaria</i>		Donkin	5,5	1	24	0,06	0,06	0,33
	<i>lenzii</i>		Hustedt	4,5	1	22	0,06	0,06	0,27
<i>Nitzschia</i>	<i>sigma</i>		Grunow	4,0	2	98	0,25	0,5	2,25
<i>Stephanodiscus</i>	<i>hantzschii</i>		Grunow	3,5	1	54	0,14	0,14	0,49
<i>Surirella</i>	<i>brebissonii</i>		Compère	4,5	2	33	0,08	0,16	0,72
<i>Tabellaria</i>	<i>flocculosa</i>		(Roth) Kuetzing	3,5	1	10	0,03	0,03	0,09
		Total				400	1,00	3,15	21,01
			DI-CH, arrondi						6,9

4 DISCUSSION

L'inventaire et l'abondance relative des espèces de Diatomées dans les 14 stations échantillonnées, montre que les prélèvements effectués sont inférieurs à ceux obtenus par [6] dans la région du Gharb au Maroc. Ils ont obtenus 96 espèces de Diatomées et variétés groupées en 21 genres. Ils ont montré que la plupart des espèces obtenues ont un caractère alcaliphyle. Par contre le pH obtenu montre une tendance de neutralité des cours d'eau échantillonnés. Les résultats des comptages de ces auteurs montrent l'abondance de quelques espèces durant toute l'année et dans toutes les stations, il s'agit notamment des espèces très résistantes à la pollution organique : *Cyclotella meneghiniana* Kuetzing, *Navicula veneta* Kuetzing, *Gomphonema parvulum* Kuetzing, *Navicula subminuscula* Manguin, ce qui révèle une pollution organique importante au niveau de la Merja (Maroc). Ces résultats sont proches de la flore diatomique du site 2 (Longmayagui) qui montre l'abondance et la fréquence de *Cyclotella ocellata* Pantocsek, *Stephanodiscus hantzschii* Grunow, *Gomphonema parvulum* Kuetzing, *Navicula accommoda* Krammer et Lange-Bertalot et *Nitzschia sigma*. [13] ont obtenus des résultats similaires, 39 espèces groupées en 17 genres au lac de Titicaca (Bolivie).

Selon l'échelle de classification de [4], l'indice diatomique de la qualité de l'eau varie de très bon à mauvais. Pour cet auteur, une eau est qualifiée « bon » lorsque l'indice diatomique est compris entre 3,5 et 4,49 : les objectifs écologiques sont remplis au point de vue des Diatomées. C'est une indication que les exigences relatives à la qualité des eaux pour les cours d'eau sont

vraisemblablement respectées. Lorsque l'indice est entre 6,5 à 8,0, elle est qualifiée « mauvais » : les objectifs écologiques ne peuvent pas être respectés. C'est une indication univoque que les exigences relatives à la qualité des eaux pour les cours d'eau ne sont également pas respectées. Les rivières Batika et Kambo sont moins polluées car leurs indices diatomiques de 3,9 et 4,0 respectivement sont dans l'intervalle 3,5 et 4,49. Elles sont qualifiées de bonne qualité. La rivière Longmayagui a un indice de 6,9, elle est de mauvaise qualité.

