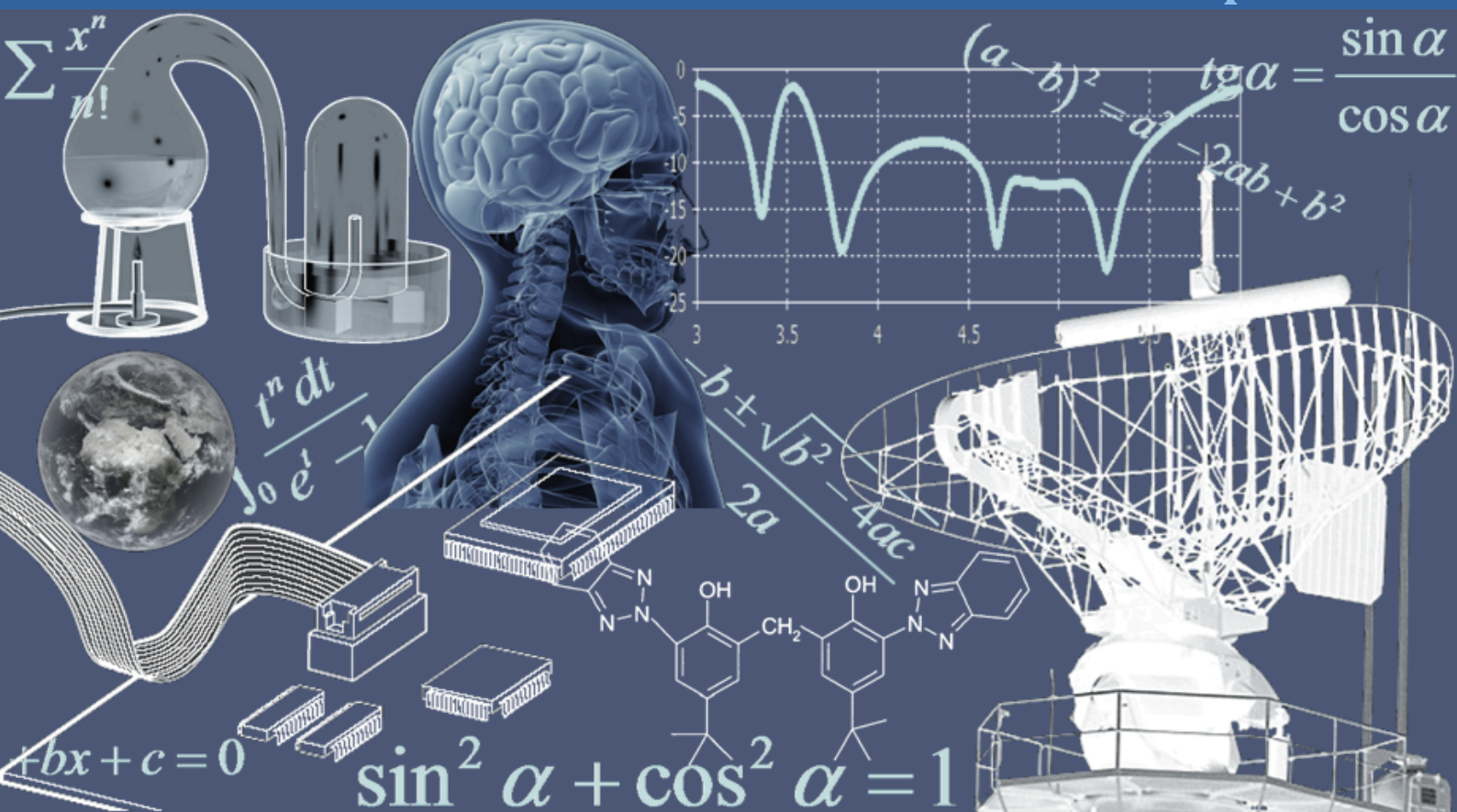


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 23 N. 1 April 2018



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

International Journal of Innovation and Applied Studies (ISSN: 2028-9324) is a peer reviewed multidisciplinary international journal publishing original and high-quality articles covering a wide range of topics in engineering, science and technology. IJIAS is an open access journal that publishes papers submitted in English, French and Spanish. The journal aims to give its contribution for enhancement of research studies and be a recognized forum attracting authors and audiences from both the academic and industrial communities interested in state-of-the art research activities in innovation and applied science areas, which cover topics including (but not limited to):

Agricultural and Biological Sciences, Arts and Humanities, Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Business, Management and Accounting, Chemical Engineering, Chemistry, Computer Science, Decision Sciences, Dentistry, Earth and Planetary Sciences, Economics, Econometrics and Finance, Energy, Engineering, Environmental Science, Health Professions, Immunology and Microbiology, Materials Science, Mathematics, Medicine, Neuroscience, Nursing, Pharmacology, Toxicology and Pharmaceuticals, Physics and Astronomy, Psychology, Social Sciences, Veterinary.

IJIAS hopes that Researchers, Graduate students, Developers, Professionals and others would make use of this journal publication for the development of innovation and scientific research. Contributions should not have been previously published nor be currently under consideration for publication elsewhere. All research articles, review articles, short communications and technical notes are pre-reviewed by the editor, and if appropriate, sent for blind peer review.

Accepted papers are available freely with online full-text content upon receiving the final versions, and will be indexed at major academic databases.

Table of Contents

Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la ville de Bembèrèkè au Nord-Est du Bénin	1-9
<i><u>Serge Fredys Rodrigue Olawalé SENOU, Roger Gérard JOSSE, Rock Modéran TOKLO, K. Jacques FATOMBI, Nikita TOPANOU, and Bruno COULOMB</u></i>	
CALCULATION OF FUNDAMENTAL PARAMETERS BY THE CLASSICAL APPROACH AND DETERMINATION OF THE CROSS-CUTTING COEFFICIENT (CCC)	10-21
<i><u>Nie Noumsi Thierry Constant, Kamdjo Grégoire, and MADIADOU BAYE Jeremie</u></i>	
Production process on the artisanal extraction output of <i>Vitellaria paradoxa</i> Gaaerterner butter in the southern part of Chad	22-32
<i><u>MAHAMAT SEID ALL, Fidèle Paul TCHOBO, MAOUDOMBAYE THEOPHILE, and MAHAMAT NOUR SAKINE</u></i>	
Caractérisation physico-chimique et biologique des eaux en zone périurbaine en Afrique équatoriale : cas de Ngoumou au Centre du Cameroun	33-43
<i><u>AJEAGAH GIDEON AGHAINDUM, MBAINAISSEM MBAIMOU SERGE, NJIAWOVO POUNTIGNIGNI, and NGAKOMO ROSE ANANGA</u></i>	
Dynamique spatio-saisonnière des diatomées benthiques sur différents substrats géologiques des rivières du Sud de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)	44-57
<i><u>Niamien-Ebrottié Julie Estelle, Seu-Anoï Netto Mireille, and Oi Edia Edia</u></i>	

Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la ville de Bembèrèkè au Nord-Est du Bénin

[Physico-chemical and bacteriological characterization of underground water in Bembèrèkè town in the North-east (Republic of Benin)]

Serge Fredys Rodrigue Olawalé SENOU¹, Roger Gérard JOSSE¹, Rock Modéran TOKLO¹, K. Jacques FATOMBI², Nikita TOPANOU², and Bruno COULOMB³

¹Laboratoire d'analyse physico-chimique des milieux aquatiques (LAPMIA/FAST/CHIMIE/UAC) BP 526 Cotonou, Benin

²Laboratoire de chimie de l'eau et de l'environnement de l'Ecole Normale Supérieure de Natitingou, Benin

³Aix-Marseille Université-CNRS, LCE FRE 3416, Marseille, France

Copyright © 2018 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 objective of this study is to evaluate the quality of underground water according to the standards of Beninese and international drinkability. The choice of watering place centres on daily usages as beverage. The physicochemical and bacteriological parameters have been determined according to the conventional methods. The obtained results show that the studied waters are characterized by an acidic- pH (6.74 – 6.95), a temperature which varies from 27.3°C to 30.4°C, a weak electric conductivity (8.9µS/cm – 588 µS/cm), weak TDS (5mg/L – 270mg/L) and a low potential of reduction-oxidation (202 mV – 344 mV). Besides, the following medium concentrations have been obtained : Sulphate (0.19 mg / L – 36.55 mg / L), Nitrate (4.60 mg / L – 53.28 mg/L), Calcium (0.7 mg/L – 57.46 mg/L), Potassium (0.22 mg/L – 21.02 mg/L), Magnesium (0.01 mg/L – 18.33 mg/L), ammonium (0.02 mg/L – 18.33 mg/L) and Chloride (0.20 mg / L – 55.55 mg/L). Among the studied places, only the well P₁ revealed contents in potassium and in nitrate beyond the standards of drinkability. The results of bacteriological analysis confirm the presence in very appreciable numbers of fecal contaminated indicators (Total Coliforms, Fecal Coliforms and Escherichia-Coli) in the wells except the well P₅. Moreover, the Fecal Streptococci have been displayed prominently in the well P₆. So at the end of this study, we can deduce that wells studied waters roughly present the serious health risks to the population contrary to the drilling wells and springs water.

KEYWORDS: Domestic water, quality, standards of drinkability, physicochemical, bacteriological parameters and Bembèrèkè.

RESUME: La présente étude a pour but d'évaluer la qualité des eaux souterraines de la ville de Bembèrèkè en référence aux normes de potabilité Béninoise et internationale. Le choix des points d'eaux étudiées repose sur leurs usages quotidiens comme eau de consommation. Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont été déterminés, selon des méthodes conventionnelles. Les résultats obtenus montrent que les eaux étudiées sont caractérisées par un pH acide (6,74 – 6,95), une température variant de 27,3°C à 30,4°C, une faible conductivité électrique (8,9 µS/cm – 588 µS/cm), une faible TDS (5 mg/L – 270 mg/L) et un bas potentiel d'oxydo-réduction (202 mV – 344 mV). En outre, les concentrations moyennes suivantes ont été obtenues : sulfates (0,19 mg/L à 36,55 mg/L), nitrates (4,60 mg/L à 53,28 mg/L), calcium (0,7 mg/L à 57,46 mg/L), potassium (0,22mg/L à 21,02 mg/L), magnésium (0,01 mg/L à 18,33 mg/L), ammonium (0,02 mg/L à 18,33 mg/L) et chlorure (0,20 mg/L à 55,55 mg/L). Parmi ces points étudiés, seul le puits P₁ a révélé des teneurs en potassium et en nitrate au-delà des normes de potabilité. Les résultats d'analyses bactériologiques confirment la présence en nombre très appréciable des indicateurs de contamination fécale (Coliformes totaux, coliformes fécaux et Escherichia coli) dans les puits à l'exception du puits P₅. Par ailleurs, les streptocoques fécaux ont été mis en évidence dans le puits P₆. Ainsi à l'issue de la présente étude nous pouvons

déduire que, les eaux des puits étudiés présentent globalement des risques sanitaires sérieux à la population contrairement aux forages et aux sources.

MOTS-CLEFS: Eaux de consommation, qualité, paramètres physico-chimiques, microbiologiques et Bembèrèkè.

1 INTRODUCTION

L'eau potable est essentielle à la vie ; pourtant elle peut aussi être source d'exposition à des pathogènes et des contaminants physiques et chimiques [1]. Dans les pays en voie de développement comme le Bénin, l'accès à l'eau potable constitue un problème majeur. La décennie (2005 – 2015) internationale d'action, « L'eau, source de vie » et la conférence des chefs d'Etats d'Antananarivo (Madagascar) 2016 sont autant d'indicateurs qui prouvent que la communauté internationale est très préoccupée par l'approvisionnement en eau potable et l'assainissement de base dans nos pays. Les maladies infectieuses engendrées par les microorganismes, comme les diarrhées restent encore aujourd'hui une des principales causes de mortalité à l'échelle mondiale [2]. De plus l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), estime à 30 millions le nombre de personnes qui meurent chaque année des suites de la consommation d'une eau insalubre, dont particulièrement les enfants de moins de 5 ans [3]. Dans les infections hydriques, les deux types de risques prépondérants sont liés aux substances chimiques et aux agents microbiologiques [4]. Ainsi, l'analyse des eaux consommées au Bénin, plus précisément dans la ville de Bembèrèkè permettrait de diagnostiquer les risques de maladies infectieuses (fièvre typhoïde, diarrhée, choléra, gastro-entérite,...) liées à la consommation des eaux de cette région. Dans la ville de Bembèrèkè, les ressources en eau souterraine sont principalement utilisées comme eau de consommation, même dans les secteurs desservis par le réseau de la Société Béninoise des Eaux du Bénin (SONEB). Dans cette région où les conditions d'assainissement sont encore précaires, les statistiques sanitaires de 2012 montrent que près de 10,48% de la population ont consulté un agent de santé à cause des affections gastro-intestinales [5]. Ainsi, la présente étude vise à évaluer la qualité des eaux de puits, de forages et de sources, consommées dans la ville de Bembèrèkè. Elle se fonde sur la comparaison des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux et des valeurs guides béninoises et de l'Organisation Mondiale de la Santé pour les eaux à usage domestique.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La ville de Bembèrèkè est le chef-lieu de la commune qui porte son nom. Elle correspond administrativement, à la partie Nord-Est du Bénin et se situe dans le bassin sédimentaire de Kandi et le bassin Voltaïen. Elle est située entre 09°58 ' et 10°40' de Latitude Nord et entre 02°04' et 03° de longitude Est (figure 1).

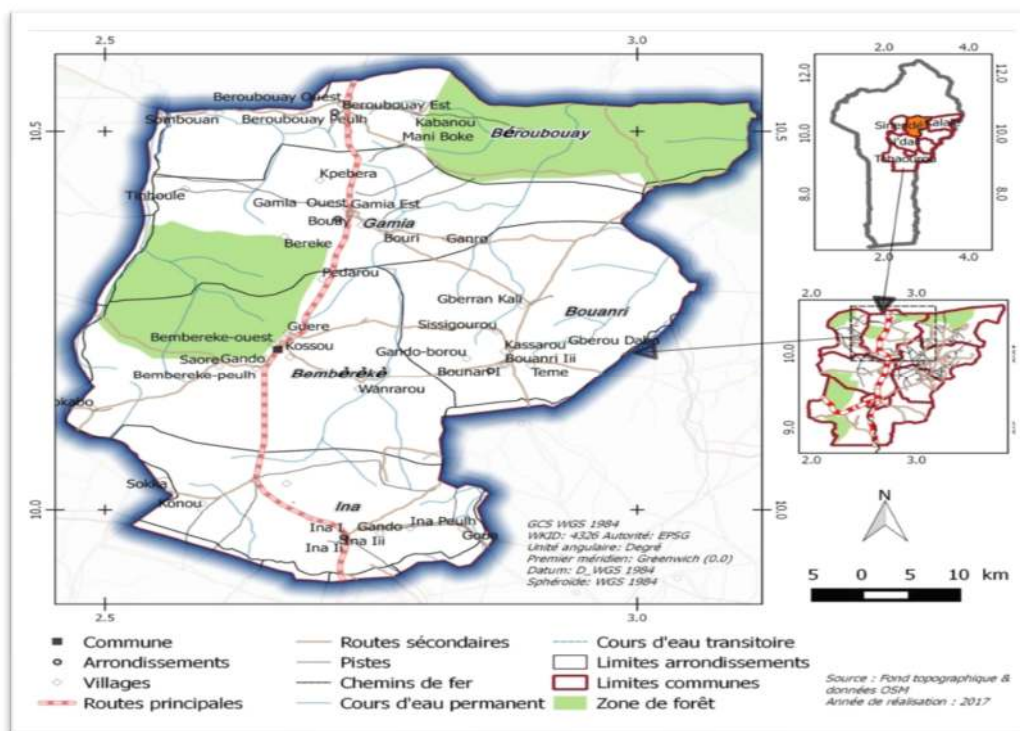


Fig. 1. Localisation géographique de la ville de Bembèrèkè

La ville de Bembèrèkè compte dix (10) quartiers couvrant une superficie d'environ 684 km² soit 0,59% de la superficie nationale, avec une population de 31176 habitants en 2013 [6]. Le climat est de type soudano-guinéen marqué par une saison pluvieuse (Mai - octobre) et une saison sèche (novembre - Avril) intercalée par l'harmattan (décembre – février). La pluviométrie annuelle varie entre 900 et 1300 mm. La température annuelle s'établit autour de 26°C avec un maximum de 32°C en mars et un minimum de 23°C courant décembre-janvier. L'humidité relative oscille entre 30 et 70%. La région est constituée d'une immense pénéplaine jalonnée de collines et de buttes. On y rencontre deux principaux types de sols : sols sablo-argileux et sols granito-gneissiques. Les céréales dominent le système d'assolement avec une prédominance du maïs sur le sorgho. On y cultive également de l'igname et du coton.

2.2 ECHANTILLONNAGE

Le choix des points d'eaux souterraines prélevées est guidé par leur utilisation comme eau de consommation et leur proximité avec les sources de pollution. Au total, 6 puits, 5 forages et 4 sources ont été échantillonnés pour caractériser l'impact des polluants urbains et des excréta sur la qualité de ces eaux souterraines à usage domestiques. Les coordonnées géographiques des points échantillonnés sont déterminées grâce à un Global Positioning System (tableau 1). La figure 2 illustre la représentation des différentes stations d'échantillonnage.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des différents points d'eaux échantillonnés

Codification	Quartiers	Coordonnées géographiques		Altitude (m)
		Longitude	Latitude	
S ₁	Gando (Derra*)	N10°12'10,4''	E002°39'02,9''	427,6
S ₂	Kpébéra	N10°13'29,2''	E002°39'36,8''	458,3
S ₃	Kpébéra (Wèrèrè*)	N10°13'42,4''	E002°39'48,0''	445,1
S ₄	Guéré	N10°14'39,8''	E002°40'08,5''	467,7
F ₁	Gando	N10°12'08,7''	E002°39'24,0''	395,9
F ₂	Guéré	N10°14'18,6''	E002°40'31,8''	398,1
F ₃	Kossou	N10°13'37,0''	E002°40'28,5''	396,8
F ₄	Dangbinoukou	N10°12'11,1''	E002°40'58,6''	371,8
F ₅	Sakarasson	N10°12'58,1''	E002°39'59,3''	395,1
P ₁	Kossou	N10°13'41,4''	E002°40'18,3''	402,0
P ₂	Kossou	N10°13'29,7''	E002°40'38,0''	397,1
P ₃	Sakarasson	N10°12'50,7''	E002°40'15,4''	393,8
P ₄	Kpébéra	N10°13'21,9''	E002°39'53,8''	440,7
P ₅	Sakarasson	N10°13'03,4''	E002°39'59,1''	405,0
P ₆	Sakarasson	N10°13'02,0''	E002°39'56,6''	409,10

S : source d'eau – F : Forage à motricité humaine – P: Puits à grand diamètre.

Indications : (*) Nom par lequel on désigne la source d'eau.

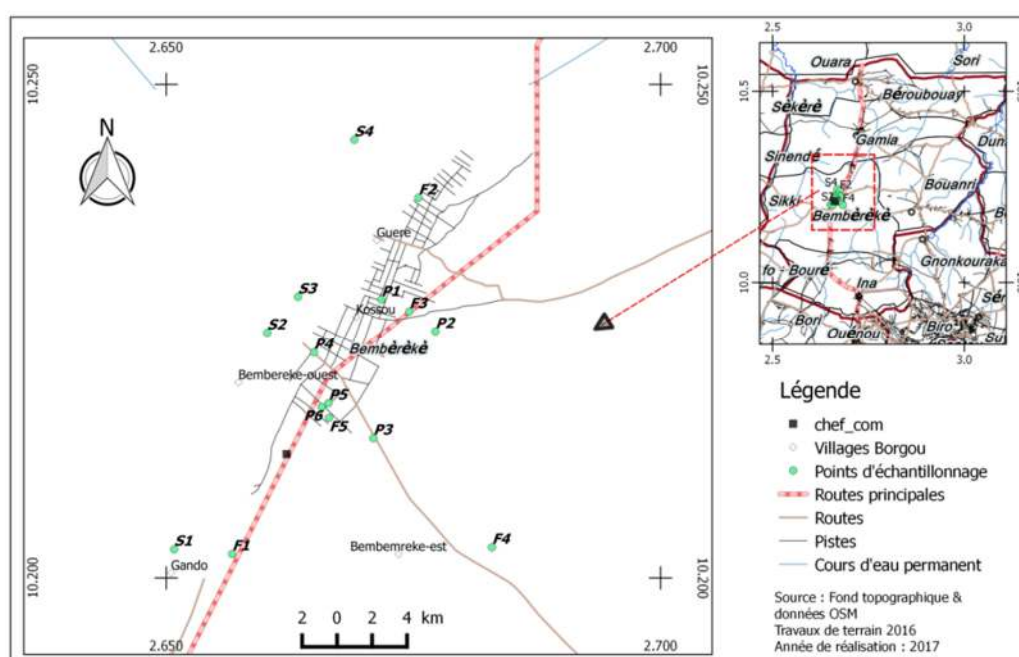


Fig. 2. Présentation spatiale des stations suivies

Deux campagnes d'échantillonnages ont été réalisées pour cette étude : septembre 2016 et Juillet 2017. Les échantillons d'eaux ont été prélevés conformément au protocole proposé par J. Rodier [7]. Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques sont prélevés dans des flacons en polyéthylène de 330 mL soigneusement lavés et rincés. Chaque flacon est rincé trois fois avec l'eau à prélever, puis rempli jusqu'au bord et fermé hermétiquement. Pour les analyses bactériologiques, nous avons effectué un double échantillonnage dans des bouteilles en verre de 250 mL préalablement stérilisées à l'autoclave à 120°C pendant 15 minutes. Lors du remplissage des bouteilles, un espace d'environ 3 cm est laissé entre la surface de l'échantillon et le bouchon du contenant de prélèvement afin d'assurer une bonne agitation [8]. Les échantillons sont transportés dans une glacière isotherme et stockés au réfrigérateur à une température de moins de 4°C, à l'abri de la lumière [7]. Une fois au laboratoire, ceux destinés à l'analyse des cations et des éléments traces métalliques sont filtrés avec un filtre de porosité 0,45µm et de diamètre 25 mm, avant d'être acidifiés à 1% d'acide nitrique à 65%.



Fig. 3. Echantillons d'eaux destinées aux analyses en laboratoire (septembre 2016 et juillet 2017)

Pour chaque point échantillonné, 21 paramètres ont été mesurés dont 15 paramètres physico-chimiques et 06 microbiologiques. Le choix de ces paramètres est guidé simultanément par le Décret n°2001-094 du 20 février 2011 fixant les normes de qualité de l'eau potable en république du Bénin et la norme OMS des eaux de consommation. L'appareillage utilisé sur le terrain pour la mesure de la température (T°), du potentiel Hydrogène (pH), de la Conductivité Electrique (CE) et des Solides Totaux Dissous (STD) est un analyseur multi paramètre portatif de marque WTW 340i. Le potentiel redox (POR) est déterminé par un pH-mètre type pH 330 / SET-1 MERCK.

2.3 MÉTHODES D'ANALYSES

2.3.1 ANALYSES CHIMIQUES

Les analyses chimiques sont réalisées au Laboratoire d'Analyses Physico-chimiques des Milieux Aquatiques (LAPMIA) de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) de l'université d'Abomey-Calavi et dans le Laboratoire de Chimie de l'Eau et de l'environnement de l'Université de Marseille (France). Le tableau 2 résume les paramètres chimiques déterminés, les méthodes d'analyses et l'appareillage utilisé à cet effet.

Tableau 2 : Méthodes d'analyses physico-chimiques réalisées au laboratoire

Paramètres chimiques	Mode opératoire	Intitulé
Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+	NF EN ISO 11885	spectrométrie d'émission atomique par plasma à couplage inductif (ICP-AES) séquentiel.
NH_4^+	MO 60	Analyse en flux (FFA et FIA) détection spectrométrique
NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} et Cl^-	NF EN ISO 10304	Méthode par chromatographie ionique Marque DIONEX ICS 3000

2.3.2 ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES

Les analyses bactériologiques ont été réalisées au Laboratoire de la Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée (DANA) sis à Porto-Novo (Rép. Bénin). Le tableau 5 présente les germes-tests recommandés pour l'analyse des eaux de consommation, les méthodes de dénombrement utilisées et les milieux de culture.

Tableau 3: Germes recherchés et méthodes de dénombrement dans les eaux analysées

Paramètres	Méthodes et intitulé	Milieus de culture	Température / durée d'incubation
Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT)	NF V 08-51, Février 1999 Technique d'ensemencement par incorporation	Gélosée <i>plat count Agar</i> (PCA)	30°C / 72 h.
Clostridium Sulfito-Réducteurs (ASR)	AFNOR, 2001 Technique d'ensemencement par incorporation	BSA+6 gouttes de citrate d'ammonium de fer	37°C / 24 h
Streptocoques Fécaux (SF)	NF EN ISO 9308-3 Méthode en tubes multiples	Test présomptif Rothe Test confirmatif EVA	Test présomptif : 37°C / 48h Test confirmatif : 37°C / 24h
Coliformes (CT ; CF) et E-coli	NF T90-413 Méthode en tubes multiples	Test présomptif : BLBVB Test confirmatif : BLBVB (CF) et EPS (E-coli)	Test présomptif : 37°C/24 h Test confirmatif : 44°C/24h (CF et E.coli)
Salmonelles	NF ISO 7218, mai 1996 Méthode en tubes multiples	Préenrichissement : EPT Enrichissement : Sélénite-Cystine Isolement : Hektoen	Chaque étape est incubée à 37°C pendant 24 h.

CT : Coliformes Totaux - CF : Coliformes Fécaux - BSA : Sérum albumine Bovine - EVA : milieu Litsky à l'éthyl violet et Azide de sodium - BLBVB : Bouillon Lactosé Billé au Vert Brillant - EPS : Eau Peptonée Simple et EPT : Eau Peptonée Tamponnée

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUES

Les résultats des mesures physico-chimiques des eaux de puits, sources et de forages sont récapitulés dans le tableau 4.

Les valeurs des températures des différents points d'eaux souterraines étudiées varient de 27,3°C à 30,2°C avec une valeur moyenne de $29,56 \pm 2,26^\circ\text{C}$. Ces valeurs sont légèrement au-dessus des valeurs mesurées pour les puits de la commune de Pobé au Sud du Bénin [9]. Les températures élevées pourraient s'expliquer par l'influence de la chaleur ambiante sur les eaux prélevées [10]. La température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé de l'homme [11]. Cependant, une température élevée (supérieure à 20 °C), à l'image de celle des eaux étudiées favorise le développement des micro-organismes [7]. Toutes ces valeurs sont légèrement au-dessus de la valeur admise par l'OMS qui est de 25°C.

Le pH est compris entre 6,74 et 6,95 avec une moyenne de $6,89 \pm 0,15$. Ces eaux ont une tendance acide ($\text{pH} < 7$) avec un pH proche de la neutralité. Ces valeurs respectent aussi bien la plage de pH des eaux souterraines qui est de 5,5 et 8 [12] et répondent aussi bien aux normes de potabilité Béninoise [13] et de l'OMS (6,5–8). Les STD et la conductivité électrique montrent une faible variation de la composition chimique des eaux. La conductivité varie entre un minimum de 8,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un maximum de 588 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 16,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les sources, de 165,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les puits et 338,64 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les forages. Ces valeurs de la CE satisfont à la norme de potabilité de l'OMS [3] qui est d'au plus 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les STD oscillent entre un minimum de 5 mg/L et un maximum de 270 mg/L avec des valeurs moyennes de 137,5 mg/L, 83,33 mg/L et de 168 mg/L respectivement pour les sources, les puits et les forages. Au regard de la classification des eaux de boisson en fonction de la conductivité selon Pelon *et al.* [14] ces eaux sont globalement d'une excellente qualité. Toutefois on note une forte CE au forage F₂ (588 $\mu\text{S}/\text{cm}$) qui pourrait traduire l'infiltration des eaux usées dans la nappe phréatique. Les valeurs des potentiels d'oxydoréduction varient entre 202 mV à 344 mV et ne répondent pas à la norme de l'OMS qui recommande une valeur au moins supérieure ou égale à 650 mV.

Les concentrations en cations majeurs (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) présentent une grande variabilité d'un point à un autre. L'abondance relative des cations dans ces eaux est globalement du type $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. Les teneurs moyennes en Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} et K^+ sont respectivement de 15,65 mg/mL, 8,25 mg/mL, 4,90 mg/mL et 4,03 mg/mL. Les plus faibles teneurs en cations majeurs sont observées au niveau des sources. Seul le puits P₁ présente une teneur en magnésium dépassant la norme

de potabilité de l'OMS. Les teneurs en ion ammonium dans les eaux prospectées sont inférieures 0,19 mg/mL, valeurs respectant le taux normal de potabilité des eaux de consommation selon les normes Béninoise et de l'OMS. A l'exception des eaux de sources, les forages et les puits prospectés ont une teneur en nitrate variant entre 4,69 mg/mL et 53,28 mg/mL avec une moyenne de 26,04 mg/mL. Le puits P₁ présente une teneur en nitrate de 53,28 mg/mL supérieure à la norme OMS qui est de 50 mg/mL et est donc impropre à la consommation humaine. Il présente un risque de méthémoglobinémie chez les enfants nourris au biberon. Les teneurs en nitrate de 46,67% des points étudiés sont supérieures à 10 mg /L et traduisent une faible contamination anthropique [15]. La contamination de ces eaux serait due aux eaux d'infiltration étant donné que ces puits et forages se trouvent dans la zone résidentielle. Ces eaux ne contiennent pas des nitrites à des teneurs quantifiables. Les sulfates ne sont pas présents dans les eaux de sources, mais leur teneur varie de 0,19 mg/L à 26,90 mg/L pour les puits et de 1,13 mg/L à 97,15 mg/L pour les eaux de forages.

