

Variation de l'abondance des nauplii de copépodes et influence des variables environnementales sur leur développement dans les eaux du Haut-Bandama (Côte d'Ivoire)

Copepod nauplii abundance variation and influence of environmental variables on their development in the waters of the Upper Bandama (Côte d'Ivoire)

Tiéligounon Ali Soro, Raphaël N'doua Etilé et Gouli Gooré Bi

Volume 32, numéro 4, 2020

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1069575ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1069575ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

1718-8598 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Soro, T. A., Etilé, R. N. & Gooré Bi, G. (2020). Variation de l'abondance des nauplii de copépodes et influence des variables environnementales sur leur développement dans les eaux du Haut-Bandama (Côte d'Ivoire). *Revue des Sciences de l'Eau / Journal of Water Science*, 32(4), 421–431.
<https://doi.org/10.7202/1069575ar>

Résumé de l'article

Le but de cette étude est d'étudier les variations spatiales et temporelles de l'abondance des nauplii de copépodes en relation avec les facteurs environnementaux. Pour ce faire, des échantillonnages d'eau et de zooplancton ont été faits de novembre 2017 à septembre 2018 dans la rivière Lokpoho (affluent du Bandama) et dans le cours principal du fleuve Bandama. Il ressort des analyses que les nauplii de copépodes sont plus abondants en saison sèche (moyenne $74 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$) qu'en saison des pluies (moyenne $51 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$), avec les valeurs les plus élevées enregistrées en pleine saison sèche ($118 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$). L'abondance moyenne annuelle des nauplii de la rivière Lokpoho ($77 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$) est supérieure à celle du fleuve Bandama ($38 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$). Durant la saison sèche, l'abondance des nauplii est fortement influencée par la conductivité, l'oxygène dissous et le pH. Pendant la saison des pluies, les principales variables qui influencent l'abondance des nauplii sont le manganèse, la transparence, la chlorophylle *a* et le nitrate. Annuellement, l'abondance des nauplii de copépodes est influencée positivement et significativement par l'abondance des copépodes adultes et la transparence. Cependant, le taux de nitrate a une influence négative sur le développement des nauplii de copépodes du Haut-Bandama. Cette influence négative serait due aux activités agropastorales menées dans la région de Ferké.

VARIATION DE L'ABONDANCE DES NAUPLII DE COPÉPODES ET INFLUENCE DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES SUR LEUR DÉVELOPPEMENT DANS LES EAUX DU HAUT-BANDAMA (CÔTE D'IVOIRE)

*Copepod nauplii abundance variation and influence of environmental variables on their development in the waters of the Upper Bandama
(Côte d'Ivoire)*

TIÉLIGOUNON ALI SORO*, RAPHAËL N'DOUA ETILÉ, GOULI GOORÉ BI

UFR Biosciences, Laboratoire d'Hydrobiologie, Université Felix Houphouët-Boigny, BP 582 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Reçu le 2 mars 2020, accepté le 25 mars 2020

RÉSUMÉ

Le but de cette étude est d'étudier les variations spatiales et temporelles de l'abondance des nauplii de copépodes en relation avec les facteurs environnementaux. Pour ce faire, des échantillonnages d'eau et de zooplancton ont été faits de novembre 2017 à septembre 2018 dans la rivière Lokpoho (affluent du Bandama) et dans le cours principal du fleuve Bandama. Il ressort des analyses que les nauplii de copépodes sont plus abondants en saison sèche (moyenne 74 ind·L⁻¹) qu'en saison des pluies (moyenne 51 ind·L⁻¹), avec les valeurs les plus élevées enregistrées en pleine saison sèche (118 ind·L⁻¹). L'abondance moyenne annuelle des nauplii de la rivière Lokpoho (77 ind·L⁻¹) est supérieure à celle du fleuve Bandama (38 ind·L⁻¹). Durant la saison sèche, l'abondance des nauplii est fortement influencée par la conductivité, l'oxygène dissous et le pH. Pendant la saison des pluies, les principales variables qui influencent l'abondance des nauplii sont le manganèse, la transparence, la chlorophylle *a* et le nitrate.