Les Diatomées sont des organismes autotrophes les plus diversifiés dans les rivières puisqu'elles ont la possibilité de coloniser toutes les surfaces disponibles. Cette facilité de colonisation justifierait leur prédominance dans la composition taxonomique des algues fixées sur feuilles. En outre, les Diatomées peuvent aussi se détacher des supports et se retrouver en dérive dans la colonne d'eau, ce qui expliquerait également leur diversité importante aussi bien dans le périphyton que dans le peuplement de pleine eau [10]. Tant dans la recherche que dans la pratique, les Diatomées sont utilisées depuis le début du siècle pour apprécier la qualité des eaux [11]. [4] mentionne que certains thèmes essentiels sont apparus très tôt : système des halobies (salinité, salinisation), procédure de reconstitution de la valeur pH (acidification) et pollution organique. Plus récemment est encore venue s'ajouter la détermination du niveau trophique. Les Diatomées sont régulièrement utilisées comme bio-indicatrices depuis plus de 15 ans en Amérique, Europe et Asie [14]. Les unicellulaires réagissent vite aux changements de l'environnement que les organismes pluricellulaires. La connaissance de la durée de génération est importante dans les méthodes de bio-indication qui mettent en évidence les pollutions surtout par les changements d'espèces. C'est ainsi que les communautés de Diatomées, dont la durée de génération va de un à quelques jours peuvent réagir en deux semaines aux changements du milieu en modifiant leur composition spécifique [6]. En dehors des caractères spécifiques, certains facteurs de stress pourraient aussi avoir des effets différents en relation avec des particularités comme l'âge, l'état physiologique et l'état de développement des individus [4]. D'après [2], les organismes ou les communautés d'organismes sont des bio-indicateurs lorsqu'ils réagissent aux substances nocives en changeant leur fonction vitale. Ces auteurs distinguent fondamentalement entre les indicateurs de réaction et d'accumulation. Cette distinction clarifie comment les substances nocives ou les facteurs de stress existants peuvent agir sur les organismes. Sous l'influence de substances nocives, les espèces peuvent être ralenties, atteintes à court ou long terme, ou éliminées. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par [7] qui ont montrés que la richesse spécifique est élevée à la rivière Kambo (92 espèces), moins polluée et faible à la rivière Longmayagui (35 espèces), polluée.

5 CONCLUSION

La présente étude a permis de connaître la composition, la structure et la dynamique spatio-temporelle des Diatomées périphytiques en relation avec les caractéristiques abiotiques des rivières Kambo et Longmayagui de Douala. Les variations des paramètres abiotiques sont plus marquées au niveau spatial que temporel. A l'exception de la température, tous les paramètres mesurés varient significativement dans tous les sites. En outre, la nature du substrat et des polluants influencent la conductivité et le pH. L'inventaire de la microflore des Diatomées a permis de recenser 43 espèces réparties en 9 familles et 22 genres. Les compositions algales des rivières Batika et Kambo ont montré de nombreuses similitudes d'espèces du fait de leurs paramètres physico-chimiques assez semblables. Les communautés diatomiques de la rivière Kambo comparées à celles de la rivière Longmayagui ont montré des différences spécifiques. L'indice diatomique de pollution est de 3,9 au site 1 (Kambo) et 6,9 au site 2 (Longmayagui). Les résultats de cette étude indiquent que la rivière Kambo est moins polluée alors que la rivière Longmayagui est polluée. Les espèces caractéristiques de milieu non pollué ont été répertoriées et peuvent être utilisées comme indicatrices de pollution : *Amphipleura pellucida* Kuetzing, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cymatopleura solea* Bourrelly, *Cymbella amphicephala* Naegeli, *Cymbella cesatii* (Rabenhorst) Grunow, *Cymbella frustula* Krammer et Lange-Bertalot, *Cymbella naviculiformis* Averswald, *Diatoma mesodon* (Ehrenberg) Kuetzing, *Fragilaria capucina* (Kuetzing) Lange-Bertalot, *Melosira varians* J. G. Agarda, *Navicula accomoda* Hustedt, *Navicula nivalis* Ehrenberg, *Nitzschia fonticola* Grunow, *Pinnularia gibba* Ehrenberg, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kuetzing. Une surveillance, basée sur les indices biologiques des algues pourrait être mise au point dans le but de prévenir les risques de perturbation dus aux pollutions diverses.

REFERENCES

- [1] Anonyme, "Plan communal de développement de Yabassi. Commune Rurale de Yabassi", p. 238, 2012.
- [2] U. Arndt, W. Nobel, B. Schweizer, "Bioindikatoren. Möglichkeiten, Grenzen und ihre Erkenntnisse", Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, 1987.
- [3] J. Bengtsson, "Which species? What kind of diversity? Which ecosystem function? Some problems in studies of relations between biodiversity and ecosystem function", *Applied Soil Ecology*, vol. 10, n° 3, pp. 191-199, 1998.
- [4] Berne, "Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau : donnée Niveau R (région) ", OFEV, p. 122, 2007.