Tableau 4: Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux de puits, de forages et de sources de la ville de Bembèrèkè (septembre 2016 et Juillet 2017)

Stations et Normes	T° (C)	pH	CE μS/cm	TDS mg/L	POR mV	Na ⁺ mg/mL	Ca ²⁺ mg/mL	Mg ²⁺ mg/mL	K ⁺ mg/mL	NH ₄ ⁺ mg/mL	NO ₂ ⁻ mg/mL	NO ₃ ⁻ mg/mL	Cl ⁻ mg/mL	SO ₄ ²⁻ mg/mL
Paramètres physico-chimiques														
S ₁	29,0	6,81	30,7	30	305	1,13	1,81	0,97	1,52	0,06	-	-	0,83	-
S ₂	29,6	6,84	8,9	10	344	0,76	0,07	-	0,22	-	-	-	0,59	-
S ₃	28,0	6,88	16,3	10	323	0,78	1,72	0,58	0,53	-	-	-	0,63	-
S ₄	27,3	6,93	11,3	05	316	0,83	0,83	0,21	0,34	-	-	-	0,60	-
P ₁	29,7	6,93	376	180	278	19,61	25,77	5,86	21,02	0,04	-	53,28	30,73	26,90
P ₂	29,7	6,93	197,4	100	274	7,59	18,78	0,01	3,75	0,19	-	6,69	11,23	1,68
P ₃	30,1	6,94	75,7	40	334	6,68	3,5	1,59	1,29	0,02	-	14,26	7,57	-
P ₄	30,4	6,91	114,0	60	302	5,58	8,42	2,36	4,15	0,03	-	9,74	6,08	4,39
P ₅	29,9	6,91	160	80	317	13,65	9,61	1,30	3,54	-	-	20,00	17,44	0,96
P ₆	29,5	6,94	71,1	40	283	5,08	3,94	1,82	2,43	0,07	-	4,60	4,54	0,19
F ₁	29,8	6,74	272	150	228	8,87	24,09	10,77	4,42	0,16	-	32,03	2,93	-
F ₂	30,2	6,91	588	270	202	16,29	57,46	18,33	5,60	0,03	-	47,72	55,55	36,55
F ₃	30,2	6,93	328	160	236	13,13	28,71	12,12	3,67	-	-	37,76	20,47	27,69
F ₄	30,1	6,95	139,2	80	269	8,01	13,61	3,32	3,90	-	-	17,31	0,20	1,13
F ₅	30,0	6,85	366	180	251	15,85	36,51	13,30	4,10	0,03	-	25,13	0,28	97,15
ABeNor 2003	25	6,5–8,5	2100	-	-	-	100	50	-	0,5	3,2	45	250	500
Valeur guide OMS		6,5–8,5	2000	500	650	150	-	50	12	2	3	50	250	250

ABeNor : Agence Béninoise pour la Normalisation

3.2 CARACTÉRISATION BACTÉRIOLOGIQUE

Les résultats des analyses bactériologiques des différents points d'eaux souterraines étudiées sont résumés dans le tableau 5.

Tableau 5: Charges bactériologiques moyennes dans eaux de puits, de sources et forages de la ville de Bembèrèkè.

Stations et normes	FMAT UFC/mL	CT UFC/100 mL	CF (E-Coli) UFC/100 mL	SAR UFC/100mL	SF UFC/100 mL	Salmonelles / 25 mL
S ₁	2000	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
S ₂	< 30	< 0,0	< 0,0	< 1	< 0,3	Abs
S ₃	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
S ₄	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
P ₁	22000	11000	11000	< 1	< 0,3	Abs
P ₂	120000	2400	2400	< 1	< 0,3	Abs
P ₃	15000	2400	2400	< 1	< 0,3	Abs
P ₄	13000	9400	9400	< 1	< 0,3	Abs
P ₅	16000	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
P ₆	700	9400	9400	< 1	4600	Abs
F ₁	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
F ₂	< 30	< 0,0	< 0,0	< 1	< 0,3	Abs
F ₃	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
F ₄	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
F ₅	< 30	< 0,3	< 0,3	< 1	< 0,3	Abs
Norme Béninoise	50	0	0		0	0
Normes OMS 2004	50	0	0	0	0	Absence

Le dénombrement des germes aérobies mésophiles permet de recenser un groupe relativement varié d'espèces de bactéries sans égard de pathogénicité. Dans les eaux de consommation leur teneur maximale admissible est de 50 UFC/mL selon l'OMS [16] et la norme Béninoise. Les analyses ont montré que, dans la source S₁ et dans tous les puits prospectés, les valeurs obtenues sont supérieures aux normes. Leurs nombres varient entre 700 UFC / mL (P₆) et $1,2 \cdot 10^5$ UFC/mL (P₂). Bien que la charge mésophile ne soit pas un paramètre d'appréciation de la qualité bactériologique, elle renseigne sur le degré de potabilité des eaux étudiées [17]. L'évaluation statistique de la teneur en Coliformes Totaux, en Coliformes Fécaux et en Escherichia-Coli révèle qu'ils sont présents seulement dans les puits à l'exception du puits P₅. Ainsi 5 puits sur 6 analysés sont non-conformes vis-à-vis des critères de la réglementation Béninoise et de l'OMS. Les concentrations en Coliformes Totaux, en Coliformes Fécaux et en Escherichia-Coli sont de 2400UFC/100mL à 11000 UFC/100mL pour les puits contaminés et confirment une pollution fécale causée par les rejets domestiques et l'existence des fosses septiques dans le voisinage de ces puits. La présence des E.coli dans ces puits indique une contamination récente des eaux par du matériel fécal humain ou animal à sang chaud [11]. Les streptocoques fécaux, ne sont détectés seulement que dans le puits P₆ (4600UFC/100 mL). La recherche des salmonelles et des Spores de Clostridium Sulfito-réducteurs (< 1UFC/20 mL) montre qu'ils sont absents dans tous les points d'eaux étudiés.

En considérant, l'ensemble des germes recherchés, il ressort que les forages de la ville de Bembèrèkè sont de qualité bactériologique acceptable. Il en est de même des eaux de source, à l'exception de la source S₁ située à Gando. Les facteurs de pollution de la source S₁ et des puits sont liés à l'hygiène autour de ces points d'eau au regard de la concentration élevée des flores bactériennes. D'ailleurs la température des échantillons variant entre 27,3°C à 30,4°C, témoigne des conditions de culture favorables pour le développement des flores aérobies vérifiables. Les germes à craindre restent les E-coli qui sont des germes tests de contamination fécale présents dans presque tous les puits. Un entretien régulier des puits garantirait sûrement la qualité bactériologique des eaux des puits traditionnels dans la ville de Bembèrèkè. Il est important de souligner que, si aucune action n'est menée sur les puits de la ville de Bembèrèkè leur consommation pourrait être à l'origine de la propagation des infections urinaires, des diarrhées, des gastro-entérites, des septicémies.

4 CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous avons évalué la qualité physico-chimique et bactériologique des ressources en eau souterraine (puits traditionnels, forages à motricité humaine et sources) consommées par les populations de la ville de Bembèrèkè. Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré des valeurs satisfaisantes pour le pH, la conductivité, les

STD, les sulfates, les nitrates, les nitrites, les sulfates, le calcium, le potassium, le magnésium et les ions ammonium pour toutes les stations étudiées, à l'exception du puits P₁ qui a révélé une teneur en potassium et en nitrate au-delà des normes de potabilité. On note une faible contamination des eaux de puits et de forages par les eaux d'infiltration au regard de leur teneur élevée en nitrate (4,60 mg/mL – 53,28 mg/mL). Par ailleurs, cette étude a montré que les forages et les sources à l'exception de la source S₁ sont d'une qualité chimique et bactériologique acceptables. Les eaux de puits de la zone d'étude présentent de forts taux de germes totaux, de coliformes fécaux et la présence d'*Escherichia coli*, conséquence d'une pollution d'origine humaine récente. Pour éviter d'éventuels risques sanitaires liés à la consommation des eaux de puits et de la source de S₁ sise à Gando, des mesures préventives (assainissement des points d'eau) et de traitements correctifs (chloration ou traitement photochimique) sont d'une importance capitale et doivent être conseillées à cette frange de la population qui a encore recours à ces sources d'eau.

REFERENCES

- [1] Boyd, D. R. (2006). L'eau que nous buvons : les normes et recommandations en matière de qualité de l'eau potable-une comparaison internationale. *Fondation David Suzuki*. 36p.
- [2] Heriarivony S. C., Razanamparany B., Rakotomalala J. E. (2015) : Caractérisations physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de consommation (puits) de la commune rurale d'Antanifotsy, Région Vakinankaratra, Madagascar. *Larhyss Journal*, ISSN 1112 – 3680, n°24, pp 7 – 17.
- [3] Organisation Mondiale de la Santé (2008) : Guidelines for Drinking-water Quality. Third edition, incorporating the first and second Addenda, Recommendations, Geneva, Volume 1, p 515.
- [4] Hospitalier-Rivillon J., Poirier R. (2008) : L'eau destinée à la consommation humaine : Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement; 69 : 496-505
- [5] Ministère de la Santé. Direction de la programmation et de la Prospective. Service des Statistiques Sanitaires et de la documentation (2013) : Annuaire des statistiques sanitaires 2012. 89 P.
- [6] INSAE (2016) : Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin, (RGPH4, 2013). P.26.
- [7] Rodier J. (2009) : L'analyse de l'eau. 9^e Ed revue et corrigée. 1579 p.
- [8] Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2003) : dénombrement des salmonelles ; méthode par tubes multiples. MA. 700 – Sla-tm 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec, 19p.
- [9] Lagnika M., Moudachirou I., Jean-Pierre C., Valentin D. et Nestor G. (2014) : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobé (Bénin, Afrique de l'Ouest). *Journal of Applied Biosciences* 79 : 6887-6897. ISSN 1997-5902.
- [10] Degbey C. Makoutode M., Ouendo E. M. et De Brouwer C. (2010) : Pollution physico-chimique et microbiologique de l'eau des puits dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin en 2009. *Int. J. Biol. Chem. Sci* 4(6) : 2257 – 2271.
- [11] Zerhouni J., RhaziFilali F., Aboukacem A. (2015) : Qualité et facteurs de risque de pollution des eaux souterraines périurbaines de la ville de SEBAA AYOUNE (MEKNES, MAROC) ; *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°22, pp. 91-107.
- [12] Sarah A. A. et Mama B. (2014) : Caractéristiques physico-chimiques des eaux embouteillées algérienne et vérification d'étiquetage. Mémoire de master II. Rép. Algérienne et démocratique – Université des Sciences et Technologie d'Oran. 83p.
- [13] Décret n°2001-094 du 20 février 2001 fixant les normes de qualité de potable en république du Bénin.
- [14] Pelon J.L. et Zysman K. (1993) : Guide des analyses d'eau potable. 155p.
- [15] Sciancalepore S. (2003) : Les maladies d'origine hydriques. *Revue de presse thématique* n°27. Groupe Agence Française de développement. 4p.
- [16] OMS (2004) : Directives de la qualité pour l'eau de boisson. vol 1, 3^{ème} éd (les recommandations), 110p.
- [17] TOURAB Hafsa (2013) : Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plaine du Haouz. Mémoire de fin de Licence. Université Cadi Ayyad (Marrakech). Spécialité : Eau et environnement. 82p.

CALCULATION OF FUNDAMENTAL PARAMETERS BY THE CLASSICAL APPROACH AND DETERMINATION OF THE CROSS-CUTTING COEFFICIENT (CCC)

Nie Noumsi Thierry Constant¹, Kamdjo Grégoire², and MADJADOUBAYE Jeremie³

¹Fotso Victor University Institute of Technology, Civil Engineering Department, Laboratory of Mechanical and Modeling of Physical Systems (L2 MSP) Laboratory of Industrial and Engineering Systems Environment (LISIE), University of Dschang Cameroon, PO BOX 134 IUT FV BANDJOUN, Cameroon

²Fotso Victor University Institute of Technology, Civil Engineering Department, Laboratory of Industrial and Systems Engineering Environment (LISIE), University of Dschang Cameroon, PO BOX 134 IUT FV BANDJOUN, Cameroon

³Departement de Génie Civil, Université de Yaounde 1, Cameroon

Copyright © 2018 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: This project entitled Design, Sizing and Planning of the works of a reinforced concrete girder bridge was carried out in Tunisia. The objective of this work is based on the determination of the geometrical characteristics and the determination of the cross-cutting coefficient (CCC) for the dimensioning of the various elements of the Apron such as beams, spacer and slab. In this work, we used two methods or (approaches) for the determination of the geometrical characteristics of the beams. The study led to the determination of the various fundamental parameters which are the parameter of bracing and the torsion parameter. The conventional method or approach given by the SETRA references, for which the geometrical characteristics of the different sections were obtained by the following formula:

$B_{moy} (m^2) = B_{appui} C_1 + B_{central} C_2$; C_1 and C_2 the interpolation coefficients which describe the variation of the section of the beam as a function of the length and when $d = 0.5m$.

$$C_1 = \frac{1}{3} + \frac{4}{3Lp} = \frac{1}{3} + \frac{4}{3 \times 21} = 0.3968; C_2 = \frac{2}{3} - \frac{4}{3Lp} = \frac{2}{3} - \frac{4}{3 \times 21} = 0.6032$$

This for bending inertia and also for torsional inertia. Thus the torsion parameter $\alpha = 0.54$ and the spacing parameter $\theta = 1.29$.

KEYWORDS: Parameters; Fundamentals; Characteristics; Geometric; Coefficient; Beam; Rigidity.

1 INTRODUCTION

Economic development remains a major concern in all countries. This development often follows the creation of road, rail or river networks. In order to improve and facilitate the movement of its population, the Government of Tunisia decided to build a 3 x 3-lane A3 motorway between Bousalem and Beja. Hence the importance and pertinence of our study theme of the study of a Great Hydraulic Works.

In this work, we propose to carry out the detailed study of a bridge made of reinforced concrete composed of the different elements such as beams, slab, strut, abutment, gravel, support apparatus, stack And foundations. All this being done by taking care to multiply the various estimated loads on the weighting coefficients in order to ensure its stability and the safety of its users.

LITERATURE REVIEW

Many works have been carried out (huge work has been done on the calculation of the fundamental parameters and the determination of the Coefficient of Transversal Distribution) in the dimensioning of the Road Bridges. Bridges are works of art for which a taxiway crosses a natural obstacle or other road of land, river or sea. In practice, it is called Works of Art to designate a Bridge. In addition, the Bridges, Raiders and Buses have been the subject of careful studies carried out by several researchers such as:

[3] "CONCRETE AND ARTICLES OF ART Volume 1: Concrete bridges" document was drafted by a working group composed of experts from FIB, CERIB, SNBPE, SNPB and CIMBETON. [2] «The calculation at the limit states of slabs and planar structures» Annals ITBBTP, No. 257 (Bernaert, May 1969). [4] Applications of Eurocode 2: calculation of buildings in concrete, Press of roads and bridges (Calgaro and Cortade 2005). "[9].[10] " Master BAEL 91 and UTD associates, Practice BAEL 91 (J.PERCHAT and J.ROUX 2000, 1993)."[11].[12] " Course of Art »Volume 1: Conception, « Course of Art »Volume 2: Dimensioning (BEN OUZDOU Mongi 2008). [1] "Design of bridges" Anne BERNARD-GELY and Jean-Armand CALGARO. [5] Origin of Pathologies, Observations, Diagnosis in Structures Annals of ITBTP No. 523 (POINEAU., May 1994). [6] "Technical Rules for the Design and Calculation of Foundations of Structures in Civil Engineering » (Fascicle 62 Title V., 1999).[7] « Practical course of prestressed concrete BPEL rules » (GEORGE DREUX., 1984).[8] « Concrete prestressed to the limit states » (HENRY Thonier., 1985). [13] Annals of ITBTP No. 169 (Method of Guyom-Massomnet., January 1962). [14] (Roads reestablishment) «General Direction of roads and bridges of Tunis » (M.HOSNI Sami.,2007).[15] "Plastic calculations", ESTP course (Perchat M., 1973). [16] [17] [18] [22] [23] [24] "Planning of main roads", (Bridges with prefabricated beams prestressed by post tensionVIPP), "Transitional bridge bridges", "Support of the aprons" (1.2.3 Models of the piers and abutments: PP73), «Support of the aprons» (1.3.2 Additional calculation and Reinforcement type: PP73), «1.3.2 Pre-dimensioning Geometric & Costs and Quantities: PP73. Supporting appliances made of shrink-wrapped elastomer » (SETRA., 1994, 1984, 1981, 2007).

2 METHODOLOGY

2.1 GEOGRAPHIC LOCATION

This is a road crossing on the Oued Zarga-Rhayette of 31.5 m total width located in the region of Boussalem. The axis of the structure has a right angle to the axis of the channel as shown in the map below.

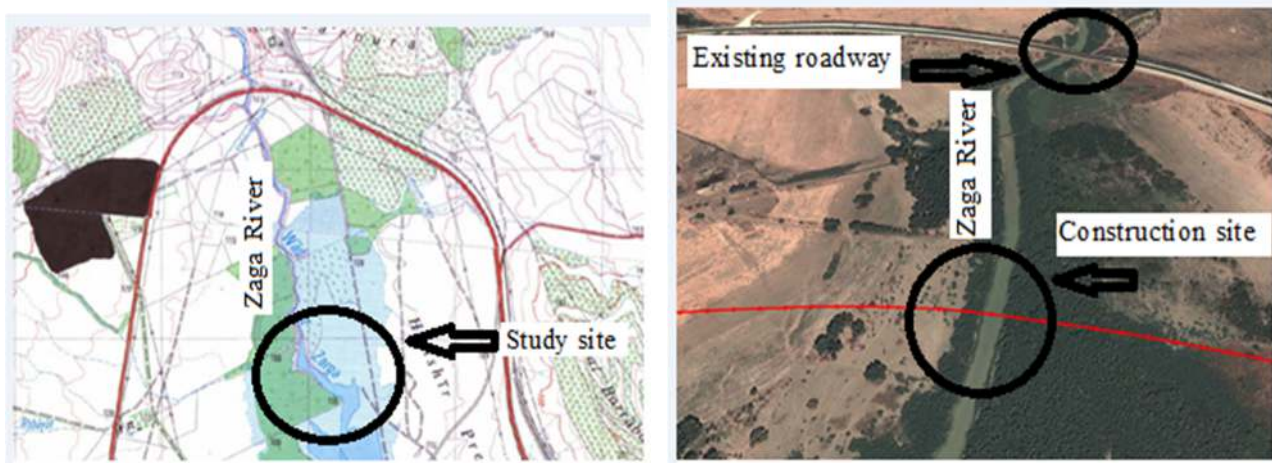


Figure 1: Location plan and construction site

The method of Guyom Massonnet which is defined as a method of calculation of slabs or networks of beams. This method is stated according to two fundamental principles which are the following:

- To substitute to the actual bridge a bridge with a continuous structure which has the same average stiffness for flexion and torsion as the real bridge.
- Approximately analyze the effect of the transverse distribution of the tanks assuming that this distribution is the same as if the distribution of the loads along the axis of the bridge is sinusoidal.
- The determination of the fundamental parameters depends on the different aspects of:

- The longitudinal design
- The transverse design
- The geometry of the sections of the beams

Which led us to carry out the study for an independent span of span (L_c) of our work (according to the longitudinal design, the roll able width " L_r " According to the cross-section and the slab acting as the intermediate spacers and also the spacing between the beams" b_0 ")

2.2 LONGITUDINAL DESIGN OF THE DECK

Thanks to the hydrological studies and the topography of the terrain, For a reinforced concrete girder bridge of 84.27m length with 4 independent spans, thus two spans of 21.34 m of axis in axis and two spans Of shore of 20.67m. This allows us to determine the following characteristics:

- Intermediate span length: $L_t = 21.34$ m
- edge which is taken equal: $d = 0.5$ m
- calculation length: $L_c = 21.34 - 2 \times 0,5 - 2 \times 0.17 = 20$ m
- Beam length: $L_p = 21$ m

Below is the longitudinal section of the proposed bridge:

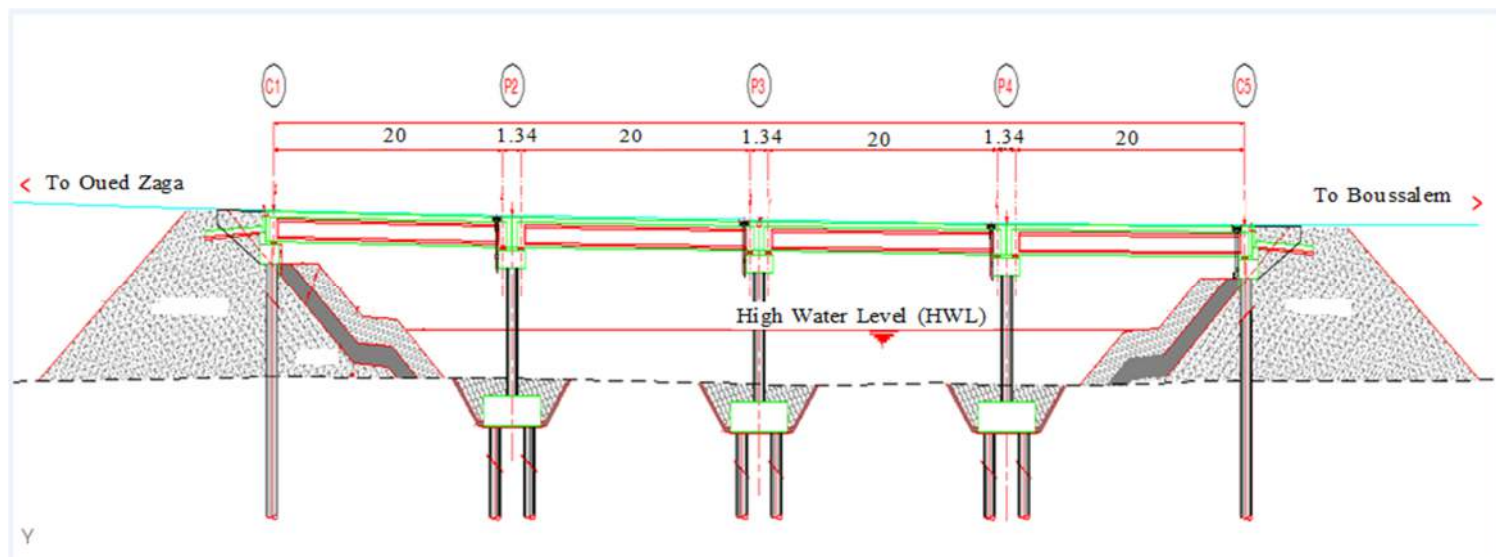


Figure 2: Longitudinal section of the bridge

2.3 TRANSVERSAL DESIGN

The width of the bridge depends on the road requirements. The road crossing this structure is equipped with 3 x 3 lanes, one lane will be blocked, and this lane will be unblocked as traffic increases. A bridge with two independent decks of 14.75m each, separated by a 2m grating, will be considered and a part of the deck will be worked on. An emergency stopping strip of 2 m and a left stray strip of 1 m are provided on each apron width and also a normal BN4 - type barrier placed on a set of cornices and against a cornice of 0.75 m on the right bank and a 0.5 m safety slide located on the left bank.

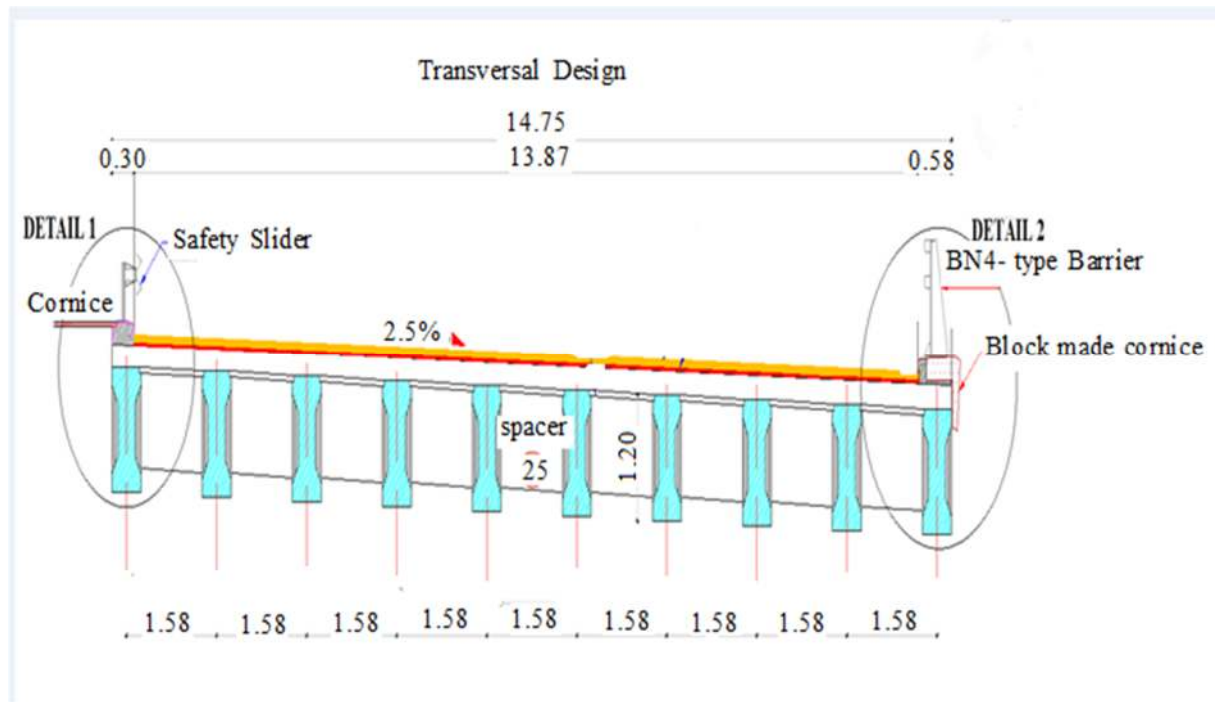


Figure 3: Cross section of the bridge

2.4 EXPERIMENTAL METHODS

In our case, the absence of intermediate spacers in the cross-section of the bridge is deformable; hence the Guyom-Massonnet method is used for the calculation of the longitudinal moments taken up by the beams and the beams. Transverse moments taken up by the slab.

CALCULATION OF THE FUNDAMENTAL PARAMETERS BY THE CLASSICAL APPROACH GIVEN BY THE REFERENCES SETRA

The choice of the cross section of the beam allows us to calculate the geometrical characteristics, to facilitate the calculations we used the traditional approach which consists of decomposing the different sections on the surface and to facilitate this task we have used EXCEL and the theory of equivalent rectangles for torsional inertia. Since the beam along its length is variable, which leads us to work on two sections: central and support. In addition, it is imperative to determine the average geometric characteristics of the section. The fundamental parameters are summarized in the determination of the torsion parameter α and the spacing parameter θ which serve to define the behavior of the bridge. To determine these we will need their stiffness's which are determined as follows:

$$\begin{aligned} \text{flexion stiffness :} & \left\{ \begin{array}{l} \text{Beam: } \rho_p = \frac{E_x I_p}{b_1} \\ \text{Spacer: } \rho_E = \frac{E_x I_E}{L_1} \end{array} \right. \\ \text{torsion stiffness:} & \left\{ \begin{array}{l} \text{Beam: } \gamma_p = \frac{E_x K_p}{2 \times b_1} \\ \text{Spacer: } \gamma_E = \frac{E_x I_E}{L_1} \end{array} \right. \end{aligned}$$

The parameters are:

- **Torsion parameter:** $\alpha = \frac{\gamma_p + \gamma_E}{2 \sqrt{\rho_p \rho_E}}$;
- **Spacing parameter:** $\theta = \frac{b}{L} \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_E}}$

CALCULATION OF THE TRANSVERSAL DISTRIBUTION COEFFICIENT (TDC)

The calculation of the TDC coefficient depends on the number of main beams, the position of the beams in relation to Axis of the cross-section and a coefficient K determined from the table Guyom-Massonnet.

✓ **Determination of the lines of influences**

Our study in the determination of the lines of influences will be done on the edge beam and the intermediate beam determined only after three interpolations as follows:

- Interpolation on (Y), which is defined as the distance in the transverse direction between the vertical axis of the bridge and that of the beam to be studied
- Interpolation on (α)
- Interpolation on (θ)
- **Intermediate beam and edge beam**

The abscissa (y) of the intermediate beam and edge beam is determined as follows:

$$Y = \frac{0.79}{7.375} b = 0.11b \quad ; \quad Y = \frac{7.11}{7.375} b = 0.96b$$

Since we have the values of bracing, we will choose the values in the table of Guyom-Massonnet and then we carry out the interpolations.

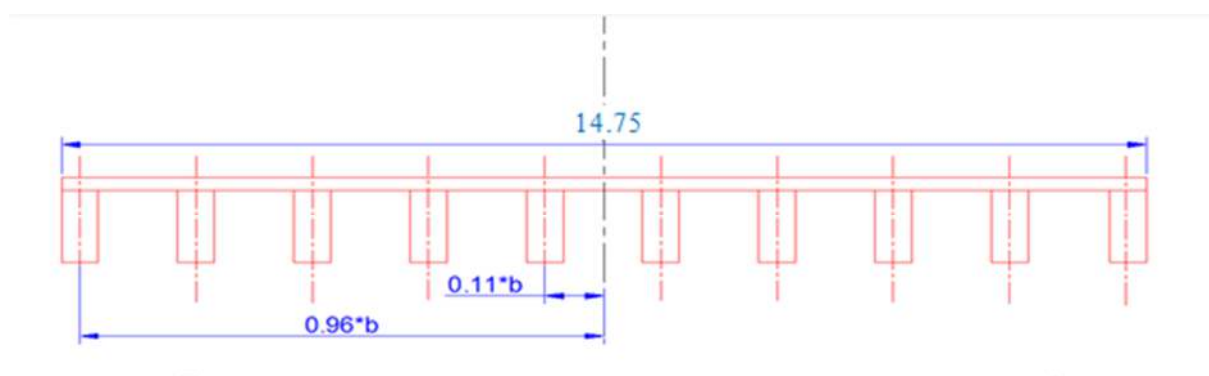


Figure 4: Position of the abscissa on the cross-section

✓ **Loading system and arrangement**

➤ **Loading case A_L**

This system consists of uniformly distributed loads of varying intensity depending on the overloaded length and which correspond to one or more lines of vehicles when stationary on the bridge. The AL load according to the loading rules is placed in the most unfavorable manner.

