



ETAT DE TROPHIE DES EAUX DE LA LAGUNE VODROBOUE ET DE SON EMBOUCHURE (SUD-EST, COTE D'IVOIRE).

TROPHIC STATUT FROM VODROBOUE LAGOON WATERS AND ITS MOUTH (SOUTH-EAST, CÔTE D'IVOIRE).

**ADON M. P.¹, NIAMIEN-EBROTTIE J.E.²,
OUATTARA A.², GOURENE G.²**

¹ UFR - Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire. Département : Biodiversité et Gestion Durable des Ecosystèmes. Enseignante-Chercheur attaché au Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, BP 150 Daloa

² Université Nangui Abrogoua, UFR Science et Gestion de l'Environnement, Pôle Pêche et Aquaculture/Laboratoire d'Environnement et de Biologie Aquatique, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

adonmariepaulette@gmail.com

RESUME

L'évaluation de l'état de trophie de la lagune Vodroboué et de son embouchure a été effectuée par adaptation des données de la Directive Européenne Cadre Eau (DCE) et pour les cours d'eaux. Les mesures *in situ* d'oxygène dissous (O₂), de pH, de température (T°) et de transparence (Tr), de prélèvements de nitrates et de phosphates à l'aide de la bouteille hydrologique ont été réalisées dans les stations E, V1, V2 et V3 durant les périodes 2014-2015 et 2016-2017 entre 8 et 12h. Pour le phytoplancton, un volume d'échantillon a été filtré à l'aide du filet à plancton de 20 µm de vide de mailles. Les valeurs de T° et de pH ont mis en évidence l'état médiocre de la masse d'eau par rapport à l'O₂, les NO₃⁻ et les PO₄³⁻ qui ont indiqué un bon état de cette eau. 285 taxons repartis en 145 et 243 taxons ont été identifiés respectivement en 2014-2015 et 2016-2017. Une densité élevée de phytoplancton caractérisée par une dominance de picophytoplancton (87200 10⁷ cells.L⁻¹) et de nanophytoplancton (60730 et

129490 10^7 cells.L⁻¹) respectivement en 2014-2015 et 2016-2017 et les résultats de Shannon compris entre 0,18 et 1,47 ont traduit un caractère eutrophe de la masse d'eau.

Mots-clés : phytoplancton, eutrophisation, lagune, Côte d'Ivoire

ABSTRACT

Assessment of the trophic status from Vodroboué lagoon and its mouth was carried out by adapting data from the European Framework Directive on Water (DCE) and lotic waters. *In situ* measurements of dissolved oxygen (O₂), pH, temperature (T°) and transparency (Tr), sampling nitrate and phosphate collected using the hydrological bottle were performed at stations E, V1, V2 and V3 in 2014-2015 and 2016-2017 periods between 8 and 12h. The samples were filtered with plankton net of mesh size 20µm for phytoplankton. The T° and pH values have indicated poor state of the water mass compared to the O₂, NO₃⁻ and PO₄³⁻ which have indicated a good state of this water. 285 taxa divided into 264 and 460 taxa were identified in 2014-2015 and 2016-2017, respectively. The highest phytoplankton density characterized by picophytoplankton dominance (87200 10^7 cells.L⁻¹) and nanophytoplankton (60730 and 129490 10^7 cells.L⁻¹) in 2014-2015 and 2016-2017, respectively and results of the Shannon comprised between 0.18 and 1.47 have indicated a eutrophe water mass.

Keywords: phytoplankton, eutrophication, lagoon, Côte d'Ivoire

INTRODUCTION

L'enrichissement excessif d'un milieu aquatique en matière organique et en nutriments, notamment des composés azotés et phosphorés, caractérise le phénomène d'eutrophisation. En effet, les nutriments retrouvés au niveau de l'estuaire ont pour origine principale les activités anthropiques tels que les activités agricoles (lessivage, élevages), des rejets industriels et urbains (Meybeck, 1998; Aminot et Kérouel, 2004). L'augmentation de la production primaire, le développement d'algues et de végétaux d'espèces supérieures qui s'en suit entraînent une perturbation indésirable de l'équilibre entre les organismes présents dans l'eau et une dégradation de la qualité de l'eau (Ifremer, 2010). Les principales conséquences de l'eutrophisation des lagunes sont d'une part des dysfonctionnements écologiques, comme l'appauvrissement de la biodiversité et l'occurrence d'anoxie, et d'autre part, une perturbation des

activités économiques qui en dépendent, particulièrement la conchyliculture, la pêche et les activités touristiques.

En Côte d'Ivoire, aucune étude sur l'état de trophie des eaux lagunaires et de leur embouchure n'a été menée. Les seules études n'ont concernées que la compréhension du fonctionnement de l'écosystème aquatique (Komoé, 2010 ; Seu-Anoï, 2012 ; Konan, 2014), la systématique des microorganismes (Seu-Anoï et al, 2017) et l'écologie des diatomées (Adon et al, 2018). L'importance des lagunes réside dans le fait qu'elles servent d'habitats irremplaçables, de zones de ponte, de nidification et de nurseries pour de nombreuses espèces animales (Lévêque et Paugy, 1999 ; Ruiz et al., 2006) et constituent des possibilités de production halieutique (Lasserre, 1982 ; Albaret, 1994 ; Pombo et al., 2002) du fait de leur productivité biologique élevée (Pombo et al., 2002 ; Maanan, 2007). Pourtant, l'intensification de cette exploitation des peuplements par des populations locales dégrade ce milieu naturel et fait planer un risque majeur de raréfaction des stocks (Lalèyè, 1995). La lagune Vodroboué située dans la zone humide de Grand-Bassam n'échappe pas à cette menace. Cette lagune, sujette à des activités intenses de pêche, de natation et de contamination fécale par les populations riveraines, connaît une dégradation de ses eaux. En outre, les espèces aquatiques sont victimes de la pollution chimique due aux produits phytosanitaires utilisés sur les parcelles agricoles, la pollution microbiologique liée aux rejets de fèces dans les eaux et les prélèvements abusifs et non contrôlés des produits halieutiques par la pêche. L'objectif de cette étude est d'évaluer le statut trophique des eaux de la lagune et de son embouchure en se basant sur les paramètres physico-chimiques et les communautés phytoplanctoniques.