- [5] R. Camerlo, R.H. Grethe, A.S. Caren, T. John, R.H. Berit, "Identifying marine phytoplankton", Academic press, p. 857, 1997.
- [6] N. Chahboune, M. Mehdi, A. Douira, "Détérioration des écosystèmes aquatiques dans la région du Gharb (Maroc) : Analyse diatomique", *Science Lib.*, vol. 3, pp. 1 – 12, 2011.
- [7] S.D. Dibong, G.P. Ndjouondo, "Inventaire floristique et écologie des algues des rivières Kambo et Longmayagui de la zone humide de Douala (Cameroun)", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 8, n° 6, pp. 2560-2577, 2014.
- [8] W.K.W. Li, "Cytometric diversity in marine ultraphytoplankton", *Limnol. Oceanogr.*, vol. 42, n° 5, pp. 874-880, 1997.
- [9] B.C. Kingston, H.J.B. Birks, "Dissolved organic carbon reconstructions from diatom assemblages in PIRLA project lakes, North America", *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.*, vol. 327, pp. 279-288, 1990.
- [10] K.F. Konan, J.E. Niamien-Ebrottié, O.E. Edia, A. Ouattara, G. Gourène, "Composition et variation spatio-saisonnière du peuplement algal des rivières côtières la Cote d'Ivoire", *Journal of Applied Biosciences*, vol. 66, pp. 5147-5161, 2013.
- [11] K. Krammer, H. Lange-Bertalot, "Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. In : Süßwasserflora von Mitteleuropa", Ettl H., Gerloff J., Heynig H. et Mollenhauer D. 2 (1), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 2^e éd., p. 876, 1997.
- [12] A.D. Meva'a, M. Fouda, C.Z. Bonglam, M. Kamwo, "Analyse spatiale du risque d'inondation dans le bassin versant du Mbanya à Douala, capitale économique du Cameroun", Rapport, *NOVATECH*, Université de Douala, p. 10, 2010.
- [13] E.A. Morales, M.H. Novais, G. Chávez, L. Hoffmann, L. Ector, "Diatoms (Bacillariophyceae) from the Bolivian Altiplano: three new araphid species from the Desaguadero River draining Lake Titicaca", *Fottea*, vol. 12, n° 1, pp. 41–58, 2012.
- [14] A. Ouattara, "Premières données systématiques et écologiques du phytoplancton du lac d'Ayamé (Côte d'Ivoire)", Thèse de l'Université Catholique Leuven, Belgique, p. 200, 2000.
- [15] Priso R.J., Taffouo V., Kenne M., Amougou A., De Sloover R.J. 2000. "A propos de l'utilisation de Commelinaceae comme indicateurs de la qualité des milieux aquatiques", *Sci. Technol. Dév.*, 7 (1) : 4 – 11.
- [16] R.J. Priso, S.D. Dibong, C. Tchinda-Metagne, V. Taffouo, N. Din, A. Amougou, "Impacts des eaux polluées sur la croissance, les teneurs en chlorophylles et substances organiques dans les feuilles de deux *Poaceae*", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 4, n° 4, pp. 1122-1129, 2010.
- [17] R.J. Priso, G.O. Oum, N. Din, "Utilisation des macrophytes comme descripteurs de la qualité des eaux de la rivière Kondi dans la ville de Douala (Cameroun-Afrique Centrale)", *J. Appl. Biosci.*, vol. 53, pp. 3797–3811, 2012.
- [18] N. Sauberer, K.P. Zulka, M. Abensperg-Traun, H.M. Berg, G. Bieringer, N. Milasowsky, D. Moser, C. Plutzer, M. Pollheimer, C. Storch, R. Trostl, H. Zechmeister, G. Grabherr, "Surrogate taxa for biodiversity in agricultural landscapes of Eastern Austria", *Biological Conservation*, vol. 117, pp. 181-190, 2004.
- [19] G.R. Tadonki, "Douala : les exclus des marécages, Environnement et habitat marginal des bas-fonds : quartiers Maképé, Bépanda, TSF, Siccacao, Ndogbati", (eds). Mandara, SDS, pp. 113-115, 1999.