For this purpose and because of the variation of A₁ and the loading width LAL, the following cases (one, two, three and four loaded channels) will be tested. We will do caseloads for the beam bank and that of the intermediate beam (see Annex 1).

With: the coefficient K:

$$K_{AL} = \frac{\text{transversely area covered by the line of influence K}}{\text{width covered transversely by AL}} = \frac{wAL}{LAL}$$

Such as: WAL that is the area of the influence line corresponding to the load divided by the width of the load is determined by the AutoCAD software or by the decomposition of the surface surfaces elementary.

➤ Loading case Bc

For Bc loading, the longitudinal layout requires a maximum of two trucks per lane and as many lanes as the number of lanes in the transverse direction. Since bc coefficient varies we will try 4files bc we will place them on the loadable width to obtain the case of the most unfavorable loading while respecting the characteristics of Bc convoy: the distance between Bc queue is 2 m, the Distance between two lines of Bc is 0.5 m and leave a distance of 0.25 m between the edge of the sidewalk and the first line of wheels, if there are the restraints, a distance of 0.75 m is allowed. The loads of the influence lines of the edge beam and of the intermediate will be loaded.

With the Ki which are the ordinates at the location of the wheels, they are determined graphically in the AutoCAD software.

✓ Loading case MC120

For this type of load, only one vehicle is used in the transverse direction regardless of the width of the roadway and has two tracks with the following characteristics: the distance between two tracks is 2.30 m and the distance between the tracks a caterpillar is 1m.

3 RESULTS

After this study, it appears that the values of the fundamental parameters by the conventional approach given by the SETRA references and determination of distribution coefficient of Transverse beams Rives, Intermediate and beam model are presented in the following tables and figures:

• Geometrical characteristics

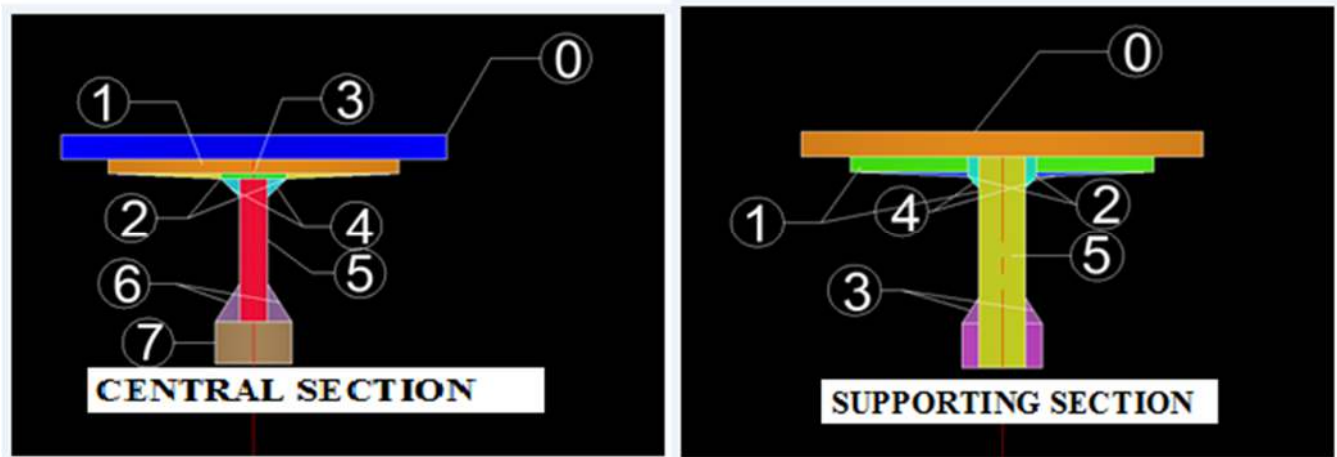


Figure 5: Quantification of the central section and the supporting section by elements

Table 1: Results of geometric characteristics in central section

Central section	beam without slab	beam with slab
B (m ²)	0.470	0.786
V'(m)	-0.616	-0.881
V(m)	0.584	0.519
I (m ⁴)	0.06	0.161
p (section yield)	0.36	0.45
Γ (m ⁴)	0.01122	0.01332

Table 2: Results of the geometrical characteristics of the support section

Section on supports	beam without slab	beam with slab
B (m ²)	0.6	0.916
V'(m)	-0.61	-0.85
V(m)	0.59	0.55
I (m ⁴)	0.065	0.164
ρ (section yield)	0.3	0.38
Γ (m ⁴)	0.04309	0.04519

• **Fundamental parameters**

Table 3: Results of geometrical characteristics and fundamental parameters

Fundamental parameters									
Mean section without slab	Mean section with slab	Average bending inertia with slabs	Average inertia of torsion with slab	γ _P	ρ _P	γ _E	ρ _E	α	θ
0.522	0.837	0.162	0.0260	264.68	3301.29	21.44	21.44	0.54	1.29

✓ **Intermediate beam**

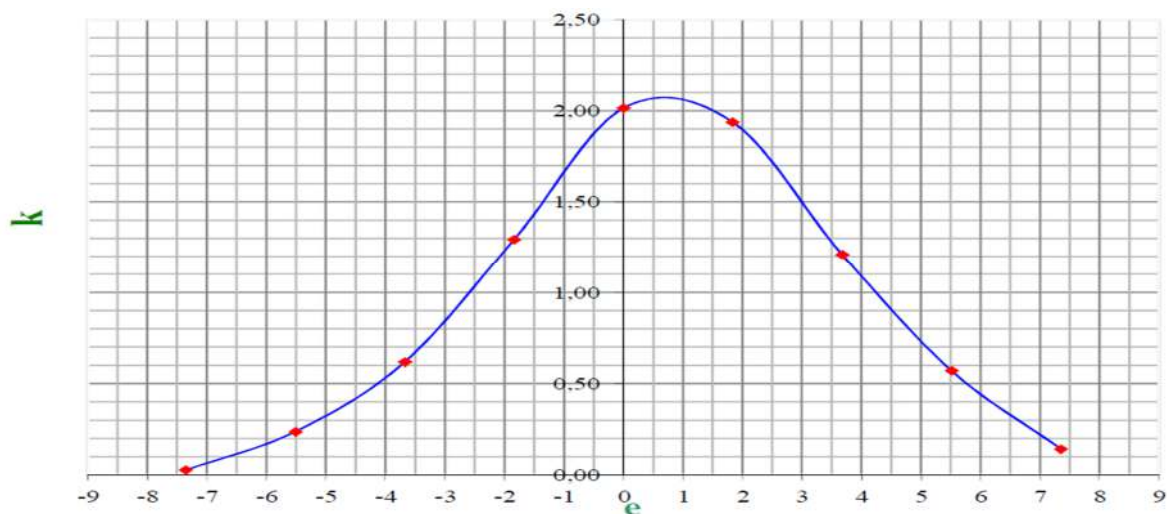
• **Interpolation on (Y), α and θ**

- (Y) is between Y= 0 and Y= $\frac{1}{4}$ b therefore $Y_{0.11b} = 0.56Y_{0.25b} + 0.44Y_0$
- (α) is between 0 and 1 therefore : $K_\alpha = K_0 + (K_1 - K_0)\sqrt{\alpha}$
- θ is between 1.2 and 1.3 therefore : $K_{\theta=1.29} = 0.9K_{\theta=1.2} + 0.1K_{\theta=1.3}$

Table 4: Results of the interpolation at the level of the intermediate beam

θ = 1.29 α = 0.54	-b	-0.75b	-0.5b	-0.25b	0	0.25b	0.5b	0.75b	b
y = 0.11b	0.03	0.24	0.62	1.29	2.01	1.94	1.21	0.57	0.14

• **Drawing of the influence curve on the intermediate beam**



✓ **Edge beam**

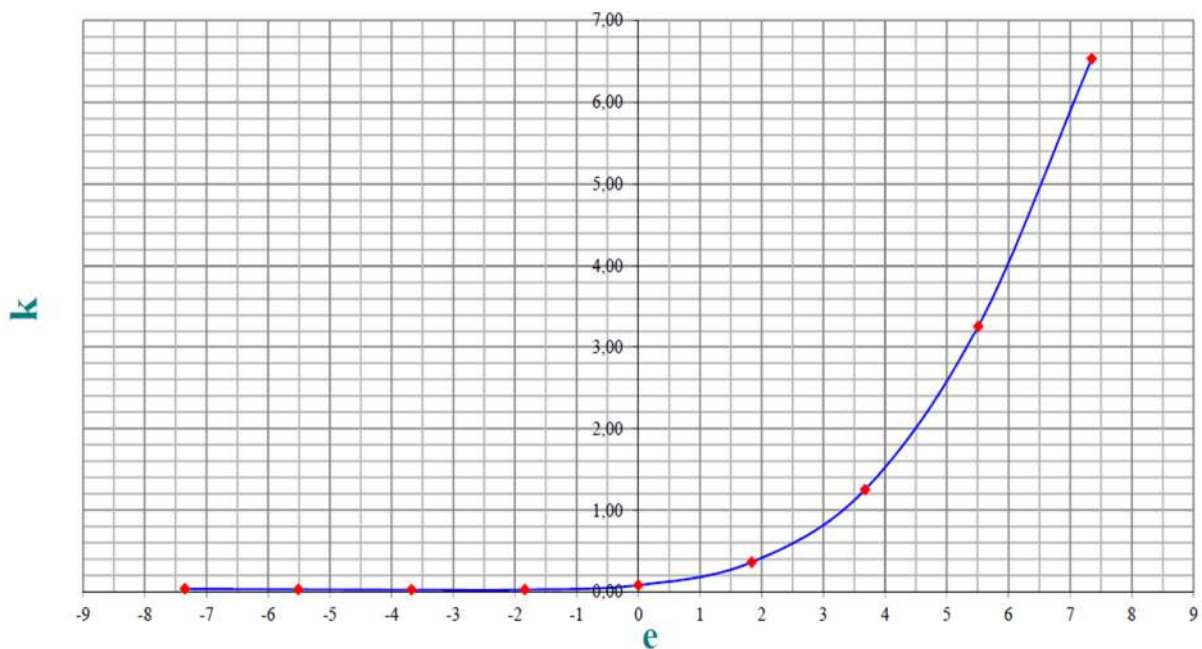
• **Interpolation on (Y), α and θ**

- (Y) is between $Y = \frac{3}{4}b$ and $Y = b$ therefore $Y_{0.96b} = 0.12Y_{0.75b} + 0.88Y_b$
- (α) is between 0 and therefore: $K_\alpha = K_0 + (K_1 - K_0)\sqrt{\alpha}$
- (θ) is between 1.2 and 1.3 therefore : $K_{\theta=1.29} = 0.9K_{\theta=1.2} + 0.1K_{\theta=1.3}$

Table 5: Results of the interpolation at the level of the edge beam

$\theta = 1.29 \quad \alpha = 0.54$	-7.375	-5.53	-3.6875	-1.84375	0	1.84375	3.6875	5.53	7.375
$y = 0.96b$	0.0344	0.0277	0.0231	0.0238	0.0791	0.3613	1.2504	3.2697	6.5342

• **Drawing of the influence curve on the edge beam**



✓ **Loading case A_L**

• **Intermediate beam**

Table 6: summary of the TDC intermediate beam case load A_L

Loading case	Coef a_1	Surface $W_{AL} (m^2)$	Coefficient $K_{AL} = \frac{W_{AL}}{L_{AL}}$	TDC $\eta_{AL} = \frac{K_{AL}}{n}$	$a_1 \times \eta_{AL} \times L_{AL}$
1file ($L_{AL} = 3.17m$)	1	6.2715	1.978	0.198	0.62766
2files ($L_{AL} = 6.34m$)	1	10.7242	1.6915	0.169	1.07242
3 files ($L_{AL} = 9.51m$)	0.9	13.2824	1.3967	0.1397	1.1954
4 files ($L_{AL} = 12.7m$)	0.75	14.4503	1.1378	0.11378	1.08377

- Edge beam

Table 7: summary of the TDC edge beam case load AL

Loading case	Coef a_1	Surface $W_{AL} (m^2)$	Coefficient $K_{AL} = \frac{w_{AL}}{L_{AL}}$	TDC $\eta_{AL} = \frac{K_{AL}}{n}$	$a_1 \times \eta_{AL} \times L_{AL}$
1 file ($L_{AL} = 3.17m$)	1	8.4749	2.673	0.2673	0.847
2 files ($L_{AL} = 6.34m$)	1	9.8038	1.5463	0.1546	0.98016
3 files ($L_{AL} = 9.51m$)	0.9	9.925	1.044	0.1044	0.8935
4 files ($L_{AL} = 127m$)	0.75	10.0062	0.788	0.0788	0.7506

✓ Loading case Bc

- Intermediate beam

Table 8: TDC summarized intermediate beam load case Bc

Loading case	Disposition	Coef bc	Coefficient $K_{Bc} = \frac{\sum K_i}{2}$	TDC $\eta_{Bc} = \frac{K_{Bc}}{n}$	$bc \times \eta_{Bc}$
1file of Bc	symmetric arrangement	1.2	1.9556	0.19556	0.23467
	asymmetric arrangement		1.8537	0.18537	0.2244
2 files of Bc	symmetric arrangement	1.1	3.554	0.3554	0.3909
	asymmetric arrangement		3.542	0.3542	0.3896
3files of Bc	symmetric arrangement	0.95	4.702	0.4702	0.44669
	asymmetric arrangement		4.3957	0.43957	0.4176
4files of Bc	symmetric arrangement	0.8	5.31755	0.531755	0.425
	asymmetric arrangement		5.332	0.5332	0.4266

- Edge beam

Table 9: TDC summarized Edge beam load case Bc

Loading case	Disposition	Coef bc	Coefficient $K_{Bc} = \frac{\sum K_i}{2}$	TDC $\eta_{Bc} = \frac{K_{Bc}}{n}$	$bc \times \eta_{Bc}$
1file of Bc	one disposition	1.2	3.159	0.3159	0.3791
2files of Bc	2 files of Bc(after 0.75m)	1.1	4.0046	0.40046	0.44051
3files of Bc	3 files of Bc	0.95	4.1439	0.4144	0.39368
4files of Bc	4 files of Bc	0.8	4.1706	0.4171	0.334

✓ **Loading case MC120**

• **Intermediate beam**

Table 10: TDC summarized intermediate beam load case MC₁₂₀

Loading case	$K_{MC} = \frac{\sum Ki}{4}$	$\eta_{MC} = \frac{KMC}{n}$
1 st disposition	1.455	0.1455
2 nd disposition	1.5626	0.15626
3 th disposition	1.71885	0.17188

• **Edge beam**

Table 11: TDC summarized Edge beam load case MC₁₂₀

Loading case	$K_{MC} = \frac{\sum Ki}{4}$	$\eta_{MC} = \frac{KMC}{n}$
2channels at 0.5m from GBA	2.428	0.2428

• **Model beam**

Table 12: Summary of Model beam CRTs following the different loads

Loads	TDC	Characteristics	Most critical case
Al	0.1397	$a_1 = 0.9$ et $L_{AL} = 9.51$ m	3 loaded lanes
Bc	0.4702	$bc = 1.1$ P = 12t. 6t	3files of Bc
MC ₁₂₀	0.2428	P = 110t. $L_{Mc} = 1$ m	2channels at 0.5m from GBA

4 DISCUSSION

After performing the various calculations according to the Standards, SETRA documents and UTD (Unified Technical Documents), it follows:

The different geometric characteristics of the two sections are different. This is due to the variation of the section along the beam. The following variations are observed:

- A variation of 14.2% between the air of the central section and the air of the section;
- A variation of 1.83% between the flexural inertia of the central section and the flexural inertia of the support section;
- A variation of 70.52% between the torsional inertia of the central section and the torsional inertia of the bearing section.

It is therefore imperative to determine the average geometric characteristics of the section in order to optimize the reinforcement of the beam to different sections which leads to the Barres stop.

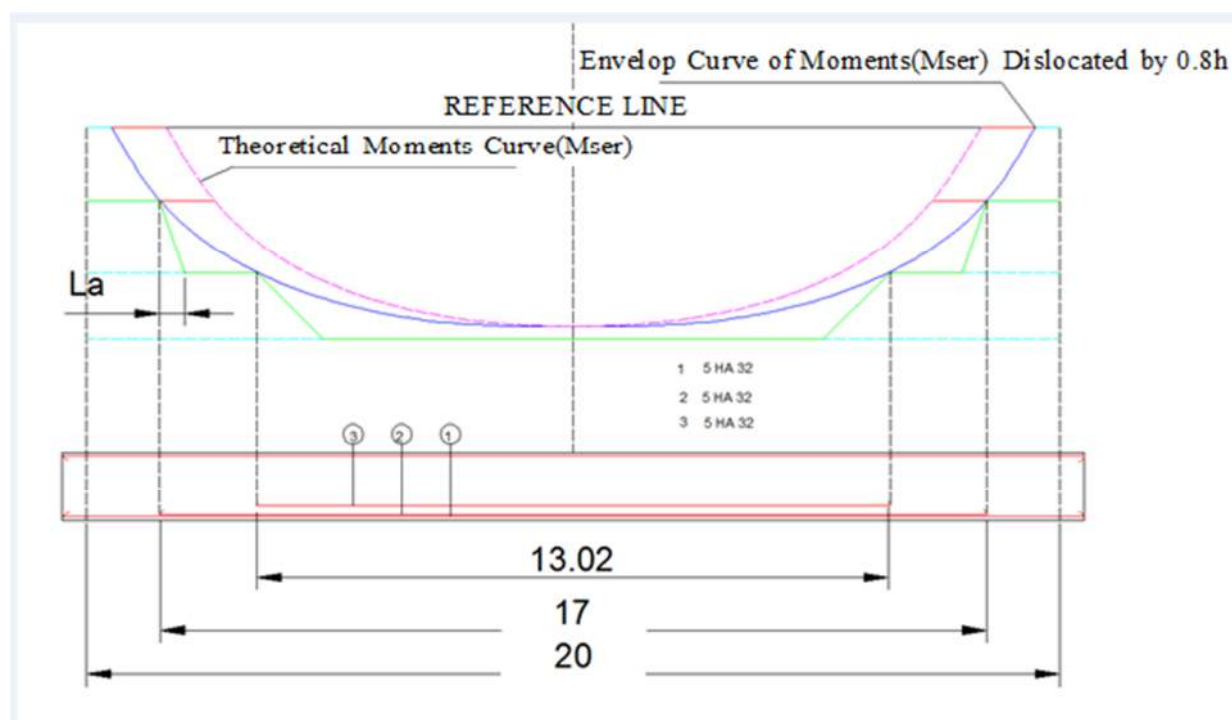


Figure 6: Barrel

The reinforcement consists of several beds; the time taken by each of the beds is plotted on the diagram of the bending moments. The intersection of these resistant moment lines with the envelope curve determines the bar stops.

- From the table 6 we find that loaded rounds are the worst case because $a_1 \times \eta_{AL} \times L_{AL} = 1.1954$ is the max and according to the table 7 we find that for the loaded edge beam is the worst case because $a_1 \times \eta_{AL} \times L_{AL} = 0.98016$ is the max.
- We find that 2 lines of Bc is the worst case because $b_{cx} \times \eta_{Bc} = 0.44051$ is the max and we also find that 3 lines of Bc is the worst case for the intermediate beams because $b_{cx} \times \eta_{Bc} = 0.44669$ is the maximum.
- By comparing the CCC values of these different beams, the most unfavorable values are derived to calculate a single model beam. Thus, the reinforcement will be the same as the other beams.

5 CONCLUSION

In this project, we were interested in the design, dimensioning and planning of execution and financial works of a crossing on Oued Zarga -Rhayette situated On the A3 motorway in the Bousalem area. During this project we tried to carry out a general and complete study of a structure and for this it was necessary to follow and study closely each step of design and dimensioning of the bridge to beam. From this it follows the calculation of the fundamental parameters by the classical approach given by the SETRA references and the determination of the Transversal Repartition Coefficient (CCC) of the different Beams. The calculations of the different elements of our work are carried out with reference to the recommendations of SETRA and based on the rules of the BAEL 91.

Finally, the results obtained during this study pose the milestones constituting the fundamental parameters and the coefficient of Transversal Distribution of a Beam Model for the dimensioning of the beams of the structure.

PERSPECTIVES

- Calculation of the different loads of the overloads and the permanent load
- Determination of the reinforcement of the various elements of the deck with reinforcement plan
- Use of Euro code 2 for the calculation of reinforced concrete

IMPLICATION OF THE MODEL TO RESEARCH AND PRACTICE

EXEL micros programs for the determination of the geometrical characteristics, pre-dimensioning, dimensioning of the beam and the design of the structure and planning.

REFERENCES

- [1] Anne BERNARD-GELY and Jean-Armand CALGARO "Design of bridges"
- [2] Bernaert M. May 1969. "Limit state computation of slabs and planar structures", Annals ITBBTP, n ° 257,
- [3] «CONCRETE AND ARTICLES OF ART Volume 1: Concrete bridges" document was drafted by a working group composed of experts from FIB, CERIB, SNBPE, SNPB and CIMBETON.
- [4] Calgaro J.-A. and Cortade J., 2005. Applications of Eurocode 2: calculation of buildings in concrete, Press of roads and bridges.
- [5] D. POINEAU., May 1994. Origin of Pathologies, Observations, Diagnosis in Structures (Annals of ITBTP No. 523)
- [6] Fascicle 62 Title V., 1999. "Technical Rules for the Design and Calculation of Foundations of Structures in Civil Engineering»
- [7] GEORGE DREUX., 1984.« Practical course of prestressed concrete BPEL rules »
- [8] HENRY Thonier., 1985.« Concrete prestressed to the limit states »
- [9] J. PERCHAT & J.ROUX., 1993.« Practice BAEL 91 »
- [10] J.PERCHAT & J.ROUX., 2000. "BAEL 91 and Associated DTU"
- [11] M.BEN OUZDOU Mongi., 2008. "Course of Artwork" (Volume 1: Conception)
- [12] M.BEN OUZDOU Mongi.,2008. "Works of Art" (Volume 2: Dimensioning)
- [13] Method of Guyom-Massomnet., January 1962. (Annals of ITBTP No. 169)
- [14] M.HOSNI Sami.,2007. (Roads reestablishment) «General Direction of roads and bridges of Tunis »
- [15] Perchat M., 1973. "Plastic calculations", ESTP course
- [16] SETRA, 1994. "Planning of main roads"
- [17] SETRA. (Bridges with prefabricated beams prestressed by post tensionVIPP)
- [18] SETRA., 1984. "Transitional bridge bridges"
- [19] SETRA., 1981. "Support of the decks" (1.1.1: Definition and general problems: PP73.)
- [20] SETRA. , 1981. "Support of the aprons" (1.1.3: Design and selection of the piers and abutments: PP73.)
- [21] SETRA., 1981. "Support of the decks" (1.2.2: Models of the piles: PP73.)
- [22] SETRA., 1981. "Support of the aprons" (1.2.3 Models of the piers and abutments: PP73.
- [23] SETRA., 1981. «Support of the aprons» (1.3.2 Additional calculation and Reinforcement type: PP73.)
- [24] SETRA., 2007 «1.3.2 Pre-dimensioning Geometric & Costs and Quantities: PP73. Supporting appliances made of shrink-wrapped elastomer »

Production process on the artisanal extraction output of *Vitellaria paradoxa* Gaerterner butter in the southern part of Chad

MAHAMAT SEID ALI¹, Fidèle Paul TCHOBO², MAOUDOMBAYE THEOPHILE¹, and MAHAMAT NOUR SAKINE³

¹Faculty of Sciences and Techniques of the University of Moundou, Chad

²Laboratory of Study and Research in Applied Chemistry (LERCA), Ecole Polytechnique d'Abomey Calavi, University of Abomey Calavi, 01PO Box: 2009 Cotonou, Benin

³Faculty of Exact and Applied Sciences, University of NDjamena, Chad

Copyright © 2018 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: This work is conducted with women producing shea butter in the regions of Mandoul and Logone Oriental. It aims influence the production processes on the shea butter extraction efficiency. Indeed, these women use two methods to extract shea butter: traditional method that gives butter black and method by manual press that gives butter white. In addition, the traditional method has two variants: use when extracting butter boiled water on the one hand and the water slurry accompanied leaves secondly mango. The butter obtained according to production processes extraction yields are: ($44.35 \pm 3.513\%$) for the mechanical press method; ($36.11 \pm 1.64\%$) to the traditional method using boiled water and (47.70 ± 0.22) for the traditional method using water boiled over the mango leaves. The values of physico-chemical parameters are analyzed: water content ($5.646 \pm 0.105\%$); crude protein ($7.2 \pm 0.655\%$); total fat ($52.886 \pm 1.240\%$); unsaponifiable ($7.25 \pm 0.636\%$); stearic acid ($49.526 \pm 3.090\%$); oleic acid ($48.716 \pm 3.735\%$); linoleic acid ($5.843 \pm 0.386\%$) and linolenic acid (1.653 ± 0.105). The use of mango leaves in the extraction has substantially improved the performance of the butter up to that obtained by the mechanical press. The values of the fatty acids obtained correspond generally to the standards of the Economic and Monetary Union of West Africa (UEMOA) for unrefined shea butter with the exception of the water content is very high compared to the required standards.

KEYWORDS: shea production processes, performance butter, southern zone, Chad.

1 INTRODUCTION

Food forest species are very abundant in African forest ecosystems, contributing to household economies, enhancing food security, and conserving the biological diversity of forest resources (Van Tomme 1999). Unconventional oilseeds (shea butter) are part of the diets of populations, but the process of extraction leads to products of variable quality and remains unexploited on an industrial scale (Kapseu, 2006). This multipurpose tree (karite) plays an important socio-economic role in rural communities in sub-Saharan Africa (Compaoré, 2000). The priority of the developing countries is the fight against poverty and shea but plays a major role in this regard. Several groups of women produce shea butter, but the quality is unsatisfactory due to lack of financial resources, production, control and knowledge of quality (Bernatchez, 2007).

In Chad, shea oil is a non-negligible energy supply throughout the year in the area concerned, with a population of 4,034,915, 51% of whom are women. Shea nuts are transformed on the spot into kitchen oil, soap, detergent, cream and ointment in small quantities. The country could, with its current potential of about 82,800,000 feet of shea trees, produce a large quantity of butter for the local and external market. Unfortunately, this enormous production potential is poorly organized and has received very little support for its promotion (CEPAGE, 1999). Shea is an essential commodity for rural self-sufficiency and the entire production chain remains dominated by women (Faho, 2003). It has been reported that certain steps,

such as heat treatments such as drying, cooking and roasting shea nuts and heating shea butter, if not controlled, not only lead to lower (Hall et al., 1996, Kapseu et al., 2005, womeni et al., 2006), but also to obtain a finished product of exceptional quality. The yield and quality of shea butter are influenced not only by the processing technique of the almonds but also by the origin (tree) (Kapseu, 2006). The purpose of this work is to evaluate the influence of production processes on the artisanal extraction yield of shea butter produced in the southern zone of Chad.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 PLANT MATERIAL

Vitellaria paradoxa, commonly called shea, contains two subspecies: *V. paradoxa* subsp. *Nilotica* Kotschy and *V. paradoxa* subsp. *Paradoxa* (C.F. Gaertner) Hepper. *V. paradoxa* subsp. *nilotica* grows in areas ranging from Sudan to Uganda to Ethiopia through the Democratic Republic of Congo, while *V. paradoxa* subsp. *paradoxa* occurs in West and Central Africa (Hall et al., 1996, Eyog Matig et al., 2000, Ye et al., 2007). In Chad, it is the subspecies *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn subsp. *Paradoxa* that is encountered (Djekota, 2008). The shea tree grows wild and belongs to the Sapotaceae family. It is characterized by the presence of latex in the organs. It is a tree 15 to 20 m high (UNIFEM, 1997), with a diameter of 1 m. Shea has green-dark and deciduous leaves (Pehaut, 1976; Von Maydel, 1983). Shea produces fruits whose inner almond is made up of about 50% butter (Sopade and Koku, 1989; Tano Debrah and Ohta, 1994). The fruit of the shea tree consists of the outside towards the inside of a sweet and edible pericarp, a seed comprising a thin shell and an almond which comprises two cotyledons (Kapseu et al., 1999). The age of production of the shea tree is 15 to 20 years, with large harvests between 50 and 100 years. This irregular production averaged 20 kg of fruit per tree, ie 6 kg of almonds, 4 kg of dried almonds and 1.5 kg of butter (NKouam, 2007).

2.2 USES OF SHEA

Almost all of the shea tree (fruits, leaves, bark, roots, dead wood ...) is used in culinary, food, health, pharmaceutical, decorative, and economic fields (Badini et al. ., 2011). The ripe fruits are edible, green in color and rounded in shape. At the socio-cultural and economic level, the fruits of shea are the subject of intense trade (UNIFEM, 1997), and by-products and derived products play an important role in life (pharmacopoeia, customs and customs) (Asubiojo, Guinn and Okunuga, 1982, Booth and Wickens, 1988). The fruit pulp is consumed by humans and animals. It has a slight laxative action. The leaves are used to increase the extraction yield of the butter. The decoction of young leaves is used, in steam bath, against headache (NKouam, 2007). The meal is used as fuel, fertilizer and feed. The main product of shea is her butter. It is used in the making of sauces and fries. It is used in cosmetic products (NKouam, 2007). It is used in agro-food industries. Indeed, it is used in confectionery, biscuit, pastry and mainly in chocolate. It is used as a substitute for cocoa butter because of its high melting point (UNIFEM, 1997; PAF, 1999). In cosmetics and pharmacology, shea butter enters the manufacture of creams of body milks, hair products, lotions and soaps. This is due to its moisturizing, revitalizing and protective properties, as well as its unsaponifiable and glycerin content. He is employed in the pharmacy to make conditioners and healers (NKouam, 2007).