Annuellement, l'abondance des nauplii de copépodes est influencée positivement et significativement par l'abondance des copépodes adultes et la transparence. Cependant, le taux de nitrate a une influence négative sur le développement des nauplii de copépodes du Haut-Bandama. Cette influence négative serait due aux activités agropastorales menées dans la région de Ferké.

Mots-clés : *nauplii de copépodes, rivière Lokpoho, Bandama, variables environnementales.*

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate spatial and temporal variations of copepod nauplii abundance in relation to environmental factors. To this end, water and zooplankton

sampling was conducted from November 2017 to September 2018 in the Lokpoho River (tributary of the Bandama River) and in the main stem of the Bandama River. The analyses of the samples showed that copepod nauplii are more abundant in the dry season (mean 74 ind·L⁻¹) than in the rainy season (mean 51 ind·L⁻¹), with the highest values recorded in the middle of the dry season (118 ind·L⁻¹). The average annual abundance of nauplii in the Lokpoho River (77 ind·L⁻¹) is higher than in the Bandama River (38 ind·L⁻¹). During the dry season, nauplii abundance is strongly influenced by conductivity, dissolved oxygen and pH. During the rainy season, the main variables influencing nauplii abundance are manganese, transparency, chlorophyll a and nitrate. Annually, the abundance of copepod nauplii is positively and significantly influenced by the abundance of adult copepods and transparency. However, nitrate levels have a negative influence on the development of copepod nauplii in the Upper Bandama. This negative influence is thought to be due to agro-pastoral activities in the Ferké region.

Key words: copepods nauplii, Lokpoho River, Bandama, environmental variables.

1. INTRODUCTION

À travers le monde, de nombreuses recherches ont été effectuées sur la nutrition des larves de poissons d'eau douce en élevage (TRIGUI, 2017; ZEA BI *et al.*, 2019). L'un des facteurs nutritionnels importants durant les premières étapes du développement piscicole dans les écosystèmes aquatiques est la production planctonique. En effet, il a été estimé que plus de 60 % de la production primaire des milieux lacustres est transférée par le zooplancton aux alevins de poissons (HABERMAN, 1998). Ainsi donc, le succès de la reproduction des poissons n'est pas juste tributaire des conditions physiques du milieu (durée du jour, température, etc.), mais il est également, et largement dépendant des facteurs biologiques, tels que la quantité de nourriture disponible dans le milieu. En zone tropicale, parmi ces facteurs biologiques (DAS *et al.*, 2012), on peut mentionner les proies vivantes dont le phytoplancton (*Microcystis*, *Volvox*, *Eudorina*, *Oscillatoria*, etc.) et les organismes zooplanctoniques tels que les protozoaires (*Arcella* sp., *Diffugia* sp., *Actinophrys* sp., *Vorticella* sp. etc.), les rotifères (*Brachionus* spp., *Keratella* sp., *Asplanchna brightwelli*, *Polyarthra vulgaris*, *Filinia opoliensis*, etc.), les cladocères (*Moina* spp., *Daphnia* spp., *Ceriodaphnia* sp., etc.), le crustacé *Artemia*, les ostracodes (*Cypris*, *Stenocypris*, *Eucypris*, etc.) et les copépodes (*Mesocyclops leuckarti*, *M. hyalinus*, *Microcyclops varicans*, *Heliodyptomus viduus*, etc.) avec leurs larves (nauplii). Parmi ces facteurs biotiques, les copépodes et leurs nauplii sont produits en continu dans les hydrosystèmes en Côte d'Ivoire :