MATERIEL ET METHODES

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

La lagune Vodroboué (Fig. 1), de coordonnées 435000 UTM latitude Est et 579000 UTM longitude Nord, est localisée dans la zone humide estuarienne de Grand-Bassam, localisée dans le département de Grand-Bassam de coordonnées UTM (WGS84): Zone 30N E: 416479,74 N: 577689,04, inscrite à la convention de Ramsar (FDR, 2005). Cette lagune, couvrant une superficie de 423 ha avec une profondeur moyenne de 4m, est caractérisée par 2 saisons pluvieuses (Avril-Juin et Octobre-Novembre) et 2 saisons sèches (Décembre-Mars et Juillet-Septembre) (<http://www.mairiedegrandbassam.ci/fr/donneesphysiques>)

générales). Selon sa morphologie, elle présente des caractéristiques identiques à celle de la lagune estuarienne définie par une barrière courte, des courants de marées et d'apports fluviaux (Maanan, 2007). En effet, cette lagune communique avec le fleuve Comoé par l'intermédiaire d'une courte barrière formant ainsi une embouchure. Elle peut être classée selon sa morphologie dans la catégorie de type 2 en se référant à la classification de Lankford (1977) citée dans Maanan (2007).

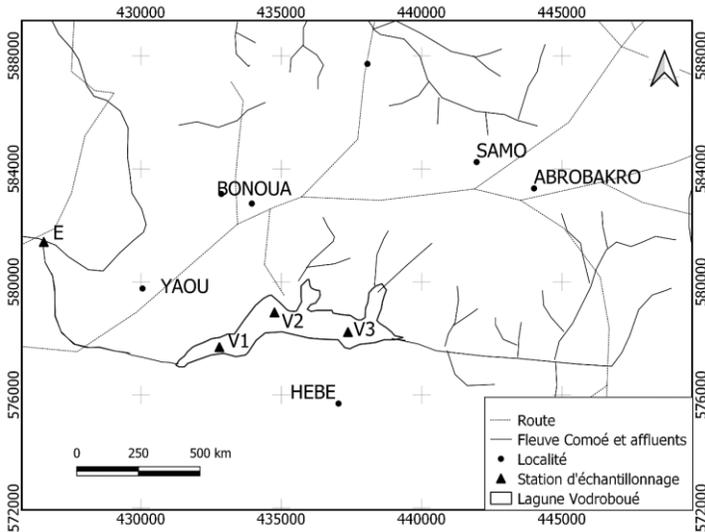


Figure 1 : Carte de localisation des stations d'échantillonnages

Ce type est caractérisé par une dépression fluviale comblée où les apports fluviaux sont importants et par une barrière construite par le fleuve de ses apports (sédimentation fluviale ou deltaïque prédominante). Les berges de cette lagune sont occupées par une invasion de macrophytes flottants et ses eaux présentent des caractéristiques d'eau douce suite à l'échange permanent de celles-ci avec le fleuve. Les eaux de cette lagune sont caractérisées par un pH acido-alcalines avec un substrat hydromorphe organique composé de débris végétaux (Kouame et al., 2009 ; Adon et al., 2018). Le bassin sédimentaire du sud-est de la Côte d'Ivoire est plus vulnérable à la pollution dans les localités d'Alépé, de Bonoua et au Nord de Dabou (Koudou et al., 2017). Quatre stations dont la station E, de coordonnées 427000 UTM latitude Est et 589000 UTM longitude Nord située à l'embouchure fleuve Comoé-lagune Vodroboùé, les stations V1 (431800 UTM latitude Est et 578200 UTM longitude Nord), V2 (433400 UTM latitude Est et 579800 UTM longitude Nord) et V3 (43600 UTM

latitude Est et 579000 UTM longitude Nord) localisées dans le plan d'eau lagunaire ont été choisies en fonction de leur accessibilité.

Mesure des paramètres physico-chimiques de la lagune Vodroboué et de son embouchure

La mesure de la température, de l'oxygène dissous et du pH a été effectuée *in situ* entre 8 et 12h pendant la grande saison des pluies (24 au 25 juin 2014 et du 01 au 06 mai 2017), la petite saison des pluies (28 au 29 octobre 2014 et 3 au 8 octobre 2016), la petite saison sèche (25 au 30 juillet 2016) et la grande saison sèche (24 au 25 février 2015 ; 21 au 26 mars 2016 et 5 au 10 décembre 2016) à l'embouchure (E) et dans le plan d'eau lagunaire Vodroboué (V1, V2 et V3) à l'aide d'un multiparamètre de marque HANNA. La mesure de la transparence de l'eau a été réalisée à l'aide du disque de Secchi. Le dosage des sels nutritifs (nitrates et phosphates) a été effectué au laboratoire. Les concentrations de nitrates ont été mesurées selon la méthode de Tréguer et Le Corre (1975) avec une précision estimée à $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$. Concernant les concentrations en phosphates, les teneurs ont été obtenues en utilisant la méthode standard colorimétrique de Grasshoff et al. (1983) avec une précision estimée à $\pm 0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$.