2.3 GEOGRAPHICAL AREA OF SHEA

In Chad, *V. paradoxa* subsp. *Paradoxa* grows mainly in 7 of the 23 regions in the country. These are natural stands typical of light dry forests and tree savannas (Djekota, 2008). These are the administrative regions located in the southern zone of the country: Mayo Kebbi East, Mayo Kebbi West, Tandjilé, Logone Occidental, Logone Oriental, Mandoul, Moyen Chari. The 7 regions cover a total area of 98 000 km² with a population estimated at more than 4 million inhabitants (INSED, 2009). Shea in Chad is found in Middle Chari, Oriental Logone, Mayo Kebbi, Logone Occidental and Tandjile in the south of the country, with a higher density in the Middle Chari. The stand is estimated at 82 million feet on an area of 127,000 km² (MEE, 1999). The shea potential in Chad estimated at 92 683130 feet would produce about 556000 tonnes of almonds per year because some authors estimate that, with an average productivity of 15 kg / karité / year of fresh fruit, it is possible to obtain On average 5 kg of dried almonds (Lovett, 2004).

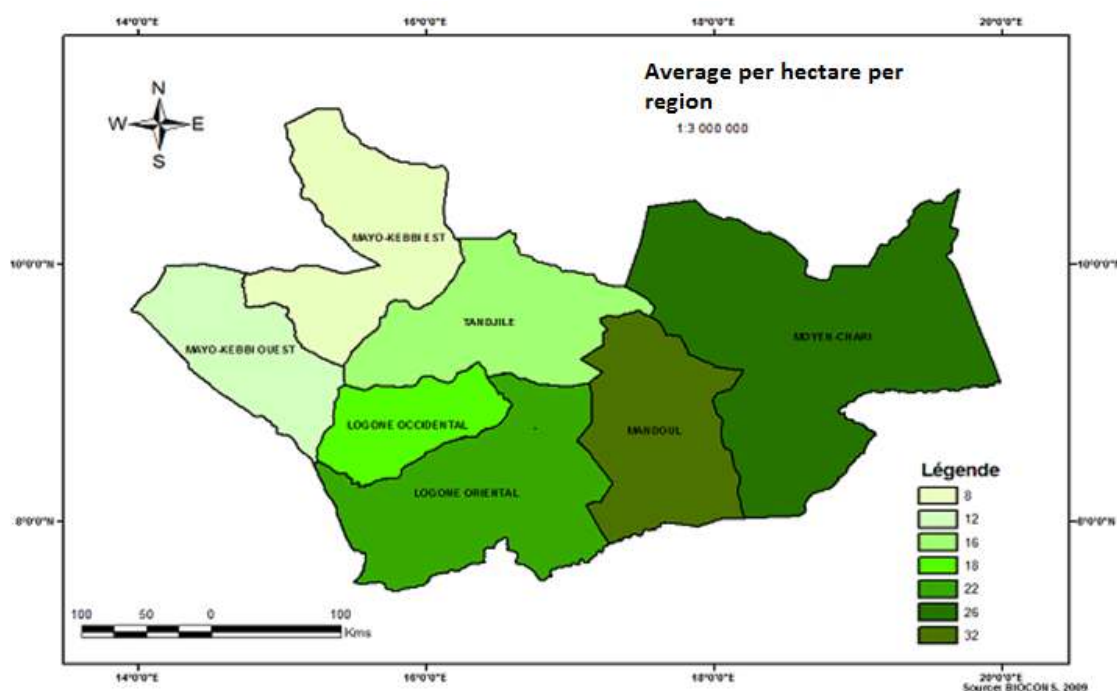


Fig1. Map of Chad, area of shea stock

Table I: Estimation of Shea Potential by Region in Chad

Region	Area(ha)	Area under consideration (ha)	Average Density/ha	Number of shea	(%)
Mayo Kebbi East	1 822 527	364 505	0 ± 8	2 916 043	9
Mayo Kebbi West	1 283 533	256 707	0 ± 12	3 080 478	10
Tandjilé	1 753 624	584 541	0 ± 16	9 352 661	12
Logone Occidental	884 542	294 847	1 ± 18	5 307 251	10
Logone Oriental	2 364 238	788 079	2 ± 22	17 337 746	18

2.4 HARVEST

In the form of a cluster, the fruits of the shea tree appear five months after flowering. When ripe, the fruit falls to the ground (Badini et al., 2011). Picking properly begins in May. It is done by collecting fallen fruit or by shaking the branches of the tree (Adoum, 1996). The traditional exploitation of shea products (nuts, almonds, butter, ...) was primarily the responsibility of women and children through gathering activities (Djekota et al., 2014). An essentially female activity, it usually takes place early in the morning around 4 am, on the fringe of other rural works. The fruits obtained by shaking the branches produce butter sought after by the cosmetic industries (lower acidity), and those collected at the foot of the tree are rich in butter (UNIFEM, 1997). However, long-ground fruit germinates and yields poor-quality butters (Karo et al., 1988). Formerly, it is the chief of land who announces the campaign to collect shea nuts but nowadays "the love of money has made love of shea by everyone". For "love of money", it is not uncommon to find that collectors are not satisfied only with ripe fruit fallen to the ground but they pluck the fruit on the tree, which is damaging to the tree And which will influence the quality of the butter resulting from it (INADES Formation, 2011).

2.5 SHEA SECTOR IN CHAD

The shea sector provides income to women, contributes to the strengthening of social ties between women within their organizations. Women are the main players in the sector (Badini et al., 2011). The shea sector in Chad is informal and unorganized. The exploitation and marketing of shea butter remains essentially local, even national, but has very little

international focus (Rongead, 2014). The country could, with its current potential of about 82,800,000 feet of shea trees, produce a large quantity of butter for the local and external market. Unfortunately, this enormous production potential is poorly organized and has received very little support for its promotion (CEPAGE, 1999). Shea oil is either self-consumed or marketed locally, brought to the other cities of the country, especially at the level of the capital.

This production is natural without any technical input for improvement (INADES Formation., 2011). At the beginning, there is the family unit where women and children collect shea, either for the needs of the family, or to treat and market or both. It is therefore an individual activity, which takes place on the margins of rural labor. Butter production was done in a family setting with informal support from the women in the village or neighborhood. In all regions where the product is found, there are also producers who process the products of the shea tree. They are often organized in groups, or even in union, but often also do the processing and sale of a small amount of oil in parallel. The unions to which these women belong may contain more than 2,000 persons, divided into groups. Several denominations of these groups were born: Co-operative of the women of Mandoul for the promotion of Shea (COFEMAK); Association for the promotion of the shea sector of Mandoul (APROFIKAM); Organization of Development Groups in Chad (OGFDT); Truth to Non-Violence for Development (VNVD); Boat to Combat Poverty (ARCHE) Cooperative; Organizing Committee Women's Autopromotion of Bessada; And the Association of Beekeepers and Breeders (GAEL). Resellers, transporters and consumers of shea are not constant, the sale of the product is often random. Initially, he had some attempts at the structured marketing of nuts and shea butter. For example, the Mutual Society for Rural Development (SMDR) was involved in the marketing of shea butter between 1950 and 1958; Then it was raised by the Development and Rural Development Fund (FDAR), which exported the butter in France, to Rouen, to IRANEX. However, from 1965, the decline in production continued and intensified in 1970 and 1978, leading to an annual export of no more than 300 tonnes of butter (Mbayhoudel, 2002). For the moment, there is no longer any support for the marketing of shea at the state or private level. Nut collectors and processors are organized at their level (Mbayhoudel, 2002). Consumers are women in the region or N'Ndjamena who buy white shea butter for body massage or for cooking. Black shea butter is used only for consumption (Rongead, 2014).

3 METHODOLOGY

3.1 DETERMINATION OF MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS

The determination of the morphological characteristics is carried out on 100 random almonds. The mass is weighed on a 0.0001 precision electrical balance, the length and diameter are measured with a caliper.

3.2 EXTRACTION OF SHEA BUTTER

The methods of extraction of shea butter are numerous and diverse. They vary from one country to another, from one region to another, from one tribe to another (SNV, 1991, Kassamba, 1997). Some local methods in Chad (Adoum, 1996) allow the almonds to be dried in the sun, then to be smoked on the shelves before they are processed. The smoking step thus extends the shelf life and protects against weevils and rodents. The moisture content should be as low as possible to prevent germination of almonds, but also to increase extraction yield (Sopade and Koku, 1989).

The methodology adopted during this scientific research includes treatment and extraction of almond oil with producers of shea butter in real environment according to the artisanal diagram commonly used in the southern regions of Chad. The artistic diagrams selected are those of the Doba producers in Oriental Logone, Peni and Koumra in the region of Mandoul. In general, there are two methods used by women producers to extract shea butter: the traditional method that produces black butter and the mechanical pressing method that produces white butter. The amount of material entering and exiting each extraction method was measured using a precision balance. These measurements made it possible to calculate the yield of the extraction process from the following formula:

$$R (\%) = \frac{\text{Amount of butter obtained}}{\text{Amount of almonds used}} \times 100$$

The contents of water, unsaponifiables, total lipids, crude protein and stearic, oleic, linoleic and linolenic acids were determined according to AFNOR 1993. The artisanal extraction diagrams used are shown in the following figures:

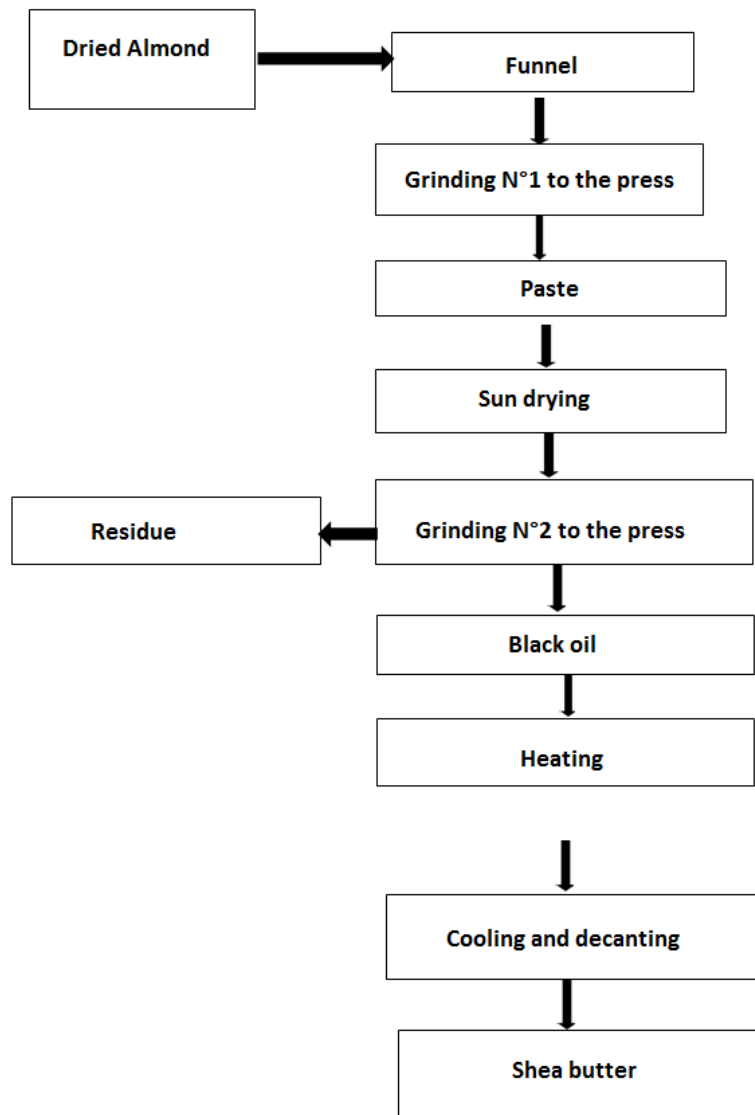


Fig.2. Technological diagram of the production of shea butter of Koumra.

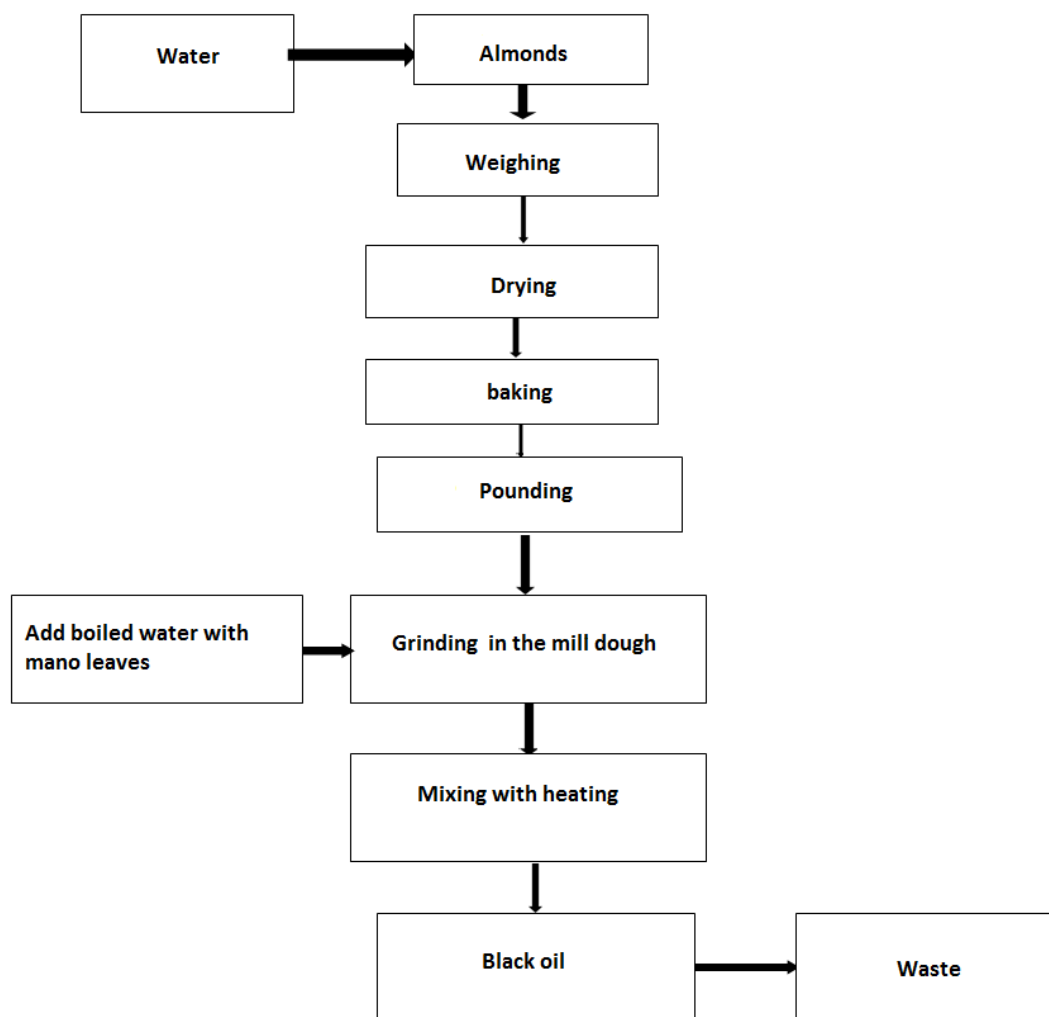


Fig.3. Technological diagram of the production of shea butter by a family in Doba.

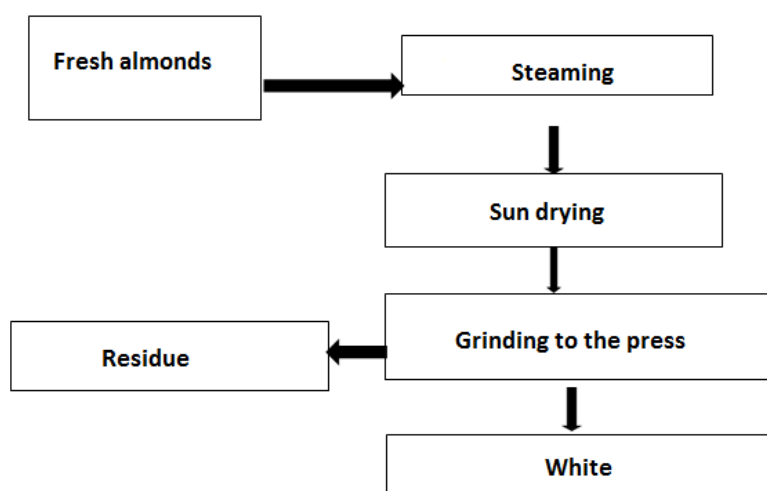


Fig.4. Technological diagram for manufacturing white shea butter by a group of Mandoul.

4 RESULTS AND DISCUSSIONS

4.1 MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SHEA NUTS

The determination of the morphological characteristics of the shea nuts gave an average length of 26.9 ± 1.442 mm and an average diameter of 20.34 ± 0.767 mm for an average mass of 6.36 ± 0.611 g. These dimensions are lower than those obtained by Nkouam, (2007) which showed that the shea nut length of 4.26 cm and diameter of 3.29 cm has an average mass of 21.76 g. It is also possible to find some morphological nuances between the fruits of the same locality. These differences can be explained by geographic variables specific to each locality or region, but also by tree characteristics and shea production depended on rainfall (UNIFEM, 1997).

4.2 SHEA BUTTER YIELDS ACCORDING TO EXTRACTION METHODS

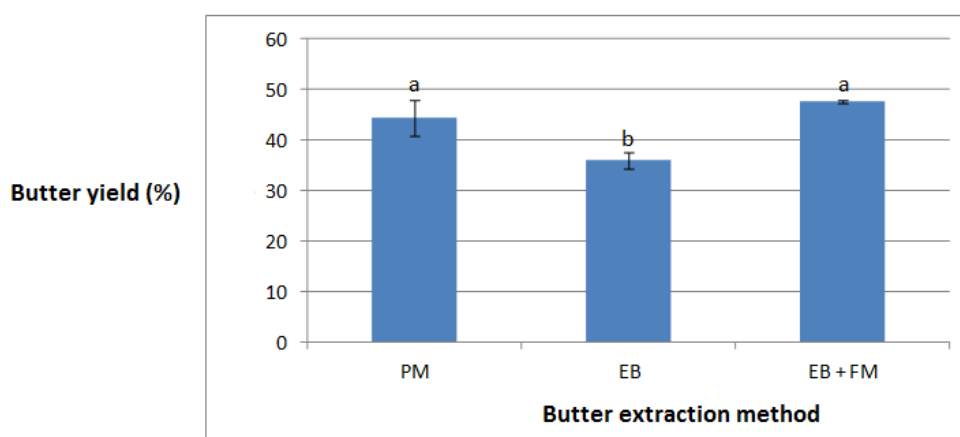


Fig.5: Variation of yields according to artisanal extraction methods. PM = method by mechanical press, EB = traditional method using boiled water and EB + FM = traditional method using boiled water plus mango leaves.

The yields of extraction processes range from $36.11 \pm 1.64\%$ for the traditional method using boiled water to $47.70 \pm 0.22\%$ for the traditional method using boiled water with Mango tree, passing through $44.35 \pm 3.513\%$ for the mechanical press. There is no significant difference between the yield of the mechanical press and the traditional method using mango leaves. On the other hand, these yields differ significantly from that of the traditional method with boiled water at the threshold of 0.05% (Figure 5). Press performance is similar to that of (Bernatchez, 2007) which is 32.3%. This is due to the loss of butter in the press bags, since the process is not under vacuum and this modification is costly (Bernatchez, 2007). Based on Mali's experience, the press can process 69-80 kg of seed per day with a yield of 30-35% or even 45% of fat (USAID, 2006). The use of mango leaves in the extraction of shea butter has substantially improved its yield. The leaves of Barkedjé, whose scientific name is *Hymenocardia acida*, are used in the preparation of cooking waters in the Northern and Far-North Provinces (Cameroon) and in Chad in order to improve the rate of extraction. The same is true for shea leaves to increase the extraction yield of butter (Nkouam, 2007). The butters obtained by the traditional processes are not very attractive in terms of food and cosmetics. This is due to their color and odor (Kassamba, 1997, Nianogo et al., 1997, PAF, 1999). Moreover, this manual process is painful and has a low extraction efficiency of 36% (Toe, 2004). The traditional process and storage conditions promote oxidation and hydrolysis, thus increasing the acidity, iodine and saponification index (Bernatchez, 2007). Manual presses produce butter with better physicochemical characteristics, although boiling with water to remove suspended solids raises the moisture content (Nkouam, 2007). In the Chadian markets, shea oil comes in two different forms: the so-called traditional black oil and the white barate oil. Black oil is considered to be of lower quality and therefore cheaper. It is used mainly for cooking at the household level. White oil is considered of better quality and sells more expensive. It is used for cooking but also cosmetic massage oil (Rongead, 2014).

4.3 PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS

Table II: Physico-chemical characteristics of shea butter

Parameters	valeurs
Water content (%)	5,646±0,105
Crud protein (%)	7,2±0,655
Total lipids (%)	52,886±1,240
Oleic acid (C18:1)%	49,526±3,090
Linoleic acid (C18: 2)%	48,716±3,735
Linolenic acid (C18: 3)%	5,843±0,386
Content of unsaponifiables (%)	1,653±0,105

The water content ($5,646 \pm 0,105\%$) is well above the WAEMU value ($0,05\%$) for unrefined shea butter of the first category. The critical quality parameter for shea butter is the moisture content which must be less than 0.05% for the first quality, but this value is very difficult to obtain for unrefined butter (Bernatchez, 2007). The premium unrefined organic shea butter (0.05%) is dedicated to the cosmetic and pharmaceutical industries and also consumed directly; Second quality ($0.06-0.2\%$), it is intended for the food industry (confectionery, chocolate, edible oil or as a basis for margarine); And third quality ($0.3-2\%$) can satisfy the needs of the soap industry (UEMOA, 2011). Low humidity levels are preferred (Bernatchez, 2007).

The values of the fatty acids obtained correspond generally to the UEMOA standards. These values are respectively: stearic acid ($49.526 \pm 3.090\%$) for a range of 25-50%; Oleic acid ($48.716 \pm 3.735\%$) for 36-62%; Linoleic acid ($5.843 \pm 0.386\%$) for 1-11%; And linolenic acid ($1.653 \pm 0.105\%$) for 1-11%. Similar fatty acid values were obtained respectively: stearic acid (45.5% and 44.44%) by Terpend, (1981) and Tano Debrah and Ohta, (1994); Oleic acid (42.5% and 42.41%) by Terpend, (1981) and Tano Debrah and Ohta, (1994); Linolenic acid (6.8% and 5.88%) by Terpend, (1981) and Tano Debrah and Ohta, (1994); And linolenic acid (0.1% and 1.66%) by Terpend, (1981) and Tano Debrah and Ohta, (1994). Other similar results are obtained by Mbaiguinam et al. (2007) for oleic acid 53.93% and stearic acid 31.15%.

The WAEMU unsaponifiable content for unrefined shea butter in the first category varies from 1-19%. The unsaponifiable content of our analyzes ($7.25 \pm 0.636\%$) is included in the WAEMU range. It falls within the range of 3.5 to 8.5% and 5 to 17% corresponding to the unsaponifiable levels of the shea butter of the *Poissoni* and *Mangifolia* varieties. It deviates from that of the *Nilotica* variety (2.5 to 3%) (Mensier, 1957). The difference between the levels of unsaponifiables is related to the variability of the origins of shea. In addition to variety, the degree of ripeness of fruits is also a factor on which the content of unsaponifiable matter depends (Mensier, 1957). The following levels of unsaponifiables are reported by Terpend, 1981 (3.5 to 17%) respectively; Tano Debrah and Ohta, 1994 (7.48%) and Kepseu et al., 2001 (5.9%). The following levels of unsaponifiables are reported by Terpend, 1981 (3.5 to 17%) respectively; Tano Debrah and Ohta, 1994 (7.48%) and Kepseu et al., 2001 (5.9%).

Crude protein values ($7.2 \pm 0.655\%$) and total lipids ($52.886 \pm 1.240\%$) are also appreciable. These protein values corroborate those of Duke and Atchley, 1986 (7.30%), Tano Debrah and Ohta, 1994 (7.81%) and Nkouam, 2007 ($6.14 \pm 0.27\%$). These authors found the total lipids of (52.60%), (59.04%) and $51.86 \pm 0.21\%$, respectively. Salunkhe and Desai, (1986) found a range of total lipid values ranging from 40 to 55% of shea butter.

5 CONCLUSION

Artisanal production of shea butter is one of the main activities and sources of income of women in the southern zone. This resource is available naturally but poorly and exploited with a low level of productivity and little known products. It is clear from this work that the chemical composition of shea butter in Chad is of high quality for cosmetics because of its high levels of unsaturated fatty acids and unsaponifiables. Currently, most of the butter is produced manually by women, which restricts production both qualitatively and quantitatively. The main obstacles to the good functioning of the shea sector in Chad are the difficulty of the tasks due to the craftsmanship of the techniques and the equipment used, the lack of professionalism of the actors and the lack of production credits for the storage of the nut or The supply of necessary equipment. The level of organization and development of the shea industry in the region is an incentive and incentive for operators at all levels. In order to have an impact on rural women, efforts to reduce the hardship of work and poverty must be made for the valorisation of this sector.

REFERENCES

- [1] AFNOR (French Association for Standardization), 1993. Compendium of French Standards, Oils, Oleaginous Seeds, Derivatives, 5th Edition, AFNOR, Paris, 136-140.
- [2] Anonyme, 1997. Shea, the white gold of African women. UNIFEM (United Nations Development Fund for Women), Dakar Regional Office, 41 p.
- [3] APROMA, 1995, Study of the shea sector of Burkina Faso, Volume 1: Main report. European Union, Delegation of the European Commission of Burkina Faso, Ouagadougou, 15-19.
- [4] Ata J.K.B.A., 1978, The study of the shea kernel in relation to the traditionnal process of shea fat, Ph.D. Thesis, University of Ghana, Legon-Accra.
- [5] Aye F.O. & Adomako D., 1987, Processing of shea fruits, rep. Cocoa Research Institute of Ghana. In: Tano-Debrah K. & Ohta Y., 1994. Enzyme-assisted aqueous extraction of fat from kernels of the shea tree, *Butyrospermum parkii*, J. Am. Soc. Flight. 7, No. 9, 979-983.
- [6] 2011. The history of the shea sector in Burkina Faso and the services offered by the technical and financial partners to the actors are presented by Badini Zacharie, Kaboré Moïse, van der Mheen-Sluijer Jennie and Vellema Sietze. WAGENINGENUR. VC4PD Research Paper, No. 11. The effects of unit extraction operations on the yield and quality of the extraction process are discussed. Butter of *Pentadesma butyacea* produced in traditional environment in Benin. Journal of Applied Biosciences 86: 7976-7989 ISSN 1997-5902
- [7] Bailey A.E., 1951, Industrial oils and fats products. In: Tano-Debrah K. & Ohta Y., 1995. Enzyme-assisted aqueous extraction. Soc. Flight. 72, No. 2, 251-256.
- [8] Bernatchez C., 2007. Improvement of the product quality and production processes of organic shea butter and logistics of operations in Africa: case of Burkina Faso. Memory in industrial engineering. University of Quebec at Trois-Rivières.
- [9] Cabinet for Prospective Studies in Agronomy and Management of the Environment (CEPAGE), 1999. Feasibility study of a project to support the shea sector in the southern zone of Chad, Final Report. Funded by the Agence Française de Développement AFD / Ministry of Water and Environment MEE.
- [10] CECI, 1998, Year II-Final report of training courses on improved techniques for the collection and packaging of shea nuts and kernels in the profile of 236 GVF in 16 provinces of Burkina Faso, CECI / PFK.
- [11] CECI, 2007. Shea. Technical specifications n° 16. Developpement@champagne-ardenne.cci.fr
- [12] CEPAGE, 1999. Study of the Shea Sector in Chad. Consultation Report, Ministry of Environment and Water (M.E.E.). 68 p.
- [13] Food protein: biochemistry, functional properties, nutritional value, chemical modifications, Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, 38. Chem. Soc. Flight. 7, 9, 979-983.
- [14] Codex Alimentarius, 1992, Joint FAO / WHO Food Standards Program, FAO, Rome, Italy.
- [15] Compaoré PN., 2000. Women, development and technology transfer. The case of shea presses in Burkina Faso. Doctoral Thesis, University of Montreal, Department of Sociology, Montreal.
- [16] CPCK (Shea Production and Marketing Center), 2006.
- [17] Dandjouma A. K. A., Adjia H. Z., Kameni A. and Tchiégang C., 2009. Traditional production processes and marketing circuit for shea butter in North Cameroon TROPICULTURA, 2009, 27, 1, 3-7.
- [18] Defez G., 1992, Treatment of shea butter. Stéarinerie Dubois Fils, 2 p. In: Kassamba B., 1997, Synthesis of known techniques of extraction and conditioning of shea butter in Burkina Faso. Final report. Shea sector project of CECI IRSAT. Ouagadougou, 3-9
- [19] Derbesy M. et al., 1979, Oilseeds vol. 34, No. 8-9. Pp. 405-409. In: Oils and fats manual, a comprehensive treatise, properties-production-Applications, volume 1. Ed. Karlesking A. & Wolff J.-P. TEC & DOC Lavoisier, Paris, 208-212.
- [20] Djekota C., Mouga M., Djimramadji A., Djelasse B., Mbayngone E., Maiga R. D., Rimgoto K. and Noubady D., 2014. Shear potential in Chad (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. Journal of Animal & Plant Sciences, 2014. Vol.23, Issue 3: 3646-3656.
- [21] Djekota C.N., 2008. Macromorphological characterization of *Butyrospermum parkii* (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn, subsp. *Paradoxa*) in the Mandoul region of Chad. Memory of D.E.A; University Cheikh Anta Diop, Dakar / Senegal.
- [22] Dupriez H. & De Leener P., 1987, Gardens and Orchards of Africa. Earth and Life - L'harmattan -Apica - Enda - CTA, 354 p.
- [23] Eyog Matig O., Gandé Gaoué O. and Dossou B., 2000. Forest genetic resources program in Africa south of the Sahara. Proceedings of the 1st meeting «Network Species Stratified Food», CNSF Ouagadougou. Ed. IPGRI. 231 p.
- [24] Eyog Matig O., Gaoué O. G. and Dossou B., editors. 2002. Network "Species Strains Food". Proceedings of the first Network meeting held 11-13 December 2000 at the CNSF Ouagadougou, Burkina Faso. International Institute of Plant Genetic Resources. ISBN 92-9043-552-6. IPGRI Regional Office for sub-Saharan Africa c / o ICRAF, P.O. Box 30677, Nairobi, Kenya
- [25] Faho Cyprien, 2003. Study of a Pilot Project to support the shea sector in Chad, Final Report. Study funded by UN / DESA-New Yo
- [26] FAO, 2001, Non-timber forest products in Africa: a regional and national overview. Working Paper FOPW / 01/1 (S. Walter, Ed.), Forestry Department, FAO, 303 p.