Grand-Lahou (ETILÉ *et al.*, 2009), Fresco (ETILÉ *et al.*, 2012, 2019), Aby-Tendo-Ehui (MONNEY *et al.*, 2015), la rivière Bagoé (N'DA *et al.*, 2015). En outre, les nauplii de copépodes constituent une bonne source de nourriture pour les poissons, notamment durant leur stade de vie larvaire. Selon EVJEMO *et al.* (2003), les nauplii de copépodes contiennent des caractéristiques biochimiques qui en font une bonne alternative et/ou un supplément de nourriture vivante pour les poissons en général, et principalement pour les stades larvaires. Ils contiennent notamment des acides gras hautement insaturés comme les acides arachnoïques, docosahexaénoïques, et eicosapentaénoïques qui sont des acides gras essentiels, ainsi que divers autres nutriments essentiels pour la survie et le développement des larves de poissons (EVJEMO *et al.*, 2003; OHS *et al.*, 2019). Durant la période de croissance des larves de poissons, les acides gras essentiels (docosahexaénoïques et eicosapentaénoïques) sont incorporés dans les membranes cellulaires et subcellulaires comme composantes structurales primaires, fournissant la fluidité essentielle nécessaire au bon fonctionnement et à la signalisation des membranes biologiques (MARTINEZ SILVA, 2018) tandis que les acides arachnoïques et eicosapentaénoïques sont des précurseurs de la chaîne des eicosanoïdes à la base de la réponse au stress (GLENCROSS, 2009). De plus, la taille des nauplii de copépodes est adaptée à la dimension de la bouche des larves de poisson (FIOGBÉ *et al.*, 2003). Outre cela, les nauplii de copépodes constituent principalement des proies vivantes pour les larves de poissons, par le fait que leur locomotion se fait par intermittence avec des périodes de mouvements saccadés en avant et autres périodes de repos, permettant ainsi aux larves de poissons de les identifier comme proies et d'activer une réponse d'alimentation (OHS *et al.*, 2019).

Cette importance des nauplii de copépodes a suscité de nombreux travaux de recherche focalisés sur les nauplii comme proies essentielles pour la croissance et le développement des larves de poissons (HANSEN, 2011; MITSUZAWA *et al.*, 2017; ADANDE *et al.*, 2017). Par ailleurs, les études d'ADANDE *et al.* (2017) ont montré que les larves de *Clarias gariepinus* nourries avec les nauplii de copépodes ont donné de meilleures croissances que celles nourries aux granulés d'artémie vendus sur le marché. Ainsi la valorisation des nauplii de copépodes dans l'aquaculture constitue un atout primordial pour son développement et sa rentabilité.

Vu l'importance des nauplii de copépodes dans la survie, la croissance et le développement des larves de poissons, connaître les paramètres environnementaux influençant les variations spatiale et temporelle de leur abondance dans un écosystème aquatique pourrait permettre d'avoir une idée sur les facteurs environnementaux pouvant agir sur les succès de la reproduction des poissons.

L'objectif de cette étude est d'étudier les variations spatiales et temporelles de l'abondance des nauplii de copépodes et de déterminer les facteurs environnementaux qui suscitent cette fluctuation, afin d'apprécier la disponibilité d'une part importante de proies vivantes potentiellement disponibles pour les alevins des eaux du Haut-Bandama.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Site d'étude

Le bassin du fleuve Bandama, entièrement situé en Côte d'Ivoire, occupe une superficie de 97 500 km². Il est situé entre les longitudes 3°50' et 7° Ouest et les latitudes 5° et 10°20' Nord (LÉVÊQUE *et al.*, 1983). Notre milieu d'étude se situe en amont du fleuve Bandama (Haut-Bandama) dans la région de Ferkessedougou et Korhogo (ex-région des savanes). L'échantillonnage a concerné le cours principal du fleuve Bandama, jusqu'au barrage Morrisson (premier barrage hydroagricole sur le fleuve Bandama) et son deuxième affluent principal de la rive gauche (la rivière Lopkoho) (Figure 1). Le climat de la région est de type tropical subhumide ou subsoudanien de transition (GUILLAUMET et ADJANOHOON, 1971), avec deux saisons : l'une humide ou pluvieuse (juin à septembre) et l'autre sèche (octobre à mai). La région est soumise à l'harmattan (alizé boréal) de décembre à février. La pluviométrie annuelle cumule 1 200 mm, avec un régime unimodal centré en août-septembre où 600 à 700 mm de pluie sont enregistrés (environ 50 à 60 % de la pluviométrie annuelle totale) (PÉNÉ et KÉHÉ, 2005).