Echantillonnage et analyse des peuplements phytoplanctoniques

Les communautés phytoplanctoniques ont été récoltées aux mêmes périodes de mesure des paramètres physico-chimiques. Pour ce faire, un prélèvement à l'aide de la bouteille hydrologique dont les échantillons ont été filtrés à l'aide du filet à plancton de $20 \mu\text{m}$ de mailles a été réalisé. Les filtrats ont été fixés au Lugol avec ajout de quelques gouttes de formol puis conservés dans des piluliers. Les organismes phytoplanctoniques ont été observés au microscope optique de type OLYMPUS BX40 et prise en photo à l'aide d'un Amscope de marque S/N C1107201525 couplé à un ordinateur et d'un appareil photo numérique de marque Nikon. L'identification des taxons observés a été effectuée à l'aide des ouvrages et clés d'identification de Bourrelly (1968), Komárek et Fott (1983), Anagnostidis et Komárek (1988), Compère (1989), Komárek et Anagnostidis (1999, 2005) et Marin et al. (2003). La nomenclature a été actualisée à partir d'Algaebase et Algaeweb. La densité des communautés phytoplanctoniques a été obtenue à l'aide de la cellule de Neubauer. Les mesures des cellules coloniales de plus de 20 cellules et filamenteuses ont été réalisées par mesure de $10\mu\text{m}$ à l'aide d'un micromètre, cette mesure a été par la suite rapporté à l'assemble du taxon. Les autres taxons ont été dénombrés

individuellement pour les taxons solitaires, alors que les cellules cénobiales ont été dénombrées en considérant le nombre de cellules contenu dans celles-ci.

Estimation du statut trophique des eaux de la lagune et de son embouchure

Pour l'évaluation de l'état écologique des eaux de la lagune et de son embouchure, les paramètres tels que la composition et l'abondance phytoplanctonique (European Union, 2000 et Ifremer, 2013), l'indice de diversité de Shannon et Weaver (1949) et les paramètres physico-chimiques définis par les grilles de valeurs de seuil de l'oxygène dissous (mg.L^{-1}) et du phosphates pour la Directive Européenne Cadre sur l'Eau DCE (Daniel et al., 2012 et Derolez et al., 2017), de la température de l'eau et des teneurs de nitrates (Anonyme, 2018) (Tableau 1) ont été utilisés. Pour ce qui concerne l'indice de Shannon & Weaver (1949), Simboura et Zenetos (2002) ont proposés une classification de la pollution, dans les habitats sableux/vaseux (Tableau 2).

Tableau 1 : Grille et valeurs de seuil pour l'oxygène dissous (Daniel et al., 2012), les teneurs de phosphates (Derolez et al., 2017) et du phytoplancton (Ifremer, 2013) pour la DCE, la température, les teneurs maximales de nitrates et le pH pour les cours d'eaux (Ministère chargé de l'environnement, 2018).

Masses d'eau		Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Température (° C)	Eaux salmonicoles	20	21,5		25	28
	Eaux cyprinicoles		24	25,5	27	28
Oxygène dissous (mg.L^{-1})		>5	5-3	3-2	2-1	<1
pH		6,5	6		5,5	4,5
Phosphates ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)		0,3	1		1,5	4
Nitrates (mg.L^{-1})		10	50		-	-
Phytoplancton (nb cell. L^{-1} ($\times 10^6$))	<3 μm	20	50	100		500
	>3 μm	4	10	20		100

Tableau 2 : Classification de la pollution dans les habitats sableux/vaseux (Simboura et Zenetos 2002)

Etat écologique		Valeur de H'	Classification de la pollution
	Mauvais	$0 < H' \leq 1,5$	Azoïque, très pollué
	Médiocre	$1,5 < H' \leq 3$	Fortement pollué
	Moyen	$3 < H' \leq 4$	Modérément pollué
	Bon	$4 < H' \leq 5$	Zones de transition
	Très bon	$H' > 5$	Sites de référence

RESULTATS

Physico-chimie des eaux

Les résultats des valeurs moyennes de température de l'eau, de transparence, d'oxygène dissous et les concentrations de nitrates et phosphates obtenus durant les périodes d'étude sont consignés dans le tableau 3.

Les valeurs moyennes de température et de transparence variant respectivement entre 27,81 et 29,77° C, et, entre 0,83 et 1,26 m sont sensiblement similaires dans toutes les stations durant les deux périodes d'étude. Les valeurs moyennes annuelles de température et de transparence ont respectivement été de 28,37° C et 0,99 m durant la période 2014-2015 et de 29,50° C et 0,96 m au cours de la période 2016-2017.

Pour ce qui concerne l'oxygène dissous, toutes les stations présentent des valeurs supérieures à 5 mg/L au cours des deux périodes d'étude, à l'exception des stations embouchure (E) et V3 qui présentent respectivement des concentrations comprises entre 1-2 mg.L⁻¹ et 3-5 mg.L⁻¹ durant la période 2016-2017.

Les teneurs moyennes en nitrates ont oscillé d'une station à une autre avec des concentrations maximales enregistrées à toutes les stations durant les deux périodes d'étude à l'exception des stations V2 et V3 dans lesquelles les teneurs minimales ont été respectivement obtenues au cours des périodes 2014-2015 (0,75 mg.L⁻¹) et 2016-2017 (0,73 mg.L⁻¹). Les teneurs annuelles ont été comprises entre 0,85 et 0,96 mg.L⁻¹.

Concernant les phosphates, les concentrations moyennes ont varié entre 0,0862 et 0,3448 µmol.L⁻¹ avec les faibles teneurs enregistrées dans les stations du plan d'eau lagunaire (V1, V2 et V3) pendant la période 2014-2015. Au cours de la période 2016-2017, les concentrations ont oscillé entre 0,3448 et 0,8189 µmol.L⁻¹ avec des teneurs relativement élevées dans les stations (V1 : 0,6034 µmol.L⁻¹ ; V2 : 0,8189 µmol.L⁻¹ et V3 : 0,5603 µmol.L⁻¹).

Au niveau annuel, la faible teneur a été notée au cours de la période 2014-2015 avec 0,15085 µmol.L⁻¹ par rapport à la période 2016-2017 caractérisée par une concentration de 0,58185 µmol.L⁻¹.