- [27] Hall J.B., Aebischer D.P., Tomlinson H.F., Osei Amaning E. and Hindle J.R., 1996. *Vitellaria paradoxa*. A monograph 105 pp. School of Agricultural and Forest Sciences, No. 8, University of Wales, Bangor.
- [28] Hall, J.B., Aebischer, D.P., Tomlinson, H.F., Osei-Amaning, E. and Hindle, J.R. 1996. *Vitellaria paradoxa*. In Monograph. School of Agricultural and Forest Sciences. University of Wales Bangor, United Kingdom, 105 p.
[Http://www.veillestrategique-champagne-ardenne.fr](http://www.veillestrategique-champagne-ardenne.fr)
- [29] INADES Formation, 2011. The Development Organizations of the Southern Zone (Middle Chari, Mandoul, Logone Oriental, Logone Occidentale, Tandjilé, Mayo-Kebbi- Est and Mayo Kebbi Ouest) regions of Chad. 11 p.
- [30] INSEED, 2009. Macroeconomic framework note. Forecasts for 2006-2009. Report of the Department of Economic Synthesis and Statistics, 109 pages.
- [31] IRAD, 2004, Annual Report 2003-2004, Service Agreement No. 1 / PH1 / ESA-SODECOTON-IRAD, 118 p.
- [32] Kapseu C., Womeni HM, Ndjouenkeu R., Tchouanguep MF and Parmentier M., 2005. Influence of almond processing methods on the quality of shea butter: processing of shea kernels This document is extracted from the PBA site: Processes Biological and Food Processes: <http://spip.cm.refer.org/pba1/article52.html>, © PBA: Biological and Food Processes, 30 May 2005.
- [33] KAPSEU C., 2006. Study of processing and preservation processes of shea kernel and palm kernel according to traditional methods and the impact of modern processes on these products, ENSAI (National School of Agro- Processes, Cameroon.
- [34] Kouyaté K., 1988, Situation of the shea sector in Burkina Faso. PFK, 71 p.
- [35] Lazano Y.F., Dhuique Mayer C., Bannon C. & Gaydou E.M., 1993, Unsaponifiable matter, total sterol and tocopherol contents of avocado oil varieties. J. Am. Oil Chem. Soc. 70, 561-565.
- [36] Lovett P. N., 2004. WATH shea butter supply chain analysis: Component one. West Africa Trade Hub, Accra, Ghana.
- [37] Mbayhoudel K., 2002. Situation of the shea sector in Chad. ITRAD, N'Djamena. International Workshop on the Treatment, Valorization and Trade of Shea in Africa. 162-166 p.
- [38] Mensier P.H., 1957, Dictionary of Vegetable Oils, Edition Paul Chevalier, Paris, 108-110.
- [39] Nianogo, A.J., Bougouma, B. and Tapsoba, B. 1997a. Manual shear presses in Burkina Faso. Study report. International Development Research Center; 39 p.
- [40] Nianogo, A.J., Bougouma, B. and Tapsoba, B. 1997b. Shea-powered presses in Burkina-Faso. Final report; CECI / Shea Fate Project, 15 p.
- [41] NKouam GB. 2007. Conservation of fruits of shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) And of the ale (*Canarium schweinfurthii* Engl.): Isotherms of water sorption and extraction of fat from stored fruits. Doctoral thesis Ph.D., University of Ngaoundéré, (ENSAI), Ngaoundéré (Cameroon), p. 286.
- [42] Nsongning Dongmo S., Womeni H.M., Tchouanguep Mbiapo F., Linder M., Fanni J., Zarnkow M., Becker T. (2014): Cooking and drying process optimization of shea (*butyrospermum parkii*) butter extraction. Czech J. Food Sci., 32: 578-584.
- [43] Perez, R., Ndoyé and Eyébé, A. 1999. The commercialization of non-timber forest products in the rain forest zone of Cameroon. *Unasylva*, 50 (3): 12-19.
- [44] Pseudoblastoma, 1992, Shea nuts, Aprima / Bimonthly Review 27-29, 8. In: Tano-Debrah K. & Ohta Y., 1994, Enzyme-assisted aqueous extraction of kernels of the shea tree, *Butyrospermum parkii*. J. Am. Oil
- [45] United Nations Development Program (UNDP), 2005. Development of Economic Opportunities for Women: The Shea Industry. Partners: Government of Chad, World Vision. 21 p.
- [46] Provost S., 1995, Study of the shea industry in Burkina Faso, April 1995.
- [47] Rongead, 2014. *Vitellaria paradoxa*, 21 pages.
- [48] SICAREX, 1999: "the shea industry". PAF
- [49] Tchobo FP, Natta AK, Barea B, Barouh N, Piombo G, Pina M, Villeneuve P, Soumanou MM, Sohounhloue DCK. 2007. Characterization of *Pentadesma butyracea* sabine Butters of different production regions in Benin. J. Am. Oil Chem. Soc., 84: 755-760.
- [50] Terpend, M. N., 1982: "The shea industry; Product of picking, luxury product. The Faim Développement files, February 1982 ", 91 p.
- [51] TOE Ella Innocente, Analysis of physico-chemical parameters of shea butter: comparison of traditional and laboratory extraction processes, Burkina Faso, July 2004.
- [52] UEMOA (West African Economic and Monetary Union), 2011. Specifications for non refined shea butter. ICS - 67. 13 p.
- [53] IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), 1979, Analytical Methods for Fats and Derivatives. 6th ed. Lavoisier Tec and Doc, Paris (France), 190 p.
- [54] UNIFEM, 1997: "From local to global, the international market for shea butter"
- [55] USAID (US Agency for International Development), 2006. Study on shea collection and processing in Guinea. Project Agricultural Marketing Strengthening Activity (ARCA). USAID / Guinea. Task Order No. 29
- [56] Van Tomme P., 1999. "FAO: Activities on Non-Wood Forest Products", OBIT, Tropical Forest Activities, Vol. 7, p. 25-33.

- [57] Effect of the cooking and drying of shea nuts (*Butyrospermum parkii* (G. Don) Kotschy) on the quality of butter (*Butyrospermum parkii* (G. Don) Kotschy) . TROPICULTURA, 2006, 24, 3, 175-182.
- [58] Ye S. F. Lebeau, Wathelet J. P., Leemans V. and Destain M. F., 2007 Study of the mechanical pressing parameters of almonds of *Vitellaria paradoxa* Gaertn C. F. (shea). Biotechnol. Agron. Soc. About., 11: 267-273.
- [59] Zida O.B. & Kolongo S.L., 1991, Seminar on forest statistics in Africa. FAO, Thiès (Senegal).

Caractérisation physico-chimique et biologique des eaux en zone périurbaine en Afrique équatoriale : cas de Ngoumou au Centre du Cameroun

[Physico-chemical and biological characterization of water in peri-urban areas in Equatorial Africa : case of Ngoumou in the Center of Cameroon]

AJEAGAH GIDEON AGHAINDUM¹, MBAINAISSEM MBAIMOU SERGE², NJIAWOUO POUNTIGNIGNI³, and NGAKOMO ROSE ANANGA³

Département de Biologie et Physiologie Animales,
Université de Yaoundé I, BP : 812, Yaoundé, Cameroun

Copyright © 2018 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: Populations located in peri-urban areas are often resigned to using groundwater and surface water as sources of drinking water without, however, worrying about their quality. In order to assess the quality of these waters, a study was carried out in the peri-urban area of Ngoumou. For this study, three sampling stations in the Ebongo stream and three wells were selected. Several physico-chemical variables coupled with biological variables were used to determine the quality of these waters. The analysis of the physicochemical variables reveals that these waters are acid, weakly mineralized and relatively well oxygenated. For biological analyzes, three biological components were used: bacteria, ciliate protozoa and benthic macroinvertebrates. Bacteriological analyzes show that these waters contain bacteria of fecal origin. A total of 698 ciliate individuals belonging to 3 classes, 7 orders and 19 families were harvested. The calculated Shen and Jiang biotic index shows a degradation of water quality from upstream to downstream. Concerning benthic macrofauna, 968 individuals belonging to 3 branches, 4 classes, 7 orders and 25 families were recorded. The Hilsenhoff biotic index reveals that the watercourse is of average to good ecological quality and degrades from upstream to downstream as a result of inputs from runoff and agricultural inputs.

KEYWORDS: bacteria, ciliates, macroinvertebrates, degradation, fecal contamination, water quality.

RESUME: Les populations situées dans les zones périurbaines sont souvent résignées à recourir aux eaux souterraines et aux eaux de surfaces comme sources d'approvisionnement en eau de consommation sans toutefois se préoccuper de leur qualité. Dans l'objectif d'évaluer la qualité de ces eaux, une étude a été menée dans la zone périurbaine de la Commune de Ngoumou. Pour cette étude, trois stations d'échantillonnages dans le cours d'eau Ebongo et trois puits ont été retenus. Plusieurs variables physico-chimiques couplées aux variables biologiques ont été utilisées pour statuer sur la qualité de ces eaux. L'analyse des variables physico-chimiques révèle que ces eaux sont acides, faiblement minéralisées et relativement bien oxygénées. Pour les analyses biologiques, trois composantes biologiques ont été utilisées : bactéries, protozoaires ciliés et macroinvertébrés benthiques. Des analyses bactériologiques, il en ressort que ces eaux hébergent des bactéries d'origine fécale. Un total de 698 individus de ciliés appartenant à 3 classes, 7 ordres et 19 familles ont été récoltés. L'indice biotique de Shen et Jiang calculé montre une dégradation de la qualité de l'eau de l'amont en aval. Concernant la macrofaune benthique, 968 individus appartenant à 3 embranchements, 4 classes, 7 ordres et 25 familles ont été recensés. L'indice biotique de Hilsenhoff révèle que le cours d'eau est de qualité écologique moyenne à bonne et se dégrade de l'amont en aval suite aux apports par les eaux de ruissellements et intrants agricoles.

MOTS-CLEFS: bactéries, ciliés, macroinvertébrés, dégradation, contamination fécale, qualité de l'eau.

1 INTRODUCTION

Les ressources en eaux destinées aux usages domestiques sont souvent sujettes à diverses pollutions. En effet, les hydrosystèmes sont souvent les principaux réceptacles de tous les polluants déversés dans l'environnement. Dans les grandes métropoles, l'existence des réseaux d'adduction en eau de consommation permet aux populations d'éviter un grand nombre de maladies liées à la consommation d'eau. Par ailleurs, les populations des zones rurales et périurbaines sont souvent résignées à faire recours aux eaux souterraines et aux eaux de surfaces comme principales sources d'approvisionnement en eau de consommation [1]. Cependant, l'utilisation de ces différentes ressources en eaux de qualité souvent douteuse expose ces populations à des risques sanitaires à court, à moyen et à long terme [2]. C'est dans cet ordre d'idée que la présente étude a été menée dans la zone périurbaine de la commune de Ngoumou afin d'évaluer la qualité de ses eaux par quelques variables physico-chimiques et quelques indicateurs biologiques de la qualité des eaux (bactéries, ciliés et macroinvertébrés benthiques) qui intègrent parfaitement les variations de la qualité de l'eau sur des périodes plus ou moins longues [3]. Depuis la plus haute Antiquité, chercher l'eau est un acte essentiel des êtres humains et la trouver assure pour un temps la survie. C'est une ressource naturelle précieuse, vitale et indispensable à l'Homme pour ses besoins alimentaires, ses activités agropastorales et industrielles [4]. La plupart des ressources en eau destinées aux usages domestiques, principalement l'alimentation, proviennent des cours d'eau. Ces derniers ne représentent que 1% des 2,5% de la quantité totale d'eau douce continentale [5], d'où la nécessité de les protéger pour une exploitation durable. En effet, les maladies liées à la consommation de l'eau constituent un fardeau majeur pour la santé publique et le principal risque est l'ingestion d'eau contaminée par les matières fécales contenant des agents pathogènes responsables des maladies diarrhéiques et fièvres entériques [6]. 1,1 milliard de personnes dans le monde entier comptent sur l'approvisionnement en eau à risque élevé de contamination fécale [7]. L'approvisionnement en eau douce devient de plus en plus difficile tant en raison du développement accéléré des techniques industrielles modernes que de l'accroissement de la population et de l'amélioration de son niveau de vie [8]. Ainsi, la forte urbanisation et l'intensification de l'agriculture sont à l'origine d'une production considérable des déchets solides et liquides qui dégradent la qualité de l'eau [9]. Les eaux souterraines résultent d'un processus d'infiltration vertical et horizontal des eaux de précipitation et de surface à travers les couches de sol et les fissures des roches ; la nature physico-chimique de ces eaux dépendra de la nature des couches traversées [10].

L'évaluation de la qualité de l'eau généralement utilisée repose essentiellement sur des méthodes physico-chimiques et bactériologiques. Dans le but de compléter le diagnostic sur la qualité de l'eau, des méthodes biologiques ont été introduites. En effet, certains organismes aquatiques intègrent parfaitement les variations de la qualité de l'eau sur des périodes plus ou moins longues [3]. A ce titre, ils se révèlent d'excellents bio-indicateurs et permettent de connaître l'impact de la pollution sur le milieu. Pour une gestion durable des milieux aquatiques face aux perturbations, des systèmes de surveillance de l'état d'intégrité ont été élaborés à l'aide des organismes aquatiques [11]. Au Cameroun, les études réalisées en zone périurbaine sur la communauté des macroinvertébrés benthique montre que la qualité de l'eau est légèrement acide et bien oxygéné avec une abondance d'Arthropodes témoignant une faible action anthropique [12]. De même, les travaux réalisés sur les eaux souterraines de Yaoundé révèlent que ces eaux hébergent une microflore bactérienne composée de bactéries d'origine fécale et des pathogènes opportunistes dont la dynamique et l'abondance subissent des variations spatio-temporelles [13]. Dans la commune de Ngoumou, aucune étude n'a encore été menée pour le suivi de la qualité des eaux aussi bien sur le plan physico-chimique que biologique. C'est dans cette optique que la présente étude est de caractériser la qualité des plans d'eaux situées en zone périurbaine de la commune de Ngoumou par des paramètres physiques, chimiques et biologiques. Plus spécifiquement, il s'est agi : de mesurer les principaux paramètres physico-chimiques afin de déterminer la qualité des eaux ; de dénombrer et d'identifier les macroinvertébrés benthiques et de protozoaires ciliés dans le cours d'eau ; d'isoler, de dénombrer et d'identifier les bactéries indicatrices de pollution organique d'origine fécale dans les puits et le cours d'eau ; de recourir aux indices biocénétiques pour statuer sur la qualité de ces eaux.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL

Le bassin versant d'Ebongo est situé dans la commune de Ngoumou limité au Nord par l'arrondissement de Mbankomo, au sud par celui d'Akono, à l'Est par les arrondissements de Makak et Bandjock. Le réseau hydrographique est constitué de tronçons, cette morphologie du réseau hydrographique souligne les facteurs empruntés de préférence par les rivières (Figure 1). Le bassin versant d'Ebongo est essentiellement occupé par une végétation de type forêt dense secondaire présentant par endroits des arbustes, des hautes herbes constituant le sous-bois, et alternant avec des espaces défrichés pour exploitation agricole de type traditionnel.

2.2 METHODES

2.2.1 VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES

La température a été mesurée in situ à l'aide d'un thermomètre électrique. Le pH, la conductivité électrique, les TDS, la salinité, le pourcentage de saturation en oxygène ont été mesurés à l'aide d'un multi paramètre de marque HANNA HI 9829 [14]. Le CO₂ a été fixé sur le terrain à l'aide de la phénolphtaléine et titré au laboratoire avec l'acide chlorhydrique. L'oxydabilité a été faite par volumétrie et titré au permanganate de potassium utilisant ainsi les matières organiques présentes dans l'eau. La teneur en nitrates, en orthophosphates, les MES et la turbidité ont été évalués par un spectrophotomètre de marque HACH DR / 3900.

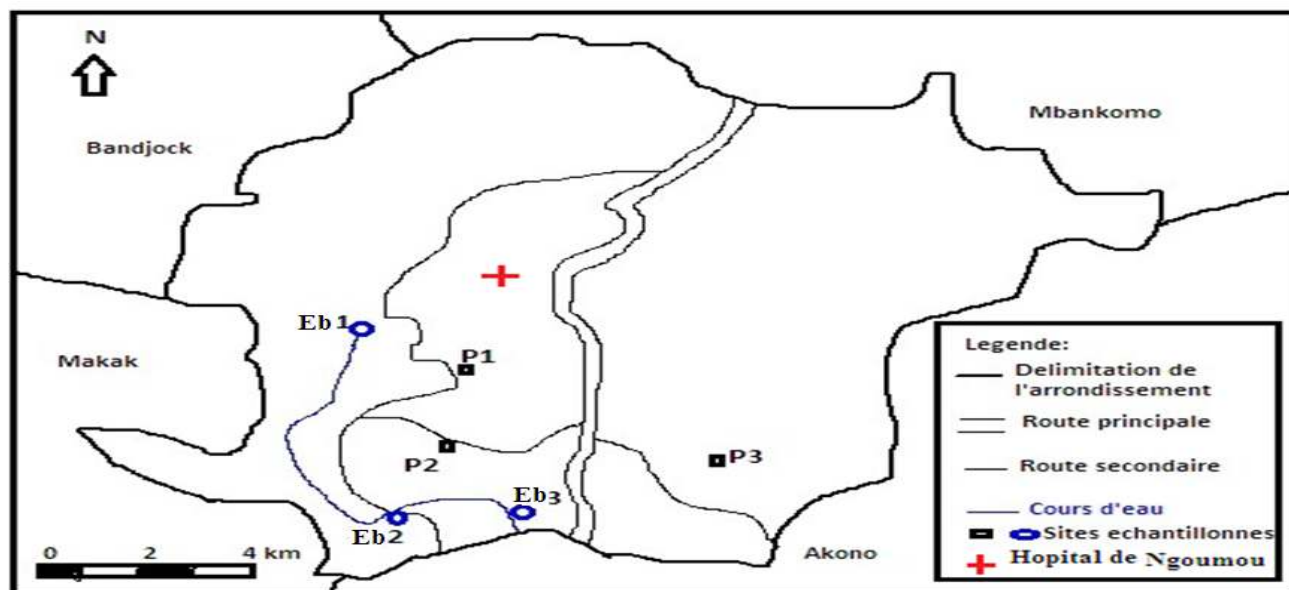


Figure 1 : Localisation des sites d'étude (source : carte topographique de l'INC, Yaoundé, Cameroun).

2.2.2 VARIABLES BIOLOGIQUES

2.2.2.1 BACTÉRIES

L'échantillonnage des microorganismes au niveau de chaque station s'est fait à l'aide des flacons en verre de 100ml préalablement stérilisés à 121°C pendant 15 minutes à l'autoclave. La recherche des germes s'est faite dans les 2 à 4 heures qui ont suivi les prélèvements [14].

2.2.2.2 CILIÉS

La récolte des protozoaires ciliés s'est effectuée au niveau des substrats morts des végétaux et au niveau des berges à l'aide d'un filet à plancton par la méthode de concentration de [15]. Les échantillons sont dénombrés au laboratoire sous une loupe binoculaire de marque WILD M5 et identifiés à l'aide des ouvrages [16],[17]et [18]. La technique d'imprégnation argentine [19] a été appliquée pour observer certaines structures cellulaires (cils, vacuole, noyaux...). L'indice de diversité [20] et l'indice de pollution de Shen et Jiang CPV (Community Pollution Value) ont été appliqués.

2.2.2.3 MACROINVERTÉBRÉS

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques s'est fait suivant l'approche multihabitat proposée[21] et adapté [22]. Les échantillons sont triés à l'aide des pinces entomologiques et fixés au formol 10% dans les piluliers et conservés à l'alcool 95% [23], [24], [25]. L'identification des taxons s'est faite sous une loupe binoculaire de marque WILD M5 et identifiés à l'aide des clés et ouvrages proposés [26] et [27]. L'indice de diversité de Shannon et Weaver et l'indice biotique de Hilsenhoff ont également été appliqués.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.1 VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES

Les résultats obtenus par les analyses physico-chimiques sont présentés en Tableau I. Les variations temporelles de la température sont de 23°C en grande saison des pluies et 29,85°C en petite saison des pluies dans le cours d'eau Ebongo. Ces résultats révèlent ainsi l'amplitude thermique entre les différentes saisons. Par contre, au niveau des puits, l'absence de couvercle rencontré au niveau du puits P2 et le faible niveau piézométrique à entrainer une forte élévation de température en petite saison des pluies (27,8°C) par rapport aux autres puits. Les valeurs moyennes des MES (9,16 mg/L), de la couleur (20,16 Pt. Co) et de la turbidité (1,42 FTU) rencontrées en amont (Eb1) sont relativement faibles dans le cours d'eau. Les valeurs moyennes du pH enregistrées tout au long de la période d'étude montrent que les eaux de la localité ont une tendance acide (6,00 UC pour le cours d'eau et 5,47 pour les puits). La conductivité électrique présente des faibles valeurs oscillant entre (40-132,5 µS/cm) dans le cours d'eau et (79- 171 µS/cm) dans les puits. Les analyses du pourcentage de saturation révèlent que les eaux de la localité sont relativement bien oxygénées avec des valeurs moyennes allant de 78,73% dans les puits et 77,10% dans le cours d'eau. Les teneurs en nitrates sont moins élevées à la station Eb1 (2,01 mg/L) et plus élevées à la station Eb3 (3,98 mg/L) tandis que les teneurs en orthophosphates sont fonction des saisons avec des teneurs plus élevées en grande saison des pluies tant au niveau des puits qu'au niveau du cours d'eau.

Tableau I : Valeurs saisonnières des variables physico-chimiques mesurées dans le cours d'eau Ebongo et les puits

Stations	Saison	T°C	pH	Conductivité	TDS	MES	Couleur	Turbidité	O2 %	Alcalinité	O ₂ mg/L	Co2	Nitrate	PO ₄ ³⁻	Oxydabilité	Salinité
Eb ₁	GSP	28	5,61	79,5	40	18	18	1,4	77,95	22	5,69	6,16	1,15	2,65	12,4	0,04
	GSS	25,45	5,88	132,5	69	5,5	25	1,88	75	43	4,79	23,76	1,95	0,23	2,7	0,05
	PSP	29,75	5,60	70	35	5	17,5	1	77,5	87	4,89	29,04	2,95	3,5	2,3	0,03
	Moyenne	27,73	5,69	93,66	48	9,5	20,16	1,42	76,81	50,66	5,12	19,65	2,01	2,12	5,8	0,04
	Ecart-type	2,49	0,52	33,67	18,35	7,36	4,19	0,44	1,58	33,17	0,49	11,98	0,90	1,69	5,71	0,01
Eb ₂	GSP	23	6,34	42	20,5	12,5	131	1,75	78,7	7	5,75	3,52	2,15	1,92	11,4	0,025
	GSS	24,3	6,33	91	45,5	22,5	163	6,67	76,8	32	4,64	44,88	5,05	0,87	5,55	0,04
	PSP	25,8	5,83	44	22,5	16,5	144,5	6,06	79,06	40	4,95	36,96	4,05	3,15	3,9	0,02
	Moyenne	24,36	6,16	59	35,08	17,16	146,16	4,82	78,18	26,33	5,11	28,45	5,62	1,98	6,95	0,028
	Ecart-type	1,40	0,29	27,73	13,89	5,03	16,06	2,68	1,21	17,21	0,57	21,95	1,47	1,14	3,94	0,01
Eb ₃	GSP	24,4	6,33	40	19,5	256	551,5	131,9	76,1	30	5,65	8,8	4	8,55	6,15	0,015
	GSS	24,15	6,39	63	31,5	54	270,5	27,36	75,54	47	4,5	44	11,65	0,44	3,75	0,03
	PSP	26,1	5,76	68,5	34	10,5	99	3,26	77,3	39	4,75	34,32	4	2,95	3,3	0,03
	Moyenne	24,88	6,16	57,16	28,33	106,8	307	54,17	76,31	38,66	4,96	29,04	6,55	3,98	4,4	0,035
	Ecart-type	1,06	0,34	15,11	7,75	131	228,4	68,38	0,89	8,50	0,60	18,18	4,41	4,15	1,53	0,01
P ₁	GSP	25,5	6,11	110	54,5	4	6	2,56	80,3	28	5,85	35,2	1,35	4,55	11,75	0,03
	GSS	25,85	6,15	179	89,5	2	18	2,42	78,71	29	5,28	31,68	2,6	0,44	4,4	0,085
	PSP	26,05	5,56	102,5	51	2,5	8	1,5	78	43	5,72	19,36	3,05	1,5	3,25	0,05
	Moyenne	25,8	5,94	130,5	65	2,83	10,66	2,16	79	33,33	5,61	28,74	2,33	2,16	6,46	0,055
	Ecart-type	1,20	0,32	42,16	21,28	1,04	6,42	0,57	1,17	8,38	0,29	8,31	0,88	2,15	4,61	0,02
P ₂	GSP	26	5,53	103,5	52	5	12	1	78,3	19	5,15	52,8	0,5	2,6	9,05	0,05
	GSS	25,5	5,49	171	85,5	4,5	20,5	1	78,76	25	5,08	34,32	1,85	0,17	5,35	0,08
	PSP	27,8	5,37	79	39,5	2	10	1	76,4	44	5,15	28,16	3,4	5,55	2,2	0,04
	Moyenne	26,43	5,46	117,83	59	3,83	14,16	1	77,82	29,33	5,12	38,42	1,91	2,77	5,53	0,05
	Ecart-type	1,20	0,08	47,64	23,78	1,60	5,57	0	1,25	13,05	0,04	12,82	1,45	2,69	3,42	0,02
P ₃	GSP	24	5,07	93,5	47	2,5	6	1	81,59	10	5,95	51,25	1,3	0,75	3,65	0,04
	GSS	24,2	5,15	141	70,5	3	12,5	2,8	79,32	25	5,42	39,6	1,9	0,21	3,05	0,065
	PSP	25,7	4,91	101,5	44,5	4,5	3,5	1	77,21	42	5,25	22	3,03	0,5	2,55	0,04
	Moyenne	24,63	5,04	112	54	3,33	7,33	1,6	79,37	25,66	5,54	37,61	2,07	0,48	3,08	0,048
	Ecart-type	0,9	0,12	25,43	14,34	1,04	3,43	1,03	2,19	16,01	0,36	14,72	0,87	0,27	0,55	0,01

3.1.2 VARIABLES BIOLOGIQUES

3.1.2.1 BACTÉRIES

Les abondances moyennes des Coliformes Totaux sont observés à la station Eb3 soit 1047×10^3 UFC/ 100 ml d'eau en grande saison des pluies alors que les Coliformes Fécaux sont plus abondants à la station Eb2 en grande saison sèche soit 6490×10^3 UFC/100 ml d'eau. De même, les abondances moyennes d'*Escherichia coli* ont été obtenues en grande saison sèche soit 457×10^3 UFC/100 ml d'eau dans le cours d'eau tandis que dans les puits *Escherichia coli* présente une abondance moyenne maximale au puits P2 soit 33×10^3 UFC/100 ml d'eau durant la même saison.

Tableau II: Abondances moyennes des bactéries par saison durant la période d'étude (Grande saison des pluies)

UFC / 100 mL Eaux Souterraines (Puits)				Eau de Surface (Cours d'eau)		
Stations	Puits 1	Puits 2	Puits 3	Station Eb1	Station Eb 2	Station Eb 3
Paramètres						
Coliformes Totaux	$3,6 \times 10^3$	301×10^3	20×10^3	$157,5 \times 10^3$	$1660,5 \times 10^3$	93×10^3
Coliformes Fécaux	$13,5 \times 10^3$	19×10^3	$151,5 \times 10^3$	2003×10^3	$105,5 \times 10^3$	665×10^3
<i>Escherichia Coli</i>	$5,5 \times 10^3$	$1,45 \times 10^3$	$1,05 \times 10^3$	$1000,5 \times 10^3$	$1451,5 \times 10^3$	$151,5 \times 10^3$

(Grande saison sèche)

UFC / 100 mL Eaux Souterraines (Puits)				Eau de Surface (Cours d'eau)		
Stations	Puits 1	Puits 2	Puits 3	Station Eb1	Station Eb2	Station Eb3
Paramètres						
Coliformes Totaux	67×10^3	$14,5 \times 10^3$	$4,5 \times 10^3$	24×10^3	$127,5 \times 10^3$	346×10^3
Coliformes Fécaux	$9,5 \times 10^3$	41×10^3	76×10^3	$18,5 \times 10^3$	3245×10^3	$215,5 \times 10^3$
<i>Escherichia Coli</i>	1×10^3	$16,5 \times 10^3$	$5,5 \times 10^3$	$5,5 \times 10^3$	$228,5 \times 10^3$	$50,5 \times 10^3$

(Petite saison des pluies)

UFC / 100 mL Eaux Souterraines (Puits)				Eau de Surface (Cours d'eau)		
Stations	Puits 1	Puits 2	Puits 3	Station Eb1	Station Eb 2	Station Eb3
Paramètres						
Coliformes Totaux	145×10^3	$64,5 \times 10^3$	28×10^3	45×10^3	$202,5 \times 10^3$	$523,5 \times 10^3$
Coliformes Fécaux	5×10^3	$3,5 \times 10^3$	$65,5 \times 10^3$	$49,5 \times 10^3$	$29,5 \times 10^3$	27×10^3
<i>Escherichia Coli</i>	0×10^3	2×10^3	2×10^3	$16,5 \times 10^3$	$14,5 \times 10^3$	22×10^3

3.1.2.2 CILIÉS

Un total de 698 individus de ciliés appartenant à 3 classes, 7 ordres, 19 familles ont été récoltés. La classe des Oligohymenophora a été la plus représentée avec 8 familles suivi par la classe des Polyhymenophora avec 6 familles et enfin

la classe des Kinetofragminophora avec 5 familles. Les espèces telles que *Loxodes kahli* et *Strombidium megannucleatum* n'apparaissent qu'en petite saison des pluies alors que *Spirostomum ambiguum* et *Trachehius ovum* sont présentes qu'en grande saison des pluies.