2.2 Échantillonnage, collecte et analyse des données

Au total huit stations ont été échantillonnées dans le Haut-Bandama, dont cinq stations dans la rivière Lokpoho et trois stations dans le cours principal du fleuve Bandama (Figure 1). L'échantillonnage a eu lieu de novembre 2017 à septembre 2018. Celui-ci s'est déroulé trois fois pendant la saison sèche (début saison sèche = novembre, pleine saison sèche = janvier 2018 et fin saison sèche = avril 2018) et trois fois pendant la saison des pluies (début saison des pluies = juin 2018, pleine saison des pluies = août 2018 et fin saison des pluies = septembre 2018).

Pour chaque station, les paramètres physicochimiques ont été mesurés dans l'eau de surface avec le matériel adapté. La température et l'oxygène dissous ont été mesurés avec un oxymètre de marque AZ 8403. Le pH et la conductivité ont été mesurés respectivement avec un pH-mètre et un conductimètre de marque PANCELENT. La transparence a été évaluée avec

un disque de Secchi de 30 cm de diamètre. Pour les paramètres chimiques (nitrate, nitrite, phosphate, ammonium, chlorure, potassium, manganèse, zinc et silicium) un litre d'eau a été prélevé à chaque station et conservé dans une glacière. L'analyse au laboratoire a été faite avec un spectrophotomètre de marque NALCO et de modèle DR 900, au plus tard 5 h après l'échantillonnage. Pour le dosage de la chlorophylle *a*, un litre d'eau a été également prélevé dans chaque station, emballé avec du papier aluminium et placé dans une glacière avant dosage au laboratoire.

Les organismes zooplancton ont été récoltés, dans chaque station, par filtration de 100 L d'eau de surface avec un filet à plancton de 30 µm de vide de maille. Le concentré obtenu a été recueilli dans un pilulier de 350 mL de volume puis traité successivement par ajout de rouge neutre pour faciliter l'observation des organismes au microscope et du formaldéhyde dilué à 5 % pour la conservation des échantillons. Au laboratoire, les nauplii de copépodes et les copépodes adultes ont été comptés sous une loupe binoculaire dans une cuve de Dolfuss.

Les tests statistiques d'Anova et de Student ont été réalisés après la transformation et la vérification de la normalité des données. Le test d'Anova a été utilisé pour comparer l'abondance des nauplii de copépodes des stations et des périodes d'échantillonnage. Le test de Student a été utilisé pour comparer les paramètres environnementaux entre les saisons sèche et pluvieuse. L'analyse de régression multiple pas à pas a été utilisée afin d'établir l'influence des facteurs environnementaux sur l'abondance des nauplii de copépodes. Toutes ces analyses ont été réalisées avec le logiciel Statistica version 7.1.

3. RÉSULTATS

3.1 Variables environnementales

Le tableau 1 présente les valeurs moyennes, les écarts-types et les valeurs-*p* des tests de comparaison entre les saisons des paramètres environnementaux mesurés dans les eaux du Haut-Bandama. L'oxygène dissous, le nitrate, le nitrite, l'ammonium, le phosphate, l'ion chlorure, le zinc, la chlorophylle *a*, le manganèse et la densité des adultes de copépodes ont des valeurs moyennes plus élevées en saison des pluies qu'en saison sèche. Les autres variables environnementales mesurées (température, pH, transparence, potassium et conductivité) ont des valeurs plus grandes en saison sèche qu'en saison des pluies. Au plan statistique, il existe une différence significative entre les valeurs de la saison sèche et celles de la saison des pluies des paramètres température, transparence, phosphate, nitrate, nitrite, ions