Tableau 3 : Valeurs de transparence, d'oxygène dissous, de nitrates et de phosphates mesurées dans les différentes stations de la lagune Vodroboué et de son embouchure durant la période d'échantillonnage.

E : Embouchure ; V : Vodroboué ; V1, V2 et V3 : Stations ; T° : température ; Tr : Transparence ; O₂ : Oxygène dissous ; NO₃⁻ : Nitrates ; PO₄³⁻ : Orthophosphates ; Méd. : médiane ; Max. : maximum.

Stations	Périodes	T° (C)	Tr (m)	pH		O ₂ (mg.L ⁻¹) 1)	NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ (μmol.L ⁻¹)
				Min.	Max.			
E	2014-2015	27,81	1,26	5,68	6,75	6,17	0,98	0,3448
	2016-2017	29,10	1,13	5,19	6,40	1,10	1,04	0,3448
V1	2014-2015	28,58	0,89	6,47	7,69	8,11	0,80	0,0862
	2016-2017	29,64	0,83	6,00	6,90	5,03	1,01	0,6034
V2	2014-2015	28,62	0,85	6,57	7,66	7,94	0,75	0,0862
	2016-2017	29,77	0,88	5,30	7,00	5,10	1,08	0,8189
V3	2014-2015	28,46	0,94	6,20	7,50	7,39	0,88	0,0862
	2016-2017	29,60	1,00	6,00	8,01	4,95	0,73	0,5603
Valeurs annuelles	2014-2015	28,37	0,99	5,68	7,69	7,40	0,85	0,15085
	2016-2017	29,50	0,96	5,19	8,01	4,05	0,96	0,58185

Analyse phytoplanctonique et indice de Shannon

Un total de 285 taxons répartis en 107 genres et 7 embranchements a été répertorié dans la lagune Vodroboué et son embouchure durant les périodes d'étude 2014-2015 et 2016-2017. A ces périodes d'étude, les embranchements les plus diversifiés sont les Chlorophyta (85 taxons) et les Bacillariophyta (82 taxons) qui ont représenté 59 % de la flore totale. Ces groupes sont suivis par les Dinophyta (46 taxons), les Euglenophyta (37 taxons) et les Cyanobacteria (28 taxons), représentant 39 %. Les Chrysophyta et les Rhodophyta représentés respectivement par 6 et 1 taxons, ont été les moins diversifiés constituant 2 % de la flore totale. Durant la période 2014-2015, un total de 145 taxons représentés par 6 embranchements caractérisés par 49 taxons (33,79 %) de Chlorophyta, 47 taxons (32,41 %) de Bacillariophyta, taxons 25 (17,24 %) d'Euglenophyta, 14 taxons de (9,66 %) Cyanobacteria, respectivement 6 taxons (4,14 %) et 4 taxons (2,76 %) de Dinophyta et de Chrysophyta ont été recensés. Concernant la période 2016-2017, le total de 243 taxons recensés est caractérisé par 7 embranchements dont les plus diversifiés sont représentés par les Chlorophyta et avec 85 taxons (35 %), suivi par les Bacillariophyta représentés par 51 taxons (21 %), les Dinophyta avec 42 taxons (17 %), les Euglenophyta

composés de 34 taxons (14 %), les Cyanobacteria constitué de 24 taxons (10 %), les Chrysophyta et les Rhodophyta ont été les moins diversifiés avec respectivement 6 et 1 taxons (3 %).

L'abondance phytoplanktonique et les valeurs de l'indice de Shannon sont présentées dans le tableau 4. Les densités phytoplanktoniques ont varié d'une station à une autre durant les périodes 2014-2015 ($7600-196000 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) et 2016-2017 ($62230-129490 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$). Les densités maximales ont été obtenues dans les stations E ($196000 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) et V2 ($57000 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) pendant la période 2014-2015 avec une densité élevée de Cyanobacteria ($124400 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$; $15200 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), de Chlorophyta (station E : $20800 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$). A cette même période, les Bacillariophyta ont dominé dans les stations E ($48400 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) et V2 ($30000 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), suivi de la dominance des Dinophyta dans toutes les stations E ($36378 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), V1 ($86355 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), V2 ($69904 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) et V3 ($102190 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) au cours de la période 2016-2017. La densité minimale a été notée à la station V1 ($7600 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) pendant la période 2014-2015. La valeur annuelle moyenne de densité phytoplanktonique a été maximale ($99145 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) durant la période 2016-2017 par rapport à la période 2014-2015. Les densités élevées de picophytoplankton ($87200 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), caractérisées par des densités élevées des espèces filamenteuses de Cyanobacteria *Oscillatoria ornata* ($33200 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), *Pseudanabaena catenata* ($18800 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) et *Oscillatoria tenuis* ($18000 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), et de nanophytoplankton ($108800 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) ont été obtenues à la station embouchure pendant la période 2014-2015. En revanche, les densités élevées de nanophytoplankton ont été observées dans le plan lagunaire à la station V2 au cours des périodes 2014-2015 ($50200 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) avec une prédominance des espèces de Bacillariophyta *Asterionella formosa* ($2800 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) et *Nitzschia graciliformis* ($5600 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$). Durant la période 2016-2017 une densité élevée a été observée dans les stations V2 ($100604 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) caractérisée par des densités élevées des espèces de Pyrrophyta *Pelu* ($10602 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), *Protoperidinium quinquecorne* ($9000 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), *Peum* ($8032 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), *Pyho* ($7114 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), *Prth* ($6976 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) et *Prco* ($6196 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$). A cette station des densités élevées de Bacillariophyta ($16300 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) caractérisées par une dominance de l'espèce *Melosira varians* ($7600 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) a été observée. La station V3 prédominée par des densités élevée de $129490 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$ a été caractérisée par des densités élevées de 4 espèces de Pyrrophyta *Peridinium lubieniense* ($11153 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), *Protoperidinium conicoides* ($27788 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), *Gymnodinium cinctum* ($10000 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) et *Peum* ($9547 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$), et d'une espèce de Bacillariophyta *Melosira varians* ($7600 \text{ } 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$). Les

densités moyennes annuelles de nanophytoplanctonique ont été plus élevées durant la période 2016-2017.