Tableau III : Densité des ciliés (ind/L) récolté pendant la période d'étude

Classes	Ordres	Familles	Taxons	Eb 1	Eb 2	Eb 3	Totaux
Kinetofragminophora	Prostomonadina	Prorodontidae	<i>Prorodon ovalis</i>	63	26	33	122
	Karyorelictida	Trachelidae	<i>Trachehius ovum</i>	3			3
		Amphileptidae	<i>Amphileptus quadrinucleatus</i>	6	3	1	10
		Loxodidae	<i>Loxodes rex</i>	1	5	1	7
			<i>Loxodes kahli</i>	1		1	2
	Trichostomatida	Colpidae	<i>Colpoda cucullus</i>	4	12	11	27
Oligohymenophora	Hymenostomatina	Tetrahymenidae	<i>Colpidium campylum</i>	13	13	23	49
		Parameciidae	<i>Paramecium africanum</i>	49	34	54	137
		Frontonidae	<i>Frontonia leucas</i>	9	4		13
		Urocentridae	<i>Urocentrum turbo</i>	13	2	3	18
		Neobursaridiidae	<i>Neobursaridium gigas</i>	1	1		2
		Lembadionidae	<i>Lembadion lucens</i>	5		1	6
		Vorticellidae	<i>Vorticella campanula</i>	15	12	10	37
	Scuticociliatida	Uronemidae	<i>Uronema acatum</i>	1	7	8	16
Polyhymenophora	Heterotrichida	Metopidae	<i>Metopus ovatus</i>	20	31	9	60
	Hypotrichida	Stentoridae	<i>Stentor magnum</i>	6	7	7	20
		Spirostomidae	<i>Spirostomum anbiguum</i>	6		2	8
		Caenomorphidae	<i>Caenomorpha nedusula</i>	6	0	5	11
		Strombididae	<i>Strombidium meganucleatum</i>	1		12	13
			<i>Hypotrichidium sp</i>		2	2	4
		Oxytrichidae	<i>Oxytricha chlorelligera</i>	33	11	5	49
			<i>Pleurotricha lanceolata</i>	7	3	18	28
			<i>Histriculus Histriculus</i>	14	10	15	39
			Totaux	278	186	234	698

3.1.2.3 MACROINVERTÉBRÉS BENTHIQUES

Au total, 968 individus repartis en 3 embranchements, 4 classes, 7 ordres et 25 familles ont été récoltés. L'embranchement des Arthropodes a été le plus représenté avec 96,80% de la macrofaune suivi de l'embranchement des Mollusques avec 2,79% et enfin l'embranchement des Annélides avec 0,41%. L'ordre des Hémiptères est représenté par 12 familles dont les plus représentées sont les Naucoridae (11,88%), les Nepidae (4,13%), les Belostomatidae (2,58%) et les Notonectidae (2,55%). Tableau IV : Abondance des familles des Macroinvertébrés benthiques aux différentes stations pendant la période d'étude. L'ordre des Coléoptères suit avec un total de 5 familles avec une dominance des Hydrophilidae (17,15%), et des Dystiscidae (16,63%). Les familles des Libellulidae (19,93%) et des Corduliidae (9,19%) dominent l'ordre des Odonates. L'embranchement des Mollusques est représenté que par les familles des Ampullariidae, des Sphaeriidae et des Thiaridae soit 2,79%. Les Lumbriculidae (0,41%) sont les seuls représentants de l'embranchement des Annélides.

Tableau IV : Abondance des différents taxa des macroinvertébrés récoltés dans les stations durant la période d'étude.

Embranchements	Classes	Ordres	S/orders	Familles	Genres ou especes	Eb1	Eb2	Eb3
Arthropodes	Insectes	Coleopteres		Haliplidae	<i>Peltodytes</i> sp	0	14	1
					<i>Halipus</i> sp	4	3	2
				Dystiscidae	<i>Laccophilus</i> sp	21	34	49
					<i>Hydrovatus</i> sp	14	6	20
					<i>Laccobius</i> sp	0	0	3
					<i>Philodites</i> sp	0	4	0
					<i>Methles</i> sp	0	0	3
					<i>Graphoderus</i> sp	4	0	0
					<i>Colembetes</i> sp	1	0	0
					<i>Hydaticus</i> sp	0	2	0
					<i>Hydroporus</i> sp	0	0	1
					<i>Eretes</i> sp	1	0	0
					<i>Maledema</i> sp	0	0	1
				Noteridae	<i>Neohydrocoptus</i> sp	1	0	0
					<i>Hydrocanthus</i> sp	8	24	2
				Gyrinidae	<i>Gyrinus</i> sp	0	1	0
				Hydrophilidae	<i>Helochaers</i> sp	9	3	57
					<i>Amphiops</i> sp	27	28	35
					<i>Hydrobius</i> sp	0	0	3
					<i>Hydrochara</i> sp	0	4	0
					<i>Crenetis</i> sp	0	0	3
					<i>Laccobius</i> sp	0	0	4
					<i>Enochrus</i> sp	0	0	9
					<i>Berosus</i> sp	1	0	0
		Hemipteres	Heteropteres	Nepidae	<i>Nepa</i> sp	19	1	4
					<i>Laccotrephes</i> sp	2	2	0
					<i>Nychia</i> sp	4	0	9
					<i>Ranatra linearis</i>	9	2	1
				Naucoridae	<i>Macrocoris</i> sp	5	1	2
					<i>Naucoris</i> sp	45	5	16
					<i>Naucoris obscuratus</i>	1	0	2
					<i>Ctenipocoris</i> sp	38	0	0
				Aphelocheiridae	<i>Aphelocheirus</i> sp	0	0	1
				Notonectidae	<i>Notonecta</i> sp	9	1	2
				Belostomatidae	<i>Diplonychus</i> sp	23	2	0
				Veliidae	<i>Rhagovelia</i> sp	5	0	0
					<i>Angilia</i> sp	0	1	5
					<i>Microvelia</i> sp	0	0	1
				Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i> sp	0	0	1
				Gerridae	<i>Gerris</i> sp	1	2	2
					<i>Auquius</i> sp	0	0	2
				Coroxidae	<i>Cymatia</i> sp	0	1	0
				Pleidae	<i>Plea</i> sp	1	0	0
				Hydrometridae	<i>Hydrometra</i> sp	0	8	0
				Aphelocheiridae	<i>Aphelocheirus</i> sp	0	0	1
		Ephemeropteres		Baetidae	<i>Baetis</i> sp	4	0	3
		Odonates	Anisopteres	Corduliidae	<i>Hemicordulia</i> sp	23	1	7
					<i>Phyllomacronia bifasciata</i>	13	0	1
					<i>Phyllomacronia</i> sp	13	0	1
					<i>Oxygastra curtisii</i>	0	0	2
					<i>Somatochlora proparte</i>	2	0	0
				Libellulidae	<i>Tetrathenis</i> sp	10	0	6
					<i>Libellula</i> sp	13	0	8
					<i>Orthetrum</i> sp	21	0	16

				<i>Nothiothenis</i> sp	6	0	3	
			Zygopteres	Coenagrinoïdae	<i>Coenagrion proparte</i>	5	0	1
		Dipteres		Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp	23	2	4
Mollusques	Bivalves	Eulamellibranches		Sphaeriidae	<i>Sphaerum</i> sp	0	4	5
	Gasteropodes	Mesogasteropodes		Ampullariidae	<i>Lanistes ovum</i>	0	5	4
				Thiaridae	<i>Melanoides tuberculata</i>	0	0	1
Annelides	Oligochetes			Lumbriculidae	<i>Lumbriculus</i> sp	0	1	2
Abondance total des taxa par station						486	220	262

3.1.3 RELATIONS STATISTIQUES ENTRE LES DIFFÉRENTES COMPOSANTES BIOLOGIQUES

Le test de Kruskal-Wallis réalisé à partir des différentes composantes biologiques montre qu'il existe des différences significatives entre l'abondance des ciliés et l'abondance des macro-invertébrés benthiques ($p < 0,01$), entre l'abondance des ciliés et l'abondance des bactéries ($p < 0,01$) et entre l'abondance des macroinvertébrés benthiques et l'abondance des bactéries ($p < 0,01$) au seuil de sécurité de 1% durant la période d'étude.

Tableau V: Cote d'appréciation de l'indice de Shen et Jiang

	Indice de Shen et Jiang	Appréciations
Stations d'échantillonnages		
Eb1	2,53	Eau non polluée consommable après traitement
Eb2	2,62	
Eb3	2,71	Eau légèrement polluée

Tableau VI : Cote d'appréciation de l'indice de Hilsenhoff

	Indice de Hilsenhoff	Appréciations
Stations d'échantillonnages		
Eb1	3,98	Très bonne : pollution organique possible
Eb2	5,93	Plutôt mauvaise : pollution organique substantielle
Eb3	4,76	Bonne : pollution organique probable

3.2 DISCUSSION

Les résultats des analyses physico-chimiques sont présentés sur le tableau I. La température de l'eau de surface est proche de la température ambiante (24°C). La forte valeur de la température rencontrée dans le puits P2 comparé aux autres puits pourrait s'expliquer par l'absence de couvercle et le faible niveau piézométrique exposant ainsi la masse d'eau aux rayonnements solaire. Les faibles valeurs de MES (9,16 mg/L), de la couleur (20,16Pt. Co) et de la turbidité (1,42 FTU) rencontrées en amont (Eb1) peuvent se traduire par l'absence d'affluent au niveau de cette station et la faible charge de l'eau en matière organique et inorganique. Ces valeurs augmentent de l'amont en aval et indiquent un gradient continu d'apport de la litière par les tributaires et les eaux de ruissellements corrélé à l'érosion fluviale et aux forts débits [28]. Les valeurs moyennes du pH rencontrées tout au long de la période d'étude tant au niveau du cours d'eau (6,00 UC) qu'au niveau des puits (5,47 UC) révèlent que les eaux de la localité sont acides. Ces résultats pourraient s'expliquer par la nature ferrallitique et latéritique de la localité. A ce titre, le pH d'une eau dépend de la nature du substrat [10]; [29]. Les faibles valeurs de la conductivité électrique rencontrées oscillant entre (40- 132 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dans le cours d'eau Ebongo et entre (79- 171 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les puits pourraient s'expliquer par la faible dégradation de la matière organique présente dans le milieu et traduirait le caractère peu pollué de ces eaux. Par ailleurs, les faibles valeurs de la conductivité électrique sont caractéristiques des ruisseaux et rivières coulant dans les vallées des régions montagneuses [30]. Les teneurs élevées en orthophosphates rencontrées en grande saisons des pluies et en petite saison des pluies dans le cours d'eau seraient dues aux apports par les eaux des tributaires. Le taux élevé en orthophosphates est attribué aux apports des nutriments par les eaux de ruissellements associés aux précipitations et au relargage du phosphore à partir des sédiments du fond lors des opérations de faucardage [31]. La présence des orthophosphates dans les puits serait due à la proximité de ces puits avec les fosses septiques et à l'absence de protection cas du puits P2. Les orthophosphates dans le milieu souterrain proviendraient des détergents voire des pollutions fécales qui arrivent dans le milieu souterrain par infiltration [32]. Les résultats des analyses bactériologiques

révèlent que les eaux de la localité hébergent des bactéries indicatrices de pollution organique d'origine fécale (CT, CF, *E. coli*). Par ailleurs, la présence d'*E. coli* durant toute la période d'étude dans le cours d'eau et dans les puits témoigne d'une contamination permanente et récente de ces eaux et sa densité est proportionnelle au degré de pollution par les matières fécales [33]. La contamination des eaux varie entre les types de sources, entre les pays et entre les zones rurales et urbaines [34].

Le calcul de l'indice biotique de Shen et Jiang réalisé au niveau de chaque station du cours d'eau traduit une dégradation de la qualité de l'eau lorsqu'on quitte de l'amont en aval. Ceci pourrait s'expliquer par les apports de la matière organique par les eaux de ruissellements au niveau des stations Eb2 et Eb3 rendant ainsi le milieu riche en matières organiques favorable au développement des ciliés. La prédominance des Arthropodes représentés exclusivement par la classe des insectes (98, 80% de la macrofaune récoltée) traduirait le caractère peu pollué du cours d'eau Ebongo. Les insectes aquatiques sont très sensibles à la pollution et/ou à la modification de l'habitat et sont de ce fait les premiers à disparaître dans un environnement perturbé [21]. La présence sporadique des Mollusques et Annélides dans les stations Eb2 et Eb3 témoigne d'un moindre indice de pollution du support aqueux. Les taxons les plus abondants des milieux pollués sont les Oligochètes, les Hirudinées et les Chironomidés [35]. Cependant, les variations saisonnières peuvent invalider la comparaison des résultats d'échantillonnage d'une station à l'autre. En effet, la structure des assemblages benthiques change lorsque leur environnement subit une perturbation, ce qui permet une meilleure caractérisation de la distribution spatio-temporelle de la pollution [36], [24]. A l'échelle spatiale, l'action anthropique menée au niveau de la station Eb2 (lessive, lavage d'engins) a eu une influence considérable sur la richesse taxonomique et sur la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques. Sur le plan temporel, la baisse des taxons pendant la petite saison des pluies peut s'expliquer par les changements hydrologiques résultant de la transition entre cette saison et la grande saison sèche. Le facteur saisonnier est favorable à l'alternance des groupes taxonomiques présents dans le milieu aquatique [37]. De toutes les saisons pris en compte, la grande saison sèche s'est montré la plus abondante et la plus diversifiée en taxons ceci pourrait s'expliquer par l'absence de crues en cette saison favorisant ainsi la multiplication et la stabilité des micro-habitats.

Sur le plan écologique, les différentes composantes biologiques étudiées permettent de nous renseigner sur l'état de santé des milieux aquatiques et se révèlent par conséquent comme de bons bio-indicateurs de la qualité des eaux [38]. Ces organismes permettent de façon sûre et pratique de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées [36]. Sur le plan trophique, ces organismes permettent le transfert de matière et d'énergie d'un niveau trophique à un autre. En effet, dans le milieu aquatique, les bactéries constituent une ressource importante pour les ciliés (zooplancton) qui sont les consommateurs primaires et qui assurent la régulation des populations d'algues par le phénomène de broutage [39]. De même, le zooplancton constitue une ressource importante pour les macroinvertébrés benthiques, maillon important dans la chaîne alimentaire aquatique puisqu'ils constituent la plus importante source d'alimentation de plusieurs espèces d'amphibiens, d'oiseaux et de poissons et de ce fait jouent un rôle clé dans les hydrosystèmes [40], [25].

4 CONCLUSION

Les hydro systèmes situés dans la zone périurbaine de la commune de Ngoumou sont sujets à diverses pollutions. Les puits, du fait de leur proximité avec les fosses septiques sont exposés à une pollution microbienne rendant ainsi l'eau impropre à la consommation nécessitant ainsi un traitement préalable avant consommation. La qualité de l'eau est un enjeu très important sur le plan environnemental, économique et socioculturel. Aussi, la gestion des écosystèmes aquatiques doit être efficace afin d'assurer un suivi rigoureux de la qualité de l'eau, de mettre en œuvre les actions favorisant la protection, le cas échéant la restauration de ces milieux. La pollution dans le cours Ebongo est beaucoup plus organique avec une augmentation des indices de minéralisation comme la conductivité électrique et l'alcalinité de l'amont en aval. Le calcul de l'indice biotique de Shen et Jiang réalisé à partir de la communauté des ciliés et de l'indice biotique de Hilsenhoff réalisé à partir de la communauté des macroinvertébrés benthiques montrent que le cours d'eau forestière est de bonne qualité écologique avec une diversité des composantes biologiques.

RÉFÉRENCES

- [1] Nola M., Njine T., Servais P., Messouli M., Boutin C., FotoMenbohan S., Kemka N et ZebazeTogouet S.H. 2003. Evaluation de l'adsorption de deux bactéries fécales par l'horizon argilo-sableux et quartzo-felspathique d'un sol ferrallitique au Cameroun (Afrique Centrale). *Journal Environnement Science*, 2 :383-393.
- [2] Traore A., Mulaudzi K., Chari G., Foord S., Mudau L., Bamard T et Potgieter N. 2016. The Impact of Human Activities on Microbial Quality of Rivers in the Vhembe District, South Africa. *International Journal of Environment Research and Public Health*, 8: 12-13.
- [3] Friedrich G., Chapman D. et A. Beim. 2001. The use of biological material. In D. Chapman, water quality assessment: a guide to the use of biota, sediment and water in environmental monitoring, *édition Chapman et Hall*, 171-238.
- [4] Neveu A., Riou C., Bonhomme R., 2001, L'eau dans l'espace rural vie et milieux aquatiques Édition Paris Institut national de la recherche agronomique DL 2001, cop. 2001 Collection Mieux comprendre 1144-7605
- [5] Saeijs H. L et Van Berkel M. S. 1995. Global water crisis: the major issue of the 21st century. A growing and explosive problem. *European Water Pollut Control*, 5: 26-40.
- [6] OMS, 2017, Maladies diarrhéiques, Aide-mémoire n°330
- [7] Bain R, Cronk R, Wright J, Yang H. Bartram J. 2014. Fecal contamination of drinking water in developing countries: a systematic review and meta-analysis. *PLoS Medicine*.
- [8] Mohamed OUKHOUYA, Etude de la valorisation agricole de deux composts d'ordures ménagères. Mémoire de troisième cycle, option sciences du sol, I.A.V HASSANII, (1999) p 26B.T.
- [9] Xiang Chen, Weiqi Zhou, Steward T. A. Pickett, Weifeng Li, Lijian Han Yu-Pin Lin, 2016, Spatial-Temporal Variations of Water Quality and Its Relationship to Land Use and Land Cover in Beijing, China, *Int J Environ Res Public Health*. 2016 May; 13(5): 449.
- [10] Nola M., Njine T., Monkiedje A., et Taillez R. 1999. Approche calorimétrique des eaux de la nappe phréatique superficielle de la ville de Yaoundé (Cameroun). *Microbiologie Hygiène Alimentaire*, 31: 9-13.
- [11] Hart, B. Maher & I. Lawrence, "New generation water quality guidelines for ecosystem protection", *Freshwater Biology*, 41, 347-359, 1999.
- [12] FotoMenbohan S, 2012. Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Mfoundi (Yaoundé) : Essai de biotypologie. Thèse de Doctorat d'État en Biologie des Organismes Animaux, Université de Yaoundé I. Cameroun, 175 p + annexes.
- [13] Nougang ME, Nola M, AtebaBessa H, TamatchoKweyang BP, Noah Ewoti OV, Moungang LM, 2011.. Prevalence of pathogenic strains of E.coli of urban streams in Cameroon. *Journal Applied Bioscience* 48: 3293-3305.
- [14] Rodier J. 2009. L'analyse de l'eau eaux résiduaires, eau de mer, 9^eed, DUNOD, Paris, 1579 p.
- [15] Fauré-Fremiet. E. 1958. Matériel pour la récolte du microplancton dans les mares et les étangs. *Hydrobiologia*, 12 (2/3) : 142-148.
- [16] Kahl A. 1933. Ciliata libera et ectocommensalia. In: GRIMP(GE.) et WAGLER(E.) ed. *der Nord-und Ostsee*. Lief, 23 : 29-146.
- [17] Dragesco J. 1970. Ciliés libres du Cameroun, *Annales. Faculté. Sciences. Yaoundé (Hors-série)*, 141 p.
- [18] Dragesco J., Dragesco-kerneis A. 1986. Ciliés libres de l'Afrique Intertropicale. Introduction à la connaissance et à l'étude des ciliés. Paris : Edition *OSTROM*, 559 p.
- [19] Fernandez- Galiano D. 1976. Silver impregnation of ciliated Protozoa: Procedure yielding good results with the pyridinated silver carbonate method. *Trans. Amer Microsc.* 95: 557-560.
- [20] Shannon C. E et W Weaver. 1984. The mathematical theory of communication. *University of Illinois press*, Urbana, 117 p.
- [21] Moisan J et L Pelletier. 2008. Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction de suivi de l'état de l'environnement, *Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs*, 86 p.
- [22] Barbour M. T., Gerritsen J., Snyder B. D. et J. B. Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in stream and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. 2nd edition, U. S. Environmental Protection Agency, office of water, Washington, D. C., EPA 841 – B – 99-002.
- [23] MDDEP. 2008. Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – cours d'eau peu profonds à substrat grossier, direction du suivi de l'état de l'environnement, MDDEP, 86 p.
- [24] Environnement Canada. 2013a. Macroinvertébrés benthiques. In *Environnement Canada*, Réseau canadien de biosurveillance aquatique : Manuel de terrain cours d'eau, 29 p.

- [25] Goaziou Y. 2004. Méthodes d'évaluation de l'intégrité biotique du milieu aquatique basée sur les Macroinvertébrés benthiques – Rapport de stage – *Environnement Québec*, Direction de suivi de l'état de l'environnement, 37 p.
- [26] Tachet H., Richoux P., Bournaud M. et P. Usseglio-Polatera. 2006. Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie et écologie. *CNRS édition, Paris*, 588 p.
- [27] Moisan J. 2010. Guide d'identification des principaux Macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, surveillance volontaire des cours peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, *Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des parcs*, 82 p.
- [28] Lecerf A. 2005. Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin : Etude du processus de décomposition des litières. Thèse de Doctorat. Université de Toulouse III, 159 p.
- [29] ZébazéTogouet S. H. 2000. Biodiversité et dynamique des populations zooplanctoniques (ciliés, rotifères, cladocères, copépodes) du Lac Municipal de Yaoundé (Cameroun), *Thèse de Doctorat de Troisième Cycle, Université de Yaoundé I Cameroun*, 175 p.
- [30] Verneaux J. 1973. Cours d'eau de Franche – Comté (massif du Jura): Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs – essai de biotypologie. *Thèse de Doctorat d'état, Faculté de Sciences, Université de Besançon*, 260 p.
- [31] Ajeagah G., Bikitbe J et Longo F. 2013. Qualité bioécologique d'un milieu lacustre hyper-eutrophisé en zone équatoriale (Afrique Centrale): peuplement de protozoaires ciliés et macroinvertébrés benthiques aquatiques. *Afrique Science*, 09 (2) :50-66.
- [32] ZébazéTogouet S. H., TuekamKayo R. P., Boutin C., Nola M., et FotoMenbohan S. 2011 : Impact de la pression anthropique sur l'eau et la faune aquatique des puits et sources de Yaoundé (Cameroun, Afrique Centrale). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 147: 27-41.
- [33] CEAEQ. 2000. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane. *Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec*, 24 p.
- [34] Robert B., Ryan C., Jim W., Hong Y., Tom S et Jamie B. 2014. Fecal contamination of drinking-water In low-and Middle Income countries. A systematic Review and Meta- Analysis. The water institute, University of North Carolina at Chapel Hill, North Carolina, United States of America, 4-14.
- [35] Sambra .2008. Eau et écosystème aquatique, des indicateurs. In CRE. Mauricie, L'agroenvironnement en Mauricie: les indicateurs de nos action, 14 p
- [36] Banaru D et Perez T. 2010. Bio-indicateurs - Biomarqueurs, notes de cours. Marseille, Université de Marseille, 15 p.
- [37] Sophie C., Claude C., Bernadette P., Genevieve P et Bontoux J. 1990. Evolution annuelle du peuplement zooplanctonique dans un lagunage a haut rendement et incidence du temps de séjour. *Revue des sciences de l'Eau*, 4 : 269-289.
- [38] Edberg S., Ew., Rice R.J., Karlin et Allen M .2000. *Escherchiacoli*: the best Biological drinking water, indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88: 106-116.
- [39] Bouzidi M., Youcef A., Ilhem A., Latreche A., Benyahia M., Bouguenaya N et Meliani H. 2010. Copépodes, Cladocères et Rotifères du lac Sidi M'hamed Benali (Algérie nord-occidentale). *Physio-Géographie*, 4 :69-85
- [40] Caquet T. 2012. Des invertébrés pour la bio-indication de la qualité des cours d'eau bilan et perspectives In Feixi, L, Bispo, A et Grand, C. Bio - indicateurs pour la caractérisation des sols, journée technique nationale, Paris, 7 : 30-39.

Dynamique spatio-saisonnière des diatomées benthiques sur différents substrats géologiques des rivières du Sud de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)

[Spatial and seasonal dynamic of benthic diatoms of geologic substrates of southern rivers Côte d'Ivoire (West Africa)]

Niamien-Ebrottié Julie Estelle, Seu-Anoï Netto Mireille, and Edia Oi Edia

Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2018 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 composition and relative abundance of the benthic diatoms of the rivers of southern Côte d'Ivoire were investigated during three climatic seasons (high dry season, high rainy season and small rainy season) in 43 stations on 28 rivers. Most samples taken from stones were treated with nitric acid. Of the 320 taxa inventoried, the most diverse genera are *Nitzschia* (43 taxa), *Navicula* (39 taxa) and *Eunotia* (33 taxa). The species commonly encountered in the samples vary according to the type of geological substratum. The relative abundances of diatoms of tertiary are significantly different from those of birrimian and granitoid. In addition, *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert. is more abundant during the rainy seasons compared to the high dry season whatever the substrate. Several indicator species of pollution were encountered abundantly in the sites studied. The type of geological substratum and the seasons must be taken into account in studies on the distribution of benthic diatoms in Côte d'Ivoire.

KEYWORDS: Diatoms, geological substratum, abundance, composition, Côte d'Ivoire.

RÉSUMÉ: La composition et l'abondance relative des diatomées benthiques des rivières du Sud de la Côte d'Ivoire ont été investigués pendant trois saisons climatiques (grande saison sèche, grande saison de pluies et petite saison de pluies) dans 43 stations sur 28 rivières. Les échantillons prélevés pour la plupart sur des pierres ont été traités à l'acide nitrique. Sur les 320 taxons inventoriés, les genres les plus diversifiés sont *Nitzschia* (43 taxons), *Navicula* (39 taxons) et *Eunotia* (33 taxons). Les espèces communément rencontrées dans les échantillons varient en fonction du type de substrat géologique. Les abondances relatives des diatomées du tertiaire sont significativement différentes de celles du birrimien et du granitoïde. De plus, *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert. est plus abondant pendant les saisons de pluies par rapport à la grande saison sèche quelque soit le substrat considéré. Plusieurs espèces indicatrices de pollutions ont été rencontrées abondamment dans les sites étudiés. Le type de substrat géologique et les saisons doivent être pris en compte dans les études sur la distribution des diatomées benthique en Côte d'Ivoire.

MOTS-CLEFS: Diatomées, substrat géologique, abondance, composition, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les diatomées sont des algues microscopiques unicellulaires dont la paroi est imprégnée de silice. La silice leur confère une grande résistance à la putréfaction, à la destruction acide et à la chaleur. Ce qui leur donne la capacité de coloniser tous les milieux aquatiques ou humides, à l'exception des plus salés et des plus chauds. Leur développement dépend de la

disponibilité de la silice et des nutriments, la stabilité de la colonne d'eau et de leur métabolisme qui modifie leur densité et leur aptitude à sédimenter et se fixer sur différents types de supports. En effet, la composition et l'abondance relative des diatomées dépendent de leurs affinités et préférences écologiques [1]. Cette variation exprimée au niveau spatial et temporel, est basée sur le climat, la géologie, la chimie de l'eau et la géomorphologie [2]. Toutes ses caractéristiques ont conduits à l'utilisation des diatomées comme indicateurs de la qualité des eaux de surfaces ([3] ; [4] ; [5] ; [6]). Pour cette utilisation, il est important d'avoir une bonne base de données sur la composition et l'écologie des diatomées, ce qui n'est pas le cas en Côte d'Ivoire, où les études sont peu nombreuses. Les travaux exclusifs sur les diatomées des cours d'eau sont ceux de [7] ; [8] et [9]. Les études des diatomées sur des substrats différents sont inexistantes. Il s'avère donc important d'appréhender cette option pour les diatomées benthiques qui sont directement influencées par la géologie des milieux. Cette étude a pour objectif de déterminer la composition et la structure des diatomées benthiques du sud de la Côte d'Ivoire sur trois substrats géologiques en relation avec le type d'occupation du bassin versant.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 LOCALISATION DU MILIEU D'ÉTUDE

La zone d'étude est localisée au Sud de la Côte d'Ivoire (figure 1). Elle s'étend de l'Est à l'Ouest sur une distance de 600 km environ. L'ensemble des bassins étudiés couvrent une superficie de 37592 km² avec une population d'environ 2 millions d'habitants. Elle est globalement située dans la partie forestière du pays. Dans cette étude le milieu a été scindé en quatre zones. Ce sont la zone du Sud-est, la zone du Banco, la zone du Centre-ouest et la zone du Sud-ouest. Le climat du milieu d'étude est de type équatorial humide. Il est caractérisé par deux saisons de pluies (une grande saison de pluies d'avril à juillet et une petite d'octobre à novembre) et deux saisons sèches (une petite d'août à septembre et une grande de décembre à mars). Du point de vue géologique, le substrat du milieu d'étude est dominé par les Granitoïdes au centre et à l'Ouest, le Birrimien à l'Est et le sédimentaire au Sud-est.