Pour ce qui concerne l'indice de Shannon (H'), les valeurs ont oscillé d'une station à une autre respectivement au cours des périodes d'étude. Les valeurs maximales similaires ont été obtenues dans les stations V1 (1,16 bit/cells) et V2 (1,47 bit/cells) durant la période 2016-2017. En revanche, les valeurs minimales ont été notées dans les stations V1 (0,30 bit/cells) et V3 (0,18 bit/cells) pendant la période 2014-2015. La valeur moyenne annuelle maximale de l'indice de Shannon a été élevée au cours de la période 2016-2017 (0,92 bit/cells) par rapport à la période 2014-2015 (0,49 bit/cells).

Tableau 4 : Abondance phytoplanctonique, picophytoplanctonique, nanopicophytoplanctonique et indice de Shannon (H') dans les différentes stations durant les périodes d'échantillonnage. Pico : picophytoplancton ; Nano : nanopicophytoplancton ; H' : indice de diversité de Shannon.

Stations	Périodes	Abondance phytoplanctonique (10^7 cells.L ⁻¹)	Pico (10^7 cells.L ⁻¹)	Nano (10^7 cells.L ⁻¹)	H' bit.cells ⁻¹
E	2014-2015	196000	87200	108800	0,91
	2016-2017	62230	1500	60730	0,78
V1	2014-2015	7600		7600	0,30
	2016-2017	104255		104255	1,16
V2	2014-2015	57000	6800	50200	0,57
	2016-2017	100604		100604	1,47
V3	2014-2015	14000		14000	0,18
	2016-2017	129490		129490	0,77
Valeur moyenne annuelle	2014-2015	68650	23500	45150	0,49
	2016-2017	99145	375	98767	0,92

DISCUSSION

Les lagunes sont des milieux relativement confinés, qui présentent un faible taux de renouvellement de leurs eaux. Ces lagunes ont tendance à stocker naturellement les apports issus de leurs bassins versants. L'accroissement des activités humaines sur les bassins versant a progressivement conduit à la dégradation de la qualité des milieux lagunaires, notamment vis à vis de l'eutrophisation (Noe, 2007). De ce fait, pour une caractérisation efficiente des plans d'eau lagunaire, la Directive Européenne Cadre sur l'Eau (DCE) (European Union, 2000) a défini des règles de gestion et de protection des écosystèmes des eaux intérieures de surface, des eaux de transition, des eaux côtières et des eaux souterraines, et ce au niveau européen. Pour une adaptation à cette directive, des mesures physico-chimiques et phytoplanctoniques ont été

réalisées dans le plan lagunaire Vodrouboué et à son embouchure durant deux périodes consécutives d'échantillonnage prenant en compte les saisons climatiques.

Les résultats physico-chimiques obtenus au cours des périodes d'étude sont en adéquation avec ceux obtenus par Kouassi et *al.* (2006) dans le cadre de l'étude sur l'hydrologie et la pollution des eaux de Grand Lahou, Makhoukh et *al.* (2011) pour les eaux superficielles de l'Oued Moulouya au Maroc et Kambiré et *al.* (2014) pour les eaux de la lagune estuarienne Aby de Côte d'Ivoire. Les valeurs de température mesurées dans cette lagune et son embouchure traduiraient un état médiocre-mauvais de la masse des eaux, tandis que les valeurs annuelles de pH ont mis en évidence le caractère médiocre de la masse de l'eau au vue des normes définies dans Ministère chargé de l'environnement (2018). Les faibles taux d'oxygène par rapport aux normes de la DCE (Daniel et *al.*, 2012), les faibles teneurs en nitrates comparativement aux normes pour les cours d'eau (Ministère chargé de l'environnement, 2018) et les faibles concentrations de phosphates par rapport à la grille des valeurs de la DCE (Derolez et *al.*, 2017) ont révélé des caractéristiques de bon état de la masse d'eau de la lagune Vodrouboué et de son embouchure malgré les différentes activités menées aux alentours de la lagune et de son embouchure telles que les baignades, les lessives, les vaisselles et l'occupation des berges par l'agriculture comme les plantations de banane et de palmier à huile, et dans le plan lagunaire comme la pêche et les activités piscicoles. Concernant l'oxygène dissous, la bonne oxygénation des eaux seraient dû au brassage continue de la masse d'eau et aux fortes activités photosynthétiques des plantes aquatiques des berges de la lagune Vodrouboué et à son embouchure. En effet, selon Noury et Mollo (2013) à partir de la photosynthèse, le phytoplancton produit une grande quantité d'oxygène nécessaire à la vie dans l'eau, mais aussi, grâce aux échanges gazeux à la surface des océans. En outre, selon Lévêque et Paugy (1999), la faible densité des herbes favorise la pénétration de la lumière dans la masse d'eau, les tiges servant de support à une production de végétation épiphytique (avec production nette d'oxygène) et à un peuplement d'épibiontes dont se nourrissent certains poissons à majorité juvéniles. Pour ces auteurs, la biomasse des herbes se décomposant qu'après la décrue, constitue un facteur favorable pour l'oxygénation du milieu aquatique, tout en favorisant ultérieurement la fertilité locale du sol. Les faibles valeurs de transparence dans toutes les stations traduiraient la prolifération du phytoplancton qui engendre une augmentation de la turbidité des eaux lagunaires eutrophes, défavorable aux macrophytes qui disparaissent progressivement (Moore et Wetzel, 2000) ainsi que les espèces qu'elles abritent. Ces résultats mettent en évidence la faible richesse des

poissons à majorité phytophage pêchés durant les périodes d'étude. En effet, un total de 17 poissons, dont 14 espèces caractéristiques des milieux eutrophes ont été recensés dans la lagune Vodroboué et son embouchure (Rapport scientifique en cours de publication). Ces 14 espèces sont représentés par *Papyrocranus afer* (Günther, 1868), *Marcusenius senegalensis* (Steindachner, 1870), *Marcusenius ussheri* (Günther, 1867), *Pollimyrus isidori* (Valenciennes, 1847), *Hepsetus odoe* (Bloch, 1794), *Brycinus longipinnis* (Günther, 1864), *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède, 1803), *Parailia pellucida* (Boulenger, 1901), *Coptodon guineensis* (Günther, 1862), *Coptodon zillii* (Gervais, 1848), *Hemichromis fasciatus* (Peters, 1857), *Tylochromis intermedius* (Boulenger, 1916) et *Tylochromis jentinki* (Steindachner, 1895).