Les Granitoïdes regroupent des granites et des migmatites qui sont roches plutoniques. Ces roches sont dominées par du quartz et le feldspath au niveau minéralogique et en moyenne 70% de SiO₂ et 12 % Al₂O₃ pour ce qui est de la chimie. Le Birrimien est composé essentiellement de flysch caractérisé par environ 60% de SiO₂ et 25% de Al₂O₃. Le Tertiaire se résume au bassin sédimentaire qui se singularise par la présence quasi exclusif de quartz.

L'ensemble de la zone d'étude est caractérisé par des sols ferrallitiques fortement ou moyennement désaturés.

Sur l'ensemble des bassins étudiés les forêts occupent plus de 55% des surfaces explorées suivies des surfaces agricoles (38%) et les surfaces urbanisées ne représentent que 6% des bassins versants.

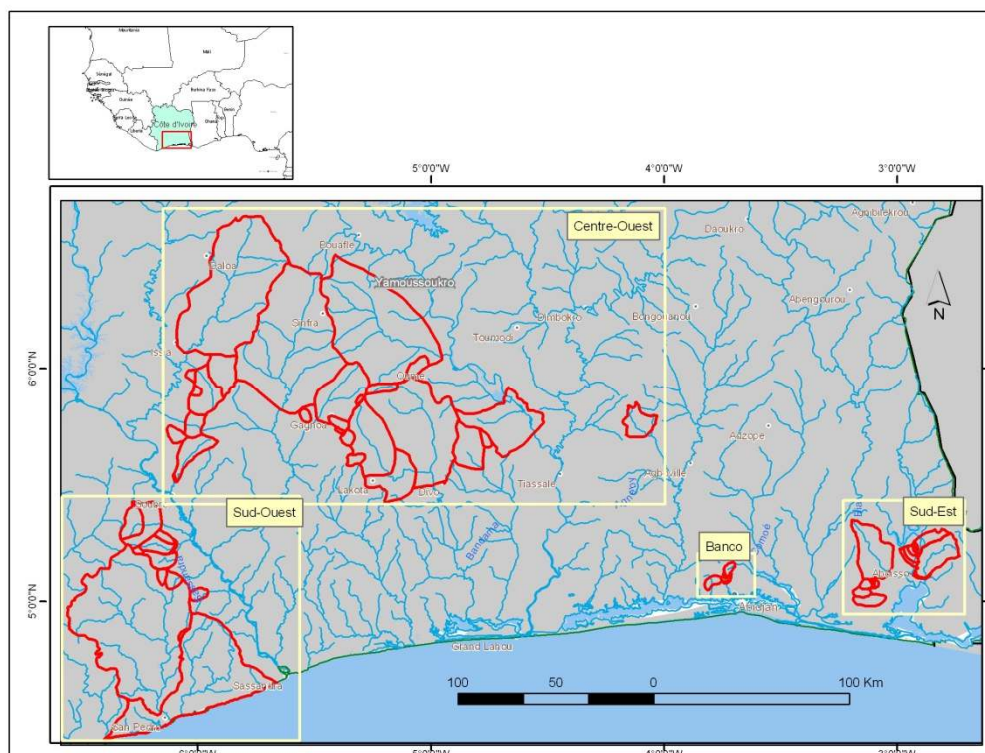


Figure 1 : Localisation du milieu d'étude

2.2 CHOIX DES SITES

Pour cette étude, un total de 43 stations réparties sur 28 rivières du Sud de la Côte d'Ivoire a été échantillonné. Les stations d'échantillonnage sont choisies de sortes à couvrir les trois différents substrats géologiques du milieu d'étude ainsi que les différents types de végétation. Pour chaque substrat donné, des stations de référence caractérisées par une absence de perturbation d'ordre anthropique et des stations situées dans les zones perturbées soit par les habitations, soit par les plantations soit par les industries agro-alimentaires ont été prises en compte. Ainsi, 13 stations ont été retenues sur le tertiaire (T1 à T13), 10 sur le Birrimien (B1 à B10) et 20 sur les Granitoides (G1 à G20). Les échantillonnages ont été effectués en juin et octobre 2005 et Février 2006. En fonction du mode d'occupation des sols des stations de prélèvements, on distingue :

- Station non ou faiblement anthropisé avec proportion de forêt supérieure à 80% (T1 ; T4 ; T9 ; T10 ; T11 ; T12 ; T13 ; B9 ; B10 ; B11 ; B12 ; B13 ; B14 ; G4 ; G5 ; G6 ; G7 ; G10 ; G19 ; G22) ;
- Station moyennement anthropisé avec une proportion de forêt comprise entre 80% et 50% (T2 ; T6 ; T8 ; B2 ; B5 ; B6 ; B7 ; B8 ; B17 ; G8 ; G9 ; G12 ; G13 ; G14 ; G16 ; G17 ; G18 ; G21) ;
- Station fortement anthropisée avec une proportion de forêt inférieure à 50% (T3 ; T5 ; T7 ; B3 ; B4 ; B15 ; B16 ; G1 ; G2 ; G10 ; G11 ; G15 ; G20 ; G23 ; G24 ; G25 ; G26 ; G27).

2.3 MESURE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUE

Divers appareils ont permis de mesurer les paramètres physico-chimiques. Un conductimètre de type SensoDirect, modèle CD 24 a été utilisé pour la détermination de la Conductivité (CND), du taux de solides dissous (TDS) et de la salinité. Un pH-mètre SensoDirect, modèle pH 24 a permis de mesurer le pH et la température de l'eau. L'oxygène dissous a été mesuré grâce à un oxymètre de type SensoDirect, modèle OX 24. Toutes ces mesures ont été faites in situ. Par ailleurs, un spectrophotomètre de marque SHIMADZU UV-1205 a servi à la détermination des formes de nitrites, de phosphates et d'ammonium selon la méthode [10]. En ce qui concerne les nitrates, un colorimètre (DR890) a été utilisé. Pour la localisation des stations, un navigateur GPS MLR SP12X a été utilisé.

2.4 PEUPLEMENT DIATOMIQUE

Les diatomées ont été prélevées sur des pierres sur une surface de 10 cm² et conservées dans des piluliers de 30 mL fixées avec du formol à la concentration finale de 5%. La systématique des diatomées étant basée sur l'ornementation des frustules, il est nécessaire de les débarrasser de la matière organique [11]. Dans cette étude, un traitement à l'acide nitrique a été réalisé. Une aliquote (5 mL) de l'échantillon préalablement homogénéisé est placée dans un tube en verre thermorésistant. Un même volume d'acide nitrique technique (40° Baumé) est ajouté et le tout est porté au feu sur une plaque chauffante jusqu'à élimination de toute la matière organique [3]. La préparation obtenue est purifiée par centrifugation à une vitesse minimale de 1500 tr/min pendant trois minutes. Quelques gouttes sont déposées sur une lamelle et séchées sur une plaque chauffante en veillant à avoir une répartition homogène du matériel [5]. Si la densité convient, une goutte de Naphrax est déposée sur une lame porte-objet. L'identification des taxons a été effectuée jusqu'au niveau spécifique ou infraspécifique à l'aide des travaux (clés et/ou description) de [12], [13], [14], [15], [5], [16], [9], [17] et [18]. Pour chaque échantillon, 400 valves et /ou frustules ont été comptés.

2.5 ANALYSE DU PEUPLEMENT

La diversité a été évaluée par l'indice de diversité de Shannon-Wiener (H') et l'équitabilité a permis d'étudier la régularité de la distribution des espèces. Le pourcentage d'occurrence (F) qui renseigne sur les préférences de milieu (habitat) d'une espèce donnée a été déterminé.

En fonction de la valeur de F , trois groupes d'espèces sont distingués :

- espèces constantes ($F \geq 50\%$) ;
- espèces accessoires ($25\% \leq F < 50\%$) ;
- espèces accidentelles ($F < 25\%$).

L'indice NNS' ou Navicula, Nitzschia, Surirella a été calculé. Cet indice donne des informations sur l'influence du courant sur les diatomées motiles. Il se calcule avec la formule suivante [19]:

$$NNS' = S_{Navicula} + S_{Nitzschia} + S_{Surirella} / S$$

2.6 TRAITEMENT STATISTIQUE

Les tests non paramétriques de Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney ont permis de mesurer le degré de variation des abondances relatives. Le test de Kruskal-Wallis a permis de tester la variabilité spatio-temporelle des abondances entre les différents groupes de stations. Le test de Mann-Whitney a ensuite été utilisé pour identifier les variations entre les groupes pris deux à deux. Les tests sont significatifs à $p < 0,05$. Toutes ces analyses ont été réalisées avec le logiciel R 3.1.3 [20].

3 RÉSULTATS

3.1 ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUE

Les variations inter-substrats géologiques des paramètres physico-chimiques sont non significatives, par contre au niveau intra-substrats des variations temporelles significatives sont notées pour tous les paramètres hors mis l'orthophosphate. La température au niveau du Tertiaire, varie entre 24,9°C et 30,1°C (Tableau 1). On note une différence significative ($p < 0,05$) entre la grande saison de pluies (GSP) et la petite saison de pluies (PSP) ainsi que la grande saison sèche (GSS) (Tableau 2). Pour le Birrimien, les valeurs de température enregistrées oscillent entre 23,7°C et 29,3°C. Pour les Granitoïdes, les températures fluctuent entre 24,2°C et 31,5°C. La température dans les stations de ses deux substrats ne varie pas significativement d'une saison à l'autre. Concernant l'oxygène dissous, les valeurs sont comprises entre 0,8 mg/L (9%) et 10 mg/L (126,8%) pour le Tertiaire, entre 0,4 mg/L (5%) et 7,3 mg/L (98,5%) pour le Birrimien et entre 0,3 mg/L (4%) et 7,3 mg/L (135,5%) pour le Granitoïdes. Selon le test de Mann Whitney, la variation de l'oxygène dissous est significative entre toutes les saisons pour les stations du Birrimien et entre la GSS et les autres saisons pour le Granitoïde. Pour ce qui est du pH, les valeurs enregistrées dans les rivières varient de 5,2 à 8,3 au niveau du Tertiaire, de 7,2 à 8,9 pour le Birrimien et de 6,8 à 8,5 au niveau du Granitoïde. Le pH varie significativement entre la GSP et les autres saisons au niveau du Tertiaire, entre la GSS et les GSP et PSP au niveau du Birrimien et entre la petite saison de pluies (PSP) et les autres saisons pour le Granitoïde. Les valeurs de la conductivité sont comprises entre 14,5 µS/cm et 185,2 µS/cm pour le Tertiaire, entre 60,3 µS/cm et 1010 µS/cm pour le Birrimien et entre 42,3 µS/cm et 2290 µS/cm pour les Granitoïdes où ces valeurs présentent une différence significative entre la grande saison de

pluies (GSP) et la petite saison de pluies (PSP). Les concentrations en nutriment sont consignées dans le tableau II. Les concentrations de nitrates oscillent entre 0 mg/L et 23,5mg/L pour les sites du Tertiaire entre 0,2 mg/L et 2,6 mg/L pour les sites du Birrimien et entre 0 mg/L et 4,9 mg/L pour les sites du Granitoïdes. Ces concentrations varient significativement entre la GSP et les autres saisons pour les différents substrats (Tableau IV). Au niveau des nitrites, les valeurs fluctuent entre 0 µgN-NO₂/l et 192,2 µgN-NO₂/l dans les eaux du Tertiaire, entre 3,4µgN-NO₂/l et 32,5 µgN-NO₂/l pour les eaux du Birrimien et entre 0 µgN-NO₂/l et 77µgN-NO₂/l pour les eaux du Granitoïdes. Ces valeurs diffèrent significativement entre la GSS et la PSP au niveau du Tertiaire et du Granitoïdes. Les concentrations en ammonium évoluent entre 0 mgN-NH₄/L et 1,2 mgN-NH₄/L au niveau du Tertiaire, entre 0 mgN-NH₄/L et 0,4 mgN-NH₄/L au niveau du Birrimien et entre 0 et 11,5 mgN-NH₄/L au niveau du Granitoïdes. Les deux derniers substrats présentent des variations significatives d'ammonium entre les différentes saisons de prélèvements. Quant à l'orthophosphates, les valeurs maximales sont de 969,5 µgP-PO₄/L, 485,9 µgP-PO₄/L et 5750 µgP-PO₄/L respectivement dans les eaux du Tertiaire, du Birrimien et du Granitoïdes. Dans ce même ordre, les valeurs minimales sont de 4 µgP-PO₄/L, 17 µgP-PO₄/L et 0 µgP-PO₄/L. L'orthophosphate ne présente aucune variation saisonnière significative.

Tableau 1: Variations des paramètres physico-chimiques aux différentes stations d'échantillonnages.

	Substrats Géologiques	Tertiaire			Birrimien			Granitoïdes		
	stations	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Temp (°C)	GSP	25,84	24,90	27,17	26,24	24,80	29,10	26,95	24,60	29,40
	PSP	27,00	25,35	29,20	27,05	26,10	29,30	27,07	24,20	30,30
	GSS	27,63	25,00	30,10	26,37	23,70	28,80	27,93	24,60	31,50
pH	GSP	5,97	5,19	8,28	8,04	7,77	8,90	7,53	6,76	8,30
	PSP	6,93	6,21	8,02	7,98	7,70	8,30	8,00	6,90	8,50
	GSS	6,47	5,75	7,28	7,41	7,20	7,71	7,55	7,28	8,20
Cond (µS/cm)	GSP	42,00	14,53	185,20	185,30	88,00	686,00	210,00	55,00	2290,00
	PSP	59,92	22,30	167,00	126,22	60,30	442,00	124,41	42,50	998,00
	GSS	40,24	20,50	146,50	228,90	80,00	1010,00	187,07	49,00	1742,00
O ₂ (mg/l)	GSP	3,29	0,88	7,88	2,90	1,34	4,15	3,49	0,63	6,16
	PSP	2,77	0,97	5,68	4,68	1,99	7,28	4,21	2,07	6,69
	GSS	4,70	0,80	9,95	0,73	0,40	1,00	1,25	0,30	3,66
O ₂ %	GSP	41,28	12,40	94,85	45,84	20,00	58,90	45,45	9,00	77,40
	PSP	36,51	10,40	71,90	70,37	54,20	88,70	58,01	33,10	93,00
	GSS	59,73	9,00	126,80	9,20	5,00	13,00	16,44	4,00	50,20
NO ₃ (mg/l)	GSP	0,21	0,00	2,10	0,32	0,20	0,70	0,21	0,00	0,90
	PSP	2,22	0,60	11,27	1,13	0,70	1,50	1,32	0,50	2,17
	GSS	4,48	0,85	23,50	1,54	0,20	2,60	1,83	0,40	4,90
NO ₂ (µg N- NO ₂ /l)	GSP	26,36	0,00	71,27	9,00	9,00	9,00	15,85	0,00	77,00
	PSP	18,22	0,00	87,05	9,23	3,41	19,77	8,60	0,23	20,45
	GSS	35,67	3,41	192,16	12,95	7,05	32,50	21,03	4,77	69,32
NH ₄ (mg N-NH ₄ /l)	GSP	0,17	0,01	0,67	0,04	0,01	0,23	1,07	0,01	11,50
	PSP	0,17	0,00	0,89	0,01	0,00	0,06	0,05	0,00	0,29
	GSS	0,21	0,00	1,17	0,20	0,09	0,36	0,20	0,00	0,57
PO ₄ ³⁻ (µg/l P-PO ₄ ³⁻)	GSP	138,83	4,00	969,51	93,50	17,00	340,00	476,61	4,00	5750,00
	PSP	141,49	11,58	597,48	138,88	23,42	485,95	134,69	0,00	805,62
	GSS	123,52	7,20	752,94	133,61	26,70	418,15	90,11	18,13	354,80

Temp : température ; Cond : conductivité ; O₂ : Oxygène dissous ; NO₃ : nitrates ; NO₂ : nitrites ; NH₄ : ammonium ; PO₄³⁻ : orthophosphates ; GSP : grande saison de pluies ; GSS : grande saison sèche ; PSP : petite saison de pluies ; Moy : moyenne ; Min : minimum ; Max : maximum.

Tableau 2 : Résultats des tests de comparaison des paramètres physico-chimiques entre les saisons

		Tertiaire			Birrimien			Granitoïdes		
		GSP	PSP	GSS	GSP	PSP	GSS	GSP	PSP	GSS
Température	GSP		*	NS		NS	NS		NS	NS
	PSP	*		NS	NS		NS	NS		NS
	GSS	*	NS		NS	NS		NS	NS	
pH	GSP		**	NS		NS	***		*	NS
	PSP	**		NS	NS		***	**		**
	GSS	*	NS		***	***		NS	***	
Conductivité	GSP		NS	NS		NS	NS		NS	NS
	PSP	NS		NS	NS		NS	*		NS
	GSS	NS	NS		NS	NS		NS	NS	
Oxygène dissous	GSP		NS	NS		*	**		NS	***
	PSP	NS		NS	*		***	NS		***
	GSS	NS	NS		***	***		***	***	
Nitrates	GSP		***	***		**	*		***	***
	PSP	**		NS	***		NS	***		NS
	GSS	***	NS		**	NS		***	NS	
Nitrites	GSP		NS	NS		NS	NS		NS	NS
	PSP	NS		NS	NS		NS	NS		*
	GSS	NS	*		NS	NS		NS	*	
Ammonium	GSP		NS	NS		*	*		*	*
	PSP	NS		NS	**		**	*		**
	GSS	NS	NS		*	**		*	**	
Orthophosphates	GSP		NS	NS		NS	NS		NS	NS
	PSP	NS		NS	NS		NS	NS		NS
	GSS	NS	NS		NS	NS		NS	NS	

GSP : grande saison de pluies ; GSS : grande saison sèche ; PSP : petite saison de pluies ; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$.

3.2 COMPOSITION DU PEUPELEMENT DIATOMIQUE

Au total 320 taxons de rang spécifiques et infra spécifiques, réparti en 64 genres. Les genres les plus diversifiés sont *Nitzschia* avec 43 taxons, *Navicula* avec 39 taxons et *Eunotia* avec 33 taxons. L'examen des échantillons par substrat géologique a permis de recenser 131 taxons sur l'ensemble des stations du Tertiaire, 193 au niveau des stations du Birrimien et 248 au niveau des stations situées sur les Granitoïdes.

Du point de vue générique, les eaux situées sur les Granitoïdes (60 genres) sont plus diversifiées que celles du Birrimien (48 genres) et du Tertiaire (44 genres). Les genres les plus diversifiés sont les *Nitzschia* (18 espèces), les *Eunotia* (15 espèces) et les *Navicula* (11) pour les eaux du Tertiaire. Pour les eaux du Birrimien, les *Navicula* et les *Nitzschia* avec 28 espèces chacune sont les plus diversifiés suivies des *Eunotia* (14 espèces). Au niveau des Granitoïdes, les *Navicula* (35 espèces), les *Nitzschia* (31 espèces) et les *Eunotia* (21 espèces) sont les genres qui renferment le plus grand nombre d'espèces. La richesse spécifique reste extrêmement variable, allant de 22 (G20) à 72 (G6) au niveau des stations situées sur les Granitoïdes, de 29 (B10) à 68 (B9) pour les stations du Birrimien et de 17 (T5) à 49 (T4, T9) pour le Tertiaire. L'analyse des échantillons permet aussi de constater que 4 espèces (*Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert., *Gomphonema parvulum* Kütz., *Navicula cryptocephala* Kütz. et *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm.) sont communes à toutes les stations du Birrimien et 2 espèces communes (*Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert. et *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm.) pour les Granitoïdes. Aucune espèce n'est commune aux stations du tertiaire.

Les résultats de l'analyse du peuplement en liaison avec le niveau d'anthropisation des sites (Tableau 3) révèlent que 94 espèces réparties en 34 genres ont été recensées au niveau des sites faiblement anthropisés du Tertiaire. Les sites moyennement anthropisés (58 espèces) et ceux fortement anthropisés (86 espèces) sont relativement pauvres en terme de diversité spécifique. Dans les différents sites, les espèces accidentelles représentent plus de 50% du nombre total d'espèces alors que les espèces accessoires et les espèces constantes ont des proportions avoisinant 20%.

Pour les sites situés sur le Birrimien et les Granitoïdes, le nombre d'espèces semble augmenter avec le niveau d'anthropisation. Le nombre d'espèce passe de 115 à 150 au niveau des sites Birrimien et de 117 à 216 pour les Granitoïdes. La distribution des espèces sur la base du taux occurrence au niveau de ces milieux est semblable à celle observée au niveau du Tertiaire à l'exemption des sites fortement anthropisés des Granitoïdes. Pour ce groupe de stations, les espèces constantes et les espèces accessoires renferment chacune 15,3% du nombre d'espèces total contre 69,4% pour les espèces accidentelles.

Tableau 3 : Caractéristiques du peuplement diatomiques en liaison avec le degré d'anthropisation des milieux.

Niveau d'anthropisation	Tertiaire			Birrimien			Granitoïde		
	F	M	E	F	M	E	F	M	E
Nombres d'espèces	94	58	86	115	115	150	117	123	216
Espèces communes	1	12	4	7	9	5	6	6	3
Espèces constantes	22,3	100	27,9	27	40,9	23,3	29,1	35,8	15,3
Espèces accessoires	24,5	0	18,6	19,1	59,1	27,3	26,5	64,2	15,3
Espèces accidentelles	53,2	0	53,5	53,9	0	49,3	44,4	0	69,4

3.3 VARIATION SPATIO-SAISONNIÈRE DES ABONDANCES RELATIVES

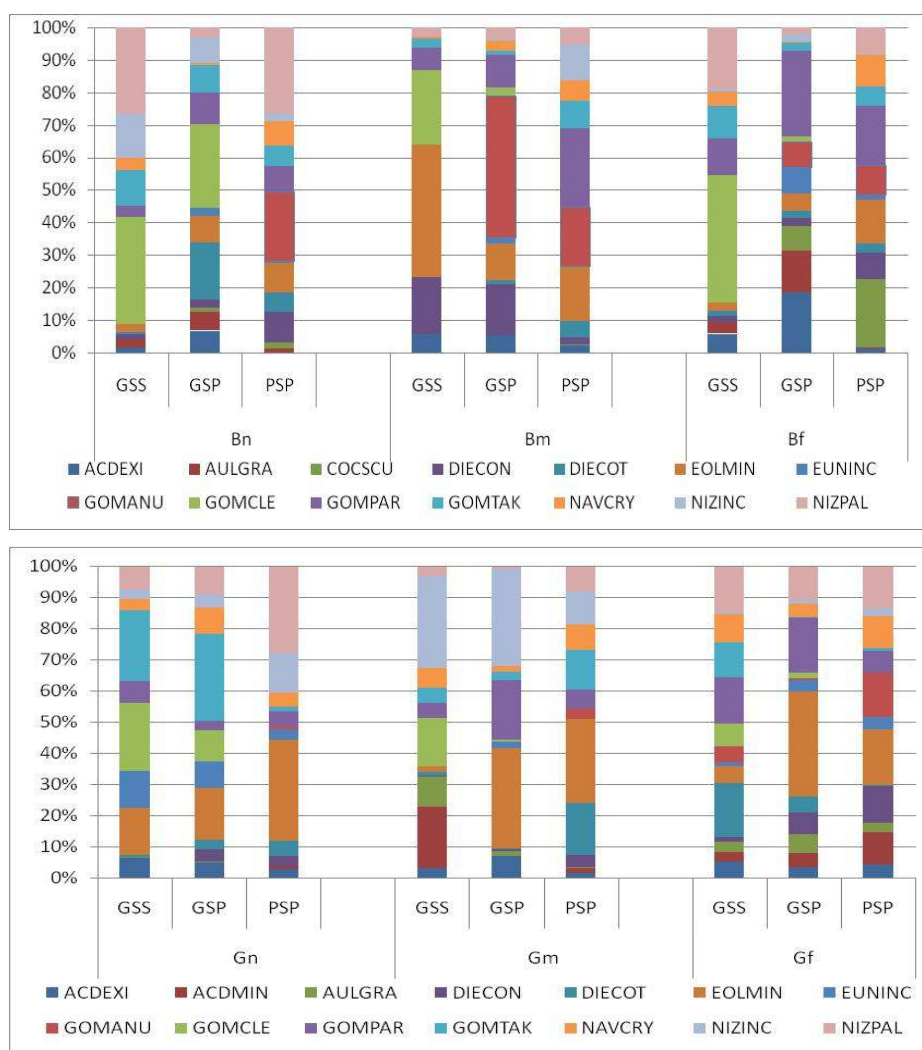
La figure 2 représente les variations spatio-saisonnières des abondances relatives des principales espèces dans les différents sites en fonction des substrats géologiques.

Relativement aux sites faiblement anthropisés du birrimien, les prélèvements de la grande saison sèche (GSS) sont dominés à 84% par quatre taxons. Il s'agit de *Gomphonema clevei* Fricke (32%), *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm. (27%), *Nitzschia inconspicua* Grunow (13%) et *Gomphosphenia tackei* (Hust.) Lange-Bert. (12%). Par contre, pendant les deux autres saisons, seules deux espèces ont des proportions supérieures à 10%. Ce sont *Gomphonema clevei* Fricke (26%) et *Diademesis contenta* (Grunow ex Van Heurck) D.G.Mann (20%) pour la grande saison des pluies et *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm. (28%) et *Gomphonema angustum* C.Agardh (22%) pour la petite saison des pluies. Au niveau des sites moyennement anthropisés, *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert. dont les proportions oscillent entre 10% (GSP) et 35% (GSS) et *Gomphonema angustum* C.Agardh ayant des pourcentages compris entre 18% (PSP) et 42% (GSP) constituent les espèces les plus importantes. En plus de ces espèces, *Gomphonema parvulum* Kütz. (maximum 22%, PSP) et *Diademesis confervacea* Kütz. (maximum 16%, GSP) présentent des proportions assez élevées. Pour ce qui est des sites fortement anthropisés, *Gomphonema clevei* Fricke (40%) et *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm. (19%) constituent les 2 espèces les plus importantes durant la grande saison sèche. Les échantillons de la grande saison des pluies sont caractérisés par une prédominance de *Gomphonema parvulum* Kütz., *Achnanthes exiguum* (Grunow) Czarn. et *Aulacoseira granulata* (Ehrenb.) Simonsen avec des proportions respectives de 25%, 18% et 12%. La petite saison des pluies est aussi marquée par l'abondance de *Cocconeis scutellum* Ehrenb. (20%), *Gomphonema parvulum* Kütz. (17%) et *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert. (14%).

Le peuplement diatomique des sites non ou faiblement anthropisés des Granitoïdes est caractérisé par une augmentation progressive des proportions des espèces telles *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert. (15 à 27%), *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm. (7% à 23%) et *Nitzschia inconspicua* Grunow (3% à 15%) de la grande saison sèche à la petite saison des pluies. A l'inverse, les proportions de *Eunotia incisa* W.Greg., *Achnanthes exiguum* (Grunow) Czarn et *Gomphonema clevei* Fricke baissent au cours de cette même période. En considérant les stations moyennement anthropisées, on note une dominance de *Nitzschia inconspicua* Grunow (25%) et de *Achnanthes minutissimum* (Kütz.) Czarn. (16%) pendant la grande saison sèche. Pendant la grande saison des pluies, le peuplement est marqué par la présence de *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert. et de *Nitzschia inconspicua* Grunow avec une proportion de 36% chacune. *Diademesis contenta* (Grunow ex Van Heurck) D.G.Mann apparaît dans les échantillons de la petite saison des pluies avec une proportion de 18% alors qu'elle était absente pendant les deux autres saisons. Concernant les sites fortement anthropisés, *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert. est présente dans le peuplement dans l'ordre de 5% à 38% respectivement pendant la grande saison sèche et la grande saison des pluies. Le pourcentage de représentation de *Gomphonema parvulum* Kütz. varie de 5% (PSP) à 18% (GSP) et celui de *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm. est compris entre 11% (GSP) et 16% (GSS).

L'évolution saisonnière du peuplement diatomique en liaison avec le degré d'anthropisation des sites situés sur le Tertiaire indique au niveau des sites faiblement perturbés, que le peuplement est constitué essentiellement de *Eunotia incisa* W.Greg. (40%) et *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm. (28%) pendant la grande saison sèche. *Diademesis contenta* (Grunow ex Van Heurck) avec des pourcentages de 32% et 46% prédomine respectivement les échantillons de la grande et de la petite saison des pluies. Pour les sites moyennement perturbés, l'espèce *Eunotia mucophila* (Lange-Bert. & Nörpel-Schempp) Lange-Bert. est la plus

importante en terme d'abondance relative pendant la grande saison sèche (55%) et la grande saison des pluies (73%). Cette espèce est remplacée par *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm. (28%), *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert. (17%) et *Gomphonema parvulum* Kütz. (15%) pendant la petite saison des pluies. Pour ce qui est des sites fortement perturbés, les prélèvements de la grande saison sèche sont marqués par une dominance de *Eunotia bilunaris* (Ehrenb.) Schaarschm. (37%), *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Sm. (26%) et *Pinnularia subcapitata* W.Greg. (10%). Le peuplement de la petite saison des pluies diffère de celui de la grande saison sèche par une augmentation du taux de *Diadmesmia contenta* (Grunow ex Van Heurck) (18%) et une forte diminution du pourcentage de *Eunotia bilunaris* (Ehrenb.) Schaarschm. (12%). Quant aux échantillons de la grande saison des pluies, elles sont caractérisées par 30% de *Pinnularia subcapitata* W.Greg, 17% de *Navicula cryptocephala* Kütz., 14% de *Gomphonema parvulum* Kütz. et 12% de *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert.



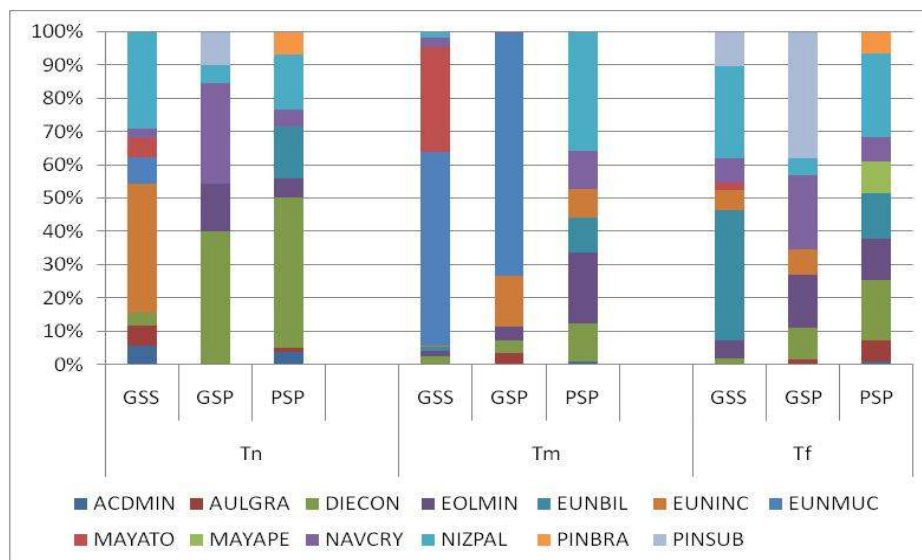


Figure 2 : Abondance relative moyennes des diatomées abondantes et fréquentes des stations situées sur le Birrimien, le granitoïdes et le Tertiaire (GSS = grande saison sèche ; GSP = grande saison des pluies ; PSP = petite saison des pluies ; Bn = Birrimien non anthropisé ; Bm = Birrimien moyennement anthropisé ; Bf = Birrimien fortement anthropisé ; Gn = Granitoïdes non anthropisé ; Gm = Granitoïdes moyennement anthropisé ; Gf = Granitoïdes fortement anthropisé ; Tn = Tertiaire non anthropisé ; Tm = tertiaire moyennement anthropisé ; Tf = tertiaire fortement anthropisé) ; ACDMIN : Achnantheidium exiguum ; ACDMIN : Achnantheidium munitissimum ; AULGRA : Aulacoseira granulata ; DIECON : Diadeseis confervacea ; EOLMIN : Eolimna minima ; EUNBIL : Eunotia bilunaris ; EUNINC : Eunotia incisa ; EUNMUC : Eunotia mucophila ; GOMANU : Gomphonema angustum ; GOMCLE : Gomphonema clevei ; GOMPAR : Gomphonema parvulum ; GOMTAK : Gomphosphenia tackei ; MAYAPE : Mayamaea atomus var. permissus ; MAYATO : Mayamaea atomus ; NAVCRY : Navicula cryptocephala ; NIZPAL : Nitzschia inconspicua ; NIZPAL : Nitzschia palea ; PINBRA : Pinnularia braunii ; PINSUB : Pinnularia subcapitata.

Les résultats du test de Mann-Whitney des abondances relatives des diatomées montre que les différences observées entre les stations situées sur le Birrimien et les Granitoïdes ne sont pas significatives ($p > 0,05$). Par contre, les stations situées sur le Birrimien et les Granitoïdes sont significativement différentes de celles situées sur le Tertiaire (tableau 4). Cette différence est liée à l'abondance relative des espèces telles : *Achnantheidium exiguum* (Grunow) Czarn., *Diadeseis confervacea* Kütz., *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert., *Gomphonema parvulum* Kütz., *Gomphosphenia tackei* (Hust.) Lange-Bert. et *Nitzschia inconspicua* Grunow. La comparaison des différents milieux en fonction de leur degré d'anthropisation (tableau 5) révèle que, les variations sont peu marquées. Cependant, au niveau du Birrimien, l'abondance de l'espèce *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czarn. obtenue dans les sites moyennement anthropisés sont supérieures à celle des sites non anthropisés. Pour les Granitoïdes, les fluctuations des abondances relatives des espèces comme *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czarn., *Gomphosphenia tackei* (Hust.) Lange-Bert. et *Nitzschia inconspicua* Grunow observées dans les sites non anthropisés sont nettement différentes de celles des sites fortement anthropisés.

Relativement aux variations saisonnières de l'abondance des diatomées, on note en générale une fluctuation peu importante indépendamment de la géologie du milieu et du niveau d'anthropisation des sites étudiés (Tableau 6). Contrairement à la majorité des principales espèces, le nombre de *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bert. varie significativement d'une saison à l'autre au niveau de la quasi-totalité des sites géologiques. En plus de cette espèce, au niveau des sites fortement anthropisés du Birrimien, les abondances relatives de quatre espèces varient fortement de la grande saison sèche à la petite saison des pluies. Il s'agit notamment de *Diadeseis contenta* (Grunow ex Van Heurck) D.G.Mann, *Gomphonema angustum* C.Agardh, *Gomphonema parvulum* Kütz. et *Navicula cryptocephala* Kütz.. Entre ces deux saisons, le nombre des espèces telles que *Cocconeis scutellum* Ehrenb., *Diadeseis contenta* (Grunow ex Van Heurck) D.G.Mann et *Eunotia incisa* W.Greg. change considérablement au niveau des sites fortement perturbés des Granitoïdes.

Tableau 4 : Résultats du test Mann-Whitney comparant les variations inter-substrats géologiques des abondances relatives des principales espèces de diatomées

Comparaison	Acee	Acmi	Augr	Cosc	Cyoc	Dicf	Dico	Eomi	Eubi	Euin	Eumu	Goan	Gocl	Gopa	Gota	Maap	Maat	Nacr	Niin	Nipa	Pibr	Pisu
Birimien / Granitoïdes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Birimien / Tertiaire	++	-	-	-	-	++	-	++	-	-	-	++	-	++	++	-	-	-	++	-	-	-
Granitoïdes / Tertiaire	++	++	-	-	-	++	-	++	-	-	-	-	++	++	++	-	-	-	++	-	-	-

- : $p > 0,05$; ++ : $p < 0,05$; Acee : *Achnantheridium exiguum*; Acmi : *Achnantheridium munitissimum*; Augr : *Aulacoseira granulata*; Cosc : *Cocconeis scutellum*; Cyoc : *Cyclotella ocellata*; Dicf : *Diademes confervacea*; Dico : *Diademes contenta*; Eomi : *Eolimna minima*; Eubi : *Eunotia bilunaris*; Euin : *Eunotia incisa*; Eumu : *Eunotia mucophila*; Goan : *Gomphonema angustum*; Gocl : *Gomphonema clevei*; Gopa : *Gomphonema parvulum*; Gota : *Gomphonema tackei*; Maap : *Mayamaea atomus* var. *permitis*; Maat : *Mayamaea atomus*; Nacr : *Navicula cryptocephala*; Niin : *Nitzschia inconspicua*; Nipa : *Nitzschia palea*; Pibr : *Pinnularia braunii*; Pisu : *Pinnularia subcapitata*.

Tableau 5 : Résultats du test Mann-Whitney comparant les variations des abondances relatives des principales espèces de diatomées en fonction du degré anthropisation des sites.

Géologie	Comparaison	Acee	Acmi	Augr	Cosc	Cyoc	Dicf	Dico	Eomi	Eubi	Euin	Eumu	Goan	Gocl	Gopa	Gota	Maap	Maat	Nacr	Niin	Nipa	Pibr	Pisu
Birimien	Non / moyennement	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Non / fortement	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyennement / fortement	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Granitoïdes	Non / moyennement	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Non / fortement	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	++	-	-	-
	moyennement / fortement	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tertiaire	Non / moyennement	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Non / fortement	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyennement / fortement	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- : $p > 0,05$; ++ : $p < 0,05$; Acee : *Achnantheridium exiguum*; Acmi : *Achnantheridium munitissimum*; Augr : *Aulacoseira granulata*; Cosc : *Cocconeis scutellum*; Cyoc : *Cyclotella ocellata*; Dicf : *Diademes confervacea*; Dico : *Diademes contenta*; Eomi : *Eolimna minima*; Eubi : *Eunotia bilunaris*; Euin : *Eunotia incisa*; Eumu : *Eunotia mucophila*; Goan : *Gomphonema angustum*; Gocl : *Gomphonema clevei*; Gopa : *Gomphonema parvulum*; Gota : *Gomphonema tackei*; Maap : *Mayamaea atomus* var. *permitis*; Maat : *Mayamaea atomus*; Nacr : *Navicula cryptocephala*; Niin : *Nitzschia inconspicua*; Nipa : *Nitzschia palea*; Pibr : *Pinnularia braunii*; Pisu : *Pinnularia subcapitata*.

Tableau VII : Résultats du test Mann-Whitney comparant les variations saisonnières des abondances relatives des principales espèces de diatomées dans les différents sites.

Géologie	Sites	Comparaison	Acee	Acmi	Augr	Cosc	Cyoc	Dicf	Dico	Eomi	Eubi	Euin	Eumu	Goan	Gocl	Gopa	Gota	Maap	Maat	Nacr	Niin	Nipa	Pibr	Pisu	
Birimien	fortement anthropisés	GSS/GSP	-	-	-	-	-	-	-	++	++	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GSS/PSP	-	-	-	-	-	-	++	++	-	-	-	-	++	-	++	-	-	-	++	-	-	-	-
		GSP/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-
	moyennement anthropisés	GSS/GSP	-	++	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSS/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-
		GSP/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	non anthropisés	GSS/GSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSS/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSP/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-
Granitoïdes	fortement anthropisés	GSS/GSP	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GSS/PSP	-	-	-	++	-	-	++	++	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GSP/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	moyennement anthropisés	GSS/GSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSS/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSP/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	non anthropisés	GSS/GSP	-	-	-	-	-	-	++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSS/PSP	-	-	-	-	-	-	-	++	++	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSP/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tertiaire	fortement anthropisés	GSS/GSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		GSS/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	
		GSP/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	moyennement anthropisés	GSS/GSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSS/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSP/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	non anthropisés	GSS/GSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSS/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		GSP/PSP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- : $p > 0,05$; ++ : $p < 0,05$; PSP=petite saison des pluies, GSP= grande saison des pluies, GSS= grande saison sèche; Acee : *Achnantheridium exiguum*; Acmi : *Achnantheridium munitissimum*; Augr : *Aulacoseira granulata*; Cosc : *Cocconeis scutellum*; Cyoc : *Cyclotella ocellata*; Dicf : *Diademes confervacea*; Dico : *Diademes contenta*; Eomi : *Eolimna minima*; Eubi : *Eunotia bilunaris*; Euin : *Eunotia incisa*; Eumu : *Eunotia mucophila*; Goan : *Gomphonema angustum*; Gocl : *Gomphonema clevei*; Gopa : *Gomphonema parvulum*; Gota : *Gomphonema tackei*; Maap : *Mayamaea atomus* var. *permitis*; Maat : *Mayamaea atomus*; Nacr : *Navicula cryptocephala*; Niin : *Nitzschia inconspicua*; Nipa : *Nitzschia palea*; Pibr : *Pinnularia braunii*; Pisu : *Pinnularia subcapitata*.

Les variations de l'indice de diversité (H') et de l'équitabilité (E) des stations des différents cours d'eau sont représentées par la figure 3. En ce qui concerne les sites du Birrimien (figure 3 A), les valeurs de l'indice de diversité et l'équitabilité évoluent dans le même sens. Les valeurs maximales de 2,61 bits/cellules (indices de diversité) et 0,81 (équitabilité) sont notées pendant la petite saison de pluies dans les sites moyennement anthropisés. Les valeurs minimales sont rencontrées dans ces mêmes sites pendant la grande saison sèche (H : 1,95 bits/cellules ; E : 0,58).

Concernant les eaux du granitoïdes (Figure 3 B), les sites moyennement perturbés, présentent les plus faibles valeurs de l'indice de diversité (2,07 bits/cellule) et de l'équitabilité (0,66) pendant la grande saison des pluies. Par contre, les plus fortes valeurs ont été enregistrées pendant la petite saison des pluies pour l'indice de diversité (2,97 bits/cellule) et pendant la grande saison sèche pour l'équitabilité (0,84).

Au niveau des eaux du tertiaire (Figure 3 C), les valeurs de la diversité spécifique (H') et de l'équitabilité sont faibles pendant la grande saison sèche respectivement dans les sites non anthropisés (1,47 bits/cellule) et moyennement anthropisés (0,52). Les fortes valeurs de ses indices sont rencontrés dans les sites moyennement anthropisés pendant la petite saison de pluies pour l'indice de diversité (2,87 bits/cellule) et dans les sites non anthropisés pendant la grande saison de pluies pour l'équitabilité (0,9).

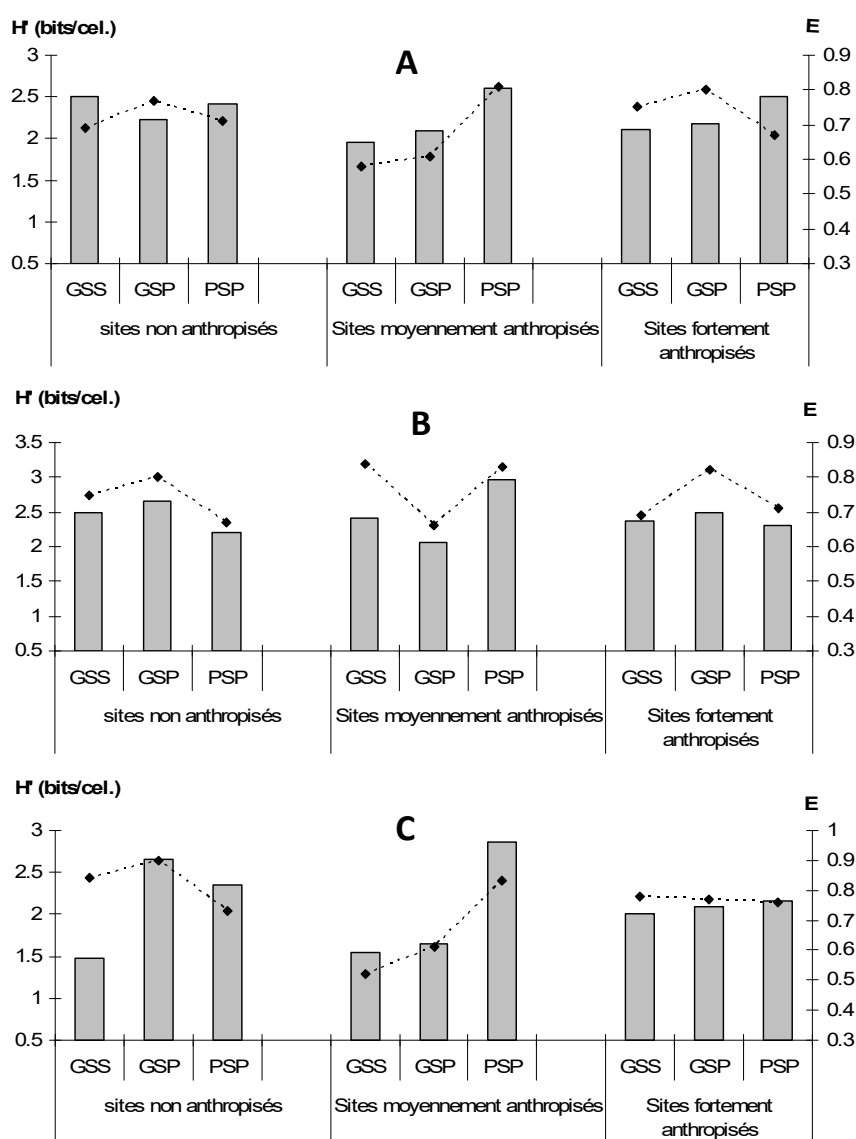


Figure 3 : Variations spatio-temporelles de l'indice de diversité (H') et de l'équitabilité (E) au niveau des stations situées sur le Birrimien : A ; Granitoïdes : B et Tertiaire : C ; pendant la grande saison sèche =GSS; grande saison des pluies = GSP ; petite saison des pluies = PSP.

L'indice *Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella* (NNS') sont faible dans l'ensemble (tableau 7). Les valeurs sont de 30 pour le birrimien, 26,8 pour le granitoïde et 24,4 pour le tertiaire. Au niveau spatial, cet indice varie de 16,3 (sites fortement anthropisés) à 23,5 (sites non anthropisés) pour les eaux du tertiaire, de 20 (sites fortement anthropisés) à 25,6 (sites moyennement anthropisés) pour les eaux du birrimien et de 21,7 (sites non anthropisés) à 22,4 (sites fortement anthropisés) pour les eaux du granitoïde. Concernant les saisons, la grande saison de pluies enregistre les plus faibles valeurs quel que soit le substrat considéré. Quand aux fortes valeurs de NNS', elles sont rencontrées pendant la grande saison sèche pour les eaux du birrimien (36,6) et pendant la petite saison de pluies pour les eaux du granitoïde (30,6) et du tertiaire (26,6).

Tableau 7 : Variation spatio-saisonnière de l'indice NNS' en fonction des substrats géologiques.

Valeurs NNS'	Birrimien	Granitoïde	Tertiaire
Substrats	30	26,8	24,4
SN	20,5	21,7	23,5
SM	25,6	22,2	20,6
SF	20	22,4	16,3
GSP	29,2	21,8	17,5
GSS	36,6	29,8	24,6
PSP	31,6	30,6	26,6

SN : sites non anthropisés ; SM : sites moyennement anthropisés ; SF : sites fortement anthropisés ; GSP : grande saison de pluies ; GSS : grande saison sèche ; PSP : petite saison de pluies.

4 DISCUSSION

Cette étude constitue la première base de données sur les diatomées du Sud, d'Est à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Dans cette étude, 28 rivières ont été échantillonnées réparties sur trois substrats géologiques : tertiaire, birrimien et granitoïde. En fonction de l'occupation des bassins versants de ces rivières, une subdivision des stations en stations non ou faiblement anthropisées, stations moyennement anthropisées et stations fortement anthropisées a été effectuée. Cette subdivision a permis de faire les analyses. L'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux des différentes rivières révèle que les variations inter-substrats sont faibles par rapport aux variations saisonnières intra-substrat. La zone d'étude étant située dans la partie forestière du pays, elle subit une grande influence des précipitations qui sont importantes en saison des pluies surtout la grande saison qui suit immédiatement la grande saison sèche où les précipitations sont rares. Cette variation des précipitations serait à l'origine des variations saisonnières significatives observées au niveau des paramètres physico-chimiques.

Concernant la communauté de diatomées, 320 taxons ont été inventoriés. Ce nombre est comparable à ceux de [21] au Sud de la Belgique avec 310 taxons, de [12] dans les eaux de la Sierra Léone avec 240 taxons. Les genres les plus diversifiés dans cette étude *Nitzschia*, *Navicula* et *Eunotia* sont ceux couramment rencontrés dans la plupart des travaux sur les diatomées ([12]; [22]; [21]; [8]). Au niveau des abondances relatives des diatomées, le test de Mann-Whitney indique une différence entre les eaux du tertiaire et les eaux des deux autres substrats (birrimien et granitoïde). Cette différence serait liée à la nature du substrat qui influence le pH et la conductivité. En effet, les eaux du tertiaire sont plus acides avec une conductivité plus faible que les eaux des autres substrats. Ceci se justifie par la prépondérance des taxons acidophiles tels que *Eunotia incisa* (40%) dans les sites faiblement anthropisés, *E. mucophila* (55 à 73%) et *E. bilunaris* (37%) respectivement dans les sites moyennement et fortement anthropisés. Le genre *Eunotia* est typique selon [23] des eaux acides. De plus, les trois espèces abondantes sont connues pour leur préférence pour les eaux acides avec une faible conductivité [24]; [25]; [26], tout comme *Pinnularia subcapitata* (30%) abondant dans les sites faiblement anthropisés. Concernant les eaux du birrimien et du granitoïde, elles sont plus basiques avec des conductivités plus élevées et des taux de nutriments (nitrates, phosphates) importants. Ces conditions sont favorables au développement des diatomées alcaliphiles et tolérantes la minéralisation telle que *G. angustum* (22 à 42%) et *Eolimna minima* (35%) [27]; [25] qui sont abondantes dans les eaux du birrimien. *Eolimna minima* domine également dans les eaux du granitoïde, avec des proportions allant de 27% à 38% suivies de *N. inconspicua* (25 à 36%) dont l'écologie est encore mal connue [25]. La subdivision de la zone d'étude en fonction de la proportion de forêt en sites faiblement, moyennement ou fortement anthropisés n'est pas objective vu l'abondance d'espèces indicatrices de pollution dans les différents sites, comme *Eolimna minima* (12 à 38%), *Nitzschia palea* (16 à 28%) et *Gomphonema parvulum* (14 à 25%). Selon [28], la présence de *Eolimna minima* et *Gomphonema parvulum* avec abondance au-delà de 5% indique que ces sites sont probablement pollués. Du point de vue de leur écologie largement étudiée ([29]; [30]; [31]; [32]; [25]), ces espèces sont cosmopolites, tolérantes à la pollution organique, à l'eutrophisation et aux teneurs élevées de nutriments. Les eaux du milieu d'étude pourraient donc être considérées comme perturbées. Cependant, les proportions importantes des espèces d'*Eunotia* dans le tertiaire, de *N.*

inconspicua (15 à 36%) et de *Gomphonema clevei* (40%) considérées comme sensible à la pollution ([25]; [26]; [27]) ne permettent pas de trancher.

Les valeurs élevées de l'indice NNS dans les eaux du birrimien pendant la grande saison sèche (36,6) et du granitoïde pendant la petite saison de pluies (30,6) seraient liées au faible débit au cours de ces périodes. En effet, cet indice est en rapport avec le courant et donne des informations sur l'influence du courant sur les diatomées motiles [22]. Les faibles valeurs au niveau du tertiaire, indiqueraient que ce substrat est plus instable pour le développement des diatomées motiles comparativement au birrimien et au granitoïde. L'indice NNS appliqué pour la première fois en Côte d'Ivoire apparaît comme une grande utilité et peut aider à expliquer les variations spatiale et temporelle de la structure des communautés de diatomées des cours d'eau caractérisées par de grande fluctuation saisonnière.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Mr Guéadé G. Abel, qui nous a aidé dans l'analyse physico-chimique des échantillons et dans l'identification des diatomées. Que les membres du Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique soient remerciés pour la mise à notre disposition de matériel de terrain et d'analyse pour la réalisation des travaux.

REFERENCES

- [1] E. Tornès, J. Cambra, M. Leira et S. Sabater. "Indicator taxa of benthic diatom communities: a case study in Mediterranean streams". *Annales De limnologie*, vol. 43, pp. 1 – 11, 2007.
- [2] R. J. Stevenson and Y. Pan. *Assessing environmental conditions in rivers and streams using diatom*. In: E. F. Stoemer and J. P. Smol (Eds), *The diatom: Application for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 11 – 40, 1999
- [3] L. Leclercq & B. Maquet, *Deux nouveaux indices chimiques 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, biocéniques et diatomiques*. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Document de travail, vol. 28, 113 p., 1987.
- [4] M. G. Kelly. "Use of the Diatom Index in monitor eutrophication in rivers". *Water Research*, vol. 36 pp. 236 – 242, 1997.
- [5] J. Prygiel and M. Coste, *Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354*. Agences de l'Eau : 134 p. + 89 pl. + cd rom TAX'IBD français/anglais, 2000.
- [6] J. Soininen, "Assessing the current related heterogeneity and diversity patterns of benthic diatom communities in a turbid and a clear water river". *Aquatic Ecology*, 38: 495 – 501, 2004.
- [7] J. E. Niamien-Ebrottié, A. Ouattara, M. Ouattara et G. Gourène, "Composition and Structure of Diatoms Assemblages of a Tropical Coast River (Eholie, Ivory Coast)". *European Journal of Scientific Research* vol. 20, no. 1, pp. 44-55, 2008.
- [8] J.E. Niamien-Ebrottié, N.M. Seu-Anoi, A. Beauger, A. Ouattara, "A First Systematic Survey of Southeastern Ivory Coast Diatoms (Bacillariophyta)". *Int. Arch. App. Sci. Technol*; vol. 6, no. 4, pp.08-18, DOI.10.15515/iaast.0976-4828.6.4.818, 2015.
- [9] K.R. N'Guessan, C.E. Wetzel, L. Ector, M. Coste, C. Cocquyt, B. Van de Vijver, S.S. Yao, A. Ouattara, E.P. Kouamelan and J. Tison-Rosebery, *Planorhynchium comperei* sp. nov. (Bacillariophyta), a new diatom species from Ivory Coast. *Plant Ecology and Evolution*, vol. 147, no. 3, pp. 455-462, 2014.
- [10] AFNOR, *Qualité de l'eau*. Environnement. Association Française de Normalisation. 1^{ère} édition AFNOR, Paris, 861p, 1994.
- [11] A. Rumeau and M. Coste, "Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce. Pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique". *Bulletin Française de Pêche et de Pisciculture*, vol. 309, pp.1 – 69, 1988.
- [12] J. R. Carter and P. Denny, "Freshwater algae of Sierra Leone IV. Bacillariophyceae : Part (ii) diatoms from the coastal region of southern province". *Nova Hedwigia*, vol. 44, no. 1/2, pp. 229 – 275, 1987.
- [13] C. Cocquyt, *Diatoms from the Northern Basin of Lake Tanganyika*. J. Camer (Ed) Berlin, 274p, 56 plates, 1998.
- [14] P. Compère, *Clé provisoire pour la détermination des genres de diatomées d'eau douce* [Version 5 - V- 2000], 2000 [online]. Available : [http : //clcli.club.fr/ADLaF_cle_des_genres.htm](http://clcli.club.fr/ADLaF_cle_des_genres.htm)., march 2007.
- [15] A. Ouattara, N. Podoor, G.G. Teugels and G. Gourène, "Les microalgues de deux cours d'eau (Bia et Agnébi) Côte d'Ivoire". *Systematics and Geography of Plants*, vol. 70, pp. 315-372, 2000.
- [16] D. M. John, B. A. Whitton and A. J. Brook, *The Freshwater Algal Flora of the British Isles. An Identification Guide to Freshwater and Terrestrial Algae*. Cambridge, 702p, 2004.
- [17] M.D. Guiry et G. M. Guiry, *Algaebase*. World-wide electronic publication ; National University of Ireland, Galway, [Online] 2007. Available: <http://www.algaebase.org>.

- [18] R. Jahn and W.-H. Kusber (eds), *Algaterra Information system* (online). Botanic Garden and Botanical Museum Berlin-Dahlem, FU-Berlin, 2007. Available: <http://www.algaterra.org>, june 2007.
- [19] M. Battegazzorre, L. Bianco, F. Bona, E. Falasco, S. Fenoglio, E. Gastaldi, A. Morisi, L. Shestani and G. Badino, "Diatomee e qualità dei corsi d'acqua in tre aree alpine e pre-alpine ad altimetria e substrato geologic differenti". *Studi Trentini di Scienze Naturali, Acto Biologica*, vol. 83, pp. 111 – 116, 2007.
- [20] Core team, "R : A Programming Environment for Data Analysis and Graphics" Version 3.1.3 (2015-03-09), 2015.
- [21] L. Denys and P. Oosterlynck, "Diatom assemblages of non-living substrates in petrifying Cratoneurion springs from Lower Belgium". *Fottea Olomouc*, vol. 15, no. 2, pp. 123 – 138, 2015.
- [22] G.G. Lai, B.M. Padedda, T. Viridis, N. Sechi and A. Lugliè, "Benthic diatoms as indicators of biological quality and physical disturbance in Mediterranean water courses: a case study of Rio Mannu di Porto Torres Basin, Northwestern Sardinia, Italy". *Diatom Research*, vol. 29, no. 1, pp. 11 – 26, doi : <http://dx.doi.org/10.1080/0269249X.2013.851119>, 2014.
- [23] D. Metzeltin et H. Lange-Bertalot, *Tropical Diatoms of South America I. About 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora*. In: H. Lange Bertalot (Ed.), *Iconographia Diatomologica. Annotated Diatom Monographs*, vol. 5, 695 pp, Koeltz Scientific books, Königstein, 1998.
- [24] G. Urrea and S. Sabater, "Epilittic diatom assemblages and their relationship to environmental characteristics in an agricultural watershed (Guadiana River, SW Spain)". *Ecological indicator*, vol. 9, pp. 693-703, 2009.
- [25] M.Y. Bey and L. Ector, *Atlas des diatomées des cours du de la région Rhône-Alpes*, Tomes 1, 2, 3, 4, 5, 6. Centre de Recherche Public, Gabriel Lippmann. www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr. 2013.
- [26] O. Jacques, F. Bouchard, A. L. MacDonald, R. I. Hall, B.B. Wolfe and R. Pienitz, "Distribution and diversity of diatom assemblages in surficial sediments of Shallow Lakes in Wapusk National Park (Manitaba, Canada) region of the Hudson Bay Lowlands". *Ecology and Evolution*, DOI: 10.1002/ece3.2179, 2016.
- [27] M.G. Kelly, H. Bennion, E.J. Cox, B. Goldsmith, J. Jamieson, S. Juggins, D.G. Mann and R.J. Telford, *Common freshwater diatoms of Britain and Irland, A multi-access key*. Environment Agency, Bristol, 2005.
- [28] F. Rimet, L. Tudesque, V. Peeters, H. Vidal et L. Ector, "Assemblages- types de diatomées benthiques des rivières non-polluées du bassin Rhône-Méditerranée-Corse (France) ". *Actes du 21^{ème} colloque de l'ADLaF*, Nantes, 10 – 13 septembre 2002, 2002.
- [29] K. Krammer and H. Lange-Bertalot, *Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer, org. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 610 p, (vol. 2/2), 1988.
- [30] L.S. Fore and C. Grafe, "Using diatoms to assess the biological condition of large rivers in
- [31] M. Schuch, E.F. Abreu Júnior and E.A. Lobo, "Water quality of urban streams, Santa Cruz do Sul, RS, Brazil, based on physical, chemical and biological analyses". *Bioikos*, vol. 26, no. 1, pp. 3-12, 2012.
- [32] F. Rimet and A. Bouchez, "Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers". *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystem*, vol. 406, 01. DOI: 10.1051/kmae/2012018, 2012.