Les densités élevées phytoplanctoniques obtenues dans la lagune Vodroboué et son embouchure seraient liées au fait que le phytoplancton assimile préférentiellement l'ammonium (NH_4^+) par rapport aux nitrates. Ces éléments ont des origines différentes et leur assimilation par le phytoplancton est aussi différente. Lorsque la quantité en sels nutritifs apportée par le bassin versant de la lagune est importante, le phytoplancton et les macroalgues opportunistes (généralement du genre *Ulva*, *Enteromorpha*, etc.), se développent. Ces résultats sont en adéquation avec ceux obtenus par Glibert et al. (1982). Dans les écosystèmes eutrophes, riches en sels nutritifs, les cellules phytoplanctoniques disposent ainsi des ressources nécessaires pour optimiser leur efficacité et leur capacité photosynthétique expliquant les forts taux de croissance et l'accumulation de biomasse qui y sont observés (Behrenfeld et al., 2004). De cette abondance phytoplanctonique, l'abondance des picophytoplanctons obtenue à la station embouchure (E) ($87200 \cdot 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$) durant la période 2014-2015 et celle des nanophytoplanctons variant entre 7600 et $108800 \cdot 10^7 \text{ cells.L}^{-1}$ dans les différentes stations durant les périodes d'étude ont été respectivement supérieure aux valeurs de référence définie par le seuil des métriques et valeurs de référence de la grille de diagnostic DCE de l'état du phytoplancton des masses d'eau lagunaires dont les valeurs de références d'abondances picophytoplancton et nanophytoplanctonique sont respectivement de $15 \cdot 10^6 \text{ cell.L}^{-1}$ et $3 \cdot 10^6 \text{ cell.L}^{-1}$ (Derolez et al., 2017). Ces résultats traduiraient une prolifération des cellules de grande taille par rapport à celles de petite taille qui abondent dans les écosystèmes lagunaires eutrophes. Selon certains auteurs (Li 1994; Worden et al., 2004; Vaultot et al., 2008), la taille des cellules affecte également de nombreuses caractéristiques fonctionnelles du phytoplancton et la répartition dans les différentes classes exerce un contrôle majeur sur les cycles biogéochimiques et les réseaux trophiques. Par exemple, en raison de leur large rapport surface/volume qui facilite l'absorption des

nutriments, les petites cellules sont particulièrement bien adaptées aux eaux stables et oligotrophes (pauvres en éléments nutritifs), alors que les cellules plus grandes ont généralement de meilleures aptitudes pour les milieux dynamiques et eutrophes (Malone et Neale, 1981; Côté et Platt, 1983; Raven, 1998; Montecino et Quiroz, 2000; Jouenne et al., 2007).

Les valeurs de l'indice de Shannon H' obtenues dans la lagune et son embouchure sont relativement faibles variant entre 0,18 et 0,91 bit.cells⁻¹ pour la période 2014-2015 et entre 0,30 et 1,47 bit/cells pour la période 2016-2017 mettant en évidence un mauvais état écologique des eaux, donc une masse d'eau azoïque très polluée. Ces valeurs sont conformes à ceux obtenus par Simboura et Zenetos (2002) dans la classification de la pollution dans les habitats sableux/vaseux qui stipulent que les valeurs de H' sont relativement basses dans les eaux de transition comme les lagunes, deltas ou estuaires, même lorsque ceux-ci ne sont pas perturbés Simboura et Zenetos (2002).

CONCLUSION

Les valeurs élevées de transparence des eaux, des nitrates et des phosphates par adaptation aux valeurs grilles de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau (DCE) et des cours d'eau, ainsi que les fortes densités phytoplanctoniques caractérisées par des abondances élevées de picophytoplanctons et de nanophytoplanctons par comparaison à la grille DCE ont mis en exergue durant les périodes d'étude des caractéristiques eutrophes de cette lagune et de son embouchure, bien vrai que la masse des eaux soit très bien oxygénée favorisant la mise en évidence en majorité des poissons phytophages résistants aux conditions eutrophes du milieu.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADON M.P., NIAMIEN-EBROTTIE J.E., KOUASSI B.A.T., OUATTARA A., GOURENE G. (2018). Diatomées des eaux de l'embouchure fleuve Comoé - lagune Vodroboué et de la lagune Vodroboué au Sud-Est de la Côte d'Ivoire sud-est, Côte d'Ivoire. Rev. Ramres, Vol. 6, n° 1, pp. 30 - 41.
- ALBARET J.J. (1994). Les poissons : biologie et peuplements. In : Durand J.-R. (ed.), Dufour P. (ed.), Guiral Daniel (ed.), Zabi S.G.F. (ed.) Environnement et ressources aquatiques en Côte d'Ivoire : 2. Les milieux lagunaires. Paris : ORSTOM, France, pp. 239-280.

- AMINOT A., KEROUËL R. (2004). Hydrologie des écosystèmes marins: paramètres et analyses, Editions Quae, https://envlitt.ifremer.fr/infos/actualite/2004/hydrologie_des_ecosystemes_marins_parametres_et_analyses
- ANAGNOSTIDIS K., KOMÁREK J. (1988). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3-Oscillatoriales. *Algalogical Studies/Archiv für Hydrobiologie, Supplement Volumes*, n° 50-53, pp. 327-472.
- BEHRENFELD M.J., PRASIL O., BABIN M., BRUYANT F. (2004). In search of a physiological basis for covariations in light-limited and light-saturated photosynthesis. *Journal of Phycology.*, Vol. 40, n° 1, pp. 4-25.
- BOURRELLY P. (1968). Les algues d'eau douce. Initiation à la Systématique. Tome II : Les algues jaunes et brunes (Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées). Boubée N. et Cie, éditions, Paris, France, 440p.
- COMPÈRE P. (1989). Flore pratique des algues d'eau douce de Belgique. Tome 2. Pyrrophytes : Cryptophyceae, Dinophyceae ; Raphidophytes : Raphidophyceae ; Euglenophytes : Euglenophyceae. Jardin Botanique National de Belgique, Meise, Belgique. 209 p.
- DANIEL A., SOUDANT D., GOUDARD N. (2012). Influence de la fréquence et de la période d'échantillonnage sur la classification des indicateurs physico-chimiques de la DCE. Rapport final. Rapport Ifremer, Île-de-France, France. 46 p.
- DEROLEZ V., GIMARD A., MUNARON D., OUISSE V., MESSIAEN G., FORTUNE M., POIRIER S., MORTREUX S., GUILLOU J.-L., BRUN M., PROVOST C., HATEY E., BEC B., MALET N., FIANDRINO A. (2017). OBSLAG 2016 - volet eutrophisation. Etat DCE des lagunes méditerranéennes (eau et phytoplancton, période 2011-2016). Développement d'indicateurs de tendance et de variabilité, Rapport définitif. Méditerranée, France, 78p.
- EUROPEAN UNION (2000). Directive 2000/60/ec of the european parliament and of the council establishing a framework for the community action in the field of water policy. *Journal of the European Communities*, Vol. 327, n° 1, pp. 1-12.
- F.D.R. (2005). Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar. Grand-Bassam, Côte-d'Ivoire, 15 p.
- GLIBERT P.M., BIGGS D.C., MCCARTHY J.J. (1982). Utilization of Ammonium and Nitrate during austral summer in the Scotia Sea. Article in *Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers*, Vol. 29, n° 7, pp. 837-850.
- GRASSHOFF K., EHRHARDT M., KREMLING K. (1983). *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie Weinheim. <https://catalogue.nla.gov.au>
<http://www.mairiedegrandbassam.ci/fr/donneesphysiquesgenerales>

- IFREMER (2010). Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2009. Rapport RSL-10/2010, Île-de-France, France. 320 p.
- IFREMER (2013). Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2012. Rapport RSL-13/2013, Île-de-France, France. 266 p.
- JOUENNE F., LEFEBVRE S., VERON B., LAGADEUC Y. (2007). Phytoplankton community structure and primary production in small intertidal estuarine-bay ecosystem (eastern English Channel, France). *Marine Biology*, Vol. 151, pp. 805-825.
- KAMBIRÉ O., ADINGRA A.A., EBLIN S.G., AKA N., KAKOU A.C., KOFFINEVRY R. (2014). Caractérisation des eaux d'une lagune estuarienne de la Côte d'Ivoire : la lagune Aby. *Larhyss Journal*, n° 20, pp. 95-110.
- KOMAREK J., ANAGNOSTIDIS K. (1999). Cyanoprocaryota. 1. Teil : Chroococcales. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Begründet von Pascher A. Band 19/1. (Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. Eds.), pp. 1-548.
- KOMAREK J., ANAGNOSTIDIS K. (2005). Cyanoprocaryota 2. Teil: Oscillatoriales. In: Budel B., Gärtner G., Krienitz L., Schagerl M. Eds., Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd., Vol. 19, n° 2, Elsevier GmbH, München, pp. 1-759.
- KOMAREK J et FOTT B. (1983). Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie Teil7, 1. Hälfte. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung Chlorococcales, GOTTFRIED H.-P. (Editeur), Vol. 7, n° 1, Elsevier GmbH, München, pp. 1-1044.
- KOMOE K. (2010). Distribution du phytoplancton dans le complexe lagunaire de Grand-Lahou en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 282 p.
- KOMOE K., Da K.P., KOUASSI A.M. (2009). Seasonal Distribution of Phytoplankton in Grand-Lahou Lagoon (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, Vol. 26, n° 3, pp. 329-341.
- KONAN E.S. (2014). Distribution spatio-temporelle du peuplement phytoplanctonique en relation avec les facteurs abiotiques de la lagune de fresco (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université Félix HOUPHOUËT- BOIGNY, Abidjan, Côte d'Ivoire, 197 p.
- KONAN S.K., KOUAKOU B.K., OHOU M.J., KONAN F.K., DONGUI K.B. (2017). Variation saisonnière des paramètres abiotiques de la lagune Aghien, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 120, pp. 12042-12052.
- KOUASSI A.M., KONAN S., ADINGRA A.A. (2006). Suivi de paramètres hydrologiques et de pollution des eaux de la lagune de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire), Fiches techniques et Documents de Vulgarisation Abidjan, CRO, Abidjan, Côte d'Ivoire. pp. 1-10.

- KOUAME M.L.O., EGNANKOU M.W., TRAORE D. (2009). Ordination et classification de la végétation des zones humides du sud-est de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, Vol. 21, n° 1, pp. 1-13.
- KOUDOU A., ASSOMA T.V., ADIAFFI B., YOUAN TA M., SALEY M.B., KOUAME K.F. (2017). Evaluation de l'influence de la fracturation dans la susceptibilité à la pollution des aquifères de la zone de contact « socle-bassin sédimentaire » du sud-est de la Côte d'Ivoire. *Larhyss Journal*, n° 32, pp. 71-91.
- LALEYE P.A. (1995). Ecologie comparée de deux espèces de Chrysichthys, poisson Siluriformes (Claroteidae) du complexe lagunaire Lac Nokoué-lagunaire de Porto-Novo au Bénin. Thèse de doctorat en sciences (zoologie). Université de Liège (Laboratoire de Démographie des poissons et d'Aquaculture), Belgique, 199 p.
- LEVEQUE C., PAUGY D. (1999). Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie, utilisation par l'homme. (Editeur), Université de Californie, États-Unis, 521p.
- LASSERRE P., POSTMA H. (1982). Editorial. Les lagunes côtières : actes du Symposium international sur les lagunes côtières, Bordeaux, France, 8-14 septembre 1981, MONTRouGE G.-V. (Editeur), Bordeaux I, France, 462p.
- LI W.K.W. (1994). Primary Production of Prochlorophytes, Cyanobacteria, and Eukaryotic Ultraphytoplankton - Measurements from Flow Cytometric Sorting. *Limnology and Oceanography*, Vol. 39, n° 1, pp. 169-175.
- MAANAN M. (2007). Etude sédimentologique du remplissage de la lagune de sidi moussa (côte atlantique Marocaine) caractérisations granulométrique, minéralogique et géochimique. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences El Jadida, Maroc. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00124571> soumis le 22 Janvier 2007.
- MAKHOUKH M., SBAA M., BERRAHOU A., CLOOSTER M.V. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued moulouya (Maroc oriental), *Larhyss Journal*, n°9, pp. 149-169. <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/viewFile/121/115>
- MALONE T.C., NEALE P.J. (1981). Parameters of light-dependent photosynthesis for phytoplankton size fractions in temperate estuarine and coastal environments. *Marine Biology*, Vol. 61, n° 4, pp. 289-297.
- MARIN B., PALM A., KLINGBERG M., MELKONIAN M. (2003). Phylogeny and taxonomic revision of plastid-containing euglenophytes based on SSU rDNA sequence comparisons and synapomorphic signatures in the SSU rRNA secondary structure. *Protist*, Vol. 154, n°1, 99-145.
- MEYBECK M. (1998). Man and river interface: multiple impacts on water and particulates chemistry illustrated in the Seine river basin. *Hydrobiologia*, Vol. 373, n° 0, pp. 1-20.

- MINISTERE CHARGE DE L'ENVIRONNEMENT (2018). Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. Droit français, TREL1819388A. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2018/7/27/TREL1819388A/jo/texte>
- MONTECINO V., QUIROZ D. (2000). Specific primary production and phytoplankton cell size structure in an upwelling area off the coast of Chile (30 degrees S). *Aquatic Sciences*, Vol. 62, pp. 364-380.
- MOORE K.A., WETZEL R.L. (2000). Seasonal variations in eelgrass (*Zostera marina* L.) responses to nutrient enrichment and reduced light availability in experimental ecosystems. *Journal of experimental marine biology and ecology*, Vol. 244, n° 1, pp 1-28.
- NOURY A., MOLLO P. (2013). *Le Manuel du plancton*, Mayer CL (eds), Paris, France, 198 p.
- NOE V. (2007). Restauration des milieux lagunaires vis à vis de l'eutrophisation en Languedoc-Roussillon. Master Professionnel Economie Environnement, Université de la Méditerranée, Centre d'Océanologie de Marseille, Montpellier, France. 51 p.
- POMBO L., ELLIOT M., REBELO J.E. (2002). Changes in the Fish Fauna of the Ria de Aveiro estuarine lagoon (Portugal) during the twentieth century. *Journal of Fish Biology*, Vol. 61 (Supplement A), pp. 167-181.
- RAVEN J.A. (1998). The twelfth Tansley Lecture. Small is beautiful. The picophytoplankton. *Functional Ecology*, Vol. 12, n° 4, pp. 503-513.
- RUIZ F., ABAD M., GALAN E., GONZALEZ I., AGUILA I., OLIAS M., GOMEZ ARIZA J.L., CANTANO M. (2006). The present environmental scenario of El Melah lagoon (NE Tunisia) and its evolution to a future sebkha. *Journal of African Earth science*, Vol. 44, n°3, 289 - 302.
- SHANNON C.E., WEAVER W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana University Press, Illinois, États-Unis. 117 p.
- SEU-ANOÏ N.M. (2012). Structuration spatiale et saisonnière des peuplements phytoplanktoniques et variabilité des facteurs abiotiques dans trois complexes lagunaires de Côte-d'Ivoire (Aby, Ébrié et Grand-Lahou). Thèse de doctorat, Université Nangui Abrogoua Abidjan, Côte d'Ivoire, 137 p.
- SEU-ANOÏ N.M., OUATTARA A., COCQUYT C., GOURENE G. (2017). A study of planktonic Cyanobacteria taxa of the Aby lagoon system (Southern Ivory Coast, West Africa). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, Vol. 11, n° 2, pp. 40-51.

- SIMBOURA N., ZENETOS A. (2002). Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new biotic index. *Mediterranean marine science*, Vol. 3, n° 2, pp. 77-111.
- TREGUER P., Le CORRE P. (1975). Manuel d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilisation de l'autoanalyser II Technicon R, 2ème édition Brest :UBO (Eds), France. 109 p. <http://www.sudoc.fr/025561049>
- VAULOT D., EIKREM W., VIPREY M., MOREAU H. (2008). The diversity of small eukaryotic phytoplankton (< or =3 micron) in marine ecosystems. *FEMS Microbiology Reviews*, Vol. 32, n° 5, pp. 795-820.
- WORDEN A.Z., NOLAN J.K., PALENIK B. (2004). Assessing the dynamics and ecology of marine picophytoplankton: The importance of the eukaryotic component. *Limnology and oceanography*, Vol. 49, pp. 168-179. <http://dx.doi.org/10.4319/lo.2004.49.1.0168>