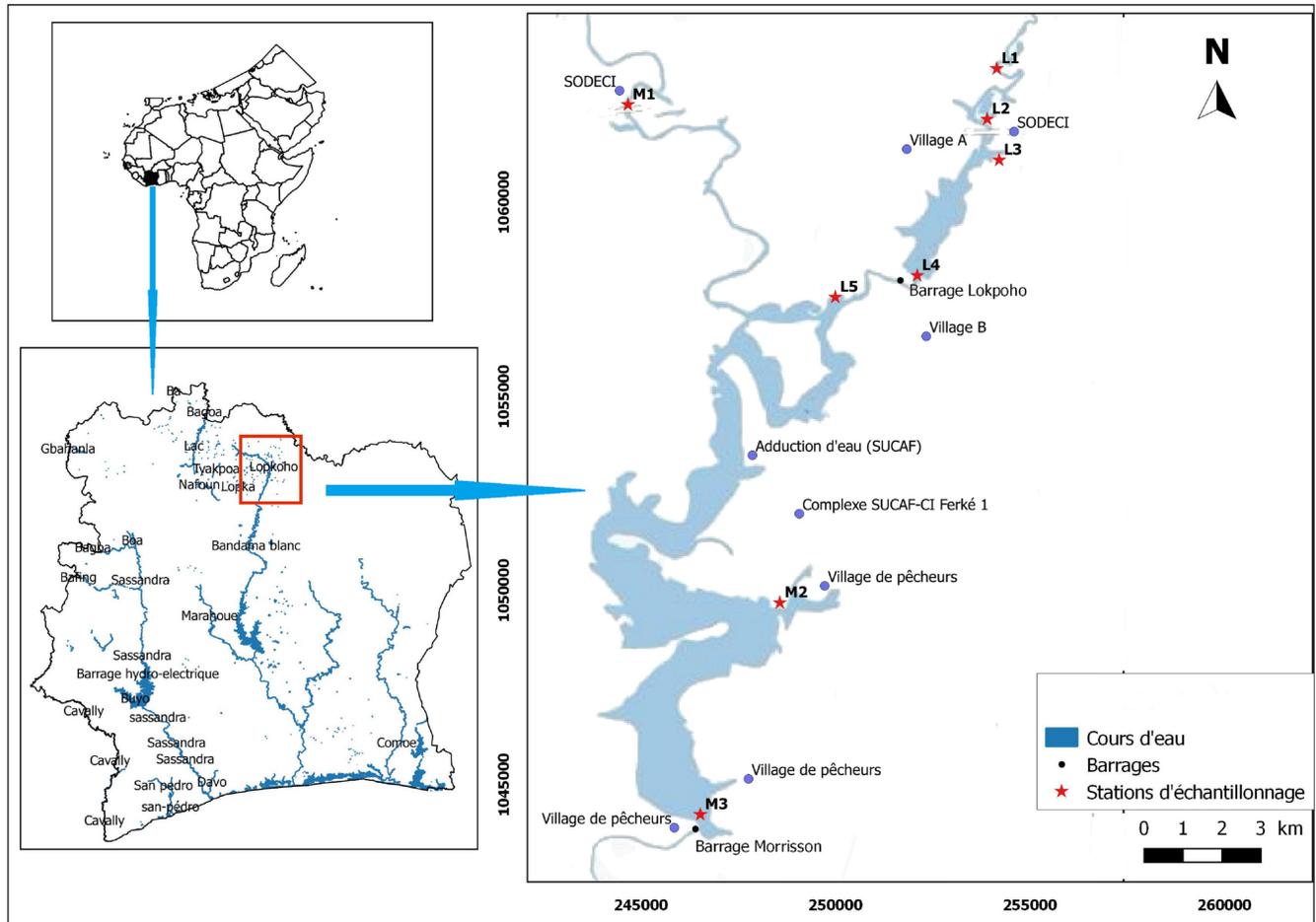


Figure 1. Carte hydrographique d'une partie de la zone septentrionale du bassin du Bandama (Haut-Bandama et rivière Lokpoho) dans la région de Ferkessédougou. L : stations de la rivière Lokpoho, M : stations du Bandama (barrage Morrison).
Hydrographic map of the northern part of the Bandama Basin (Upper Bandama and Lokpoho River) in the Ferkessédougou region. L: stations of the Lokpoho River, M: stations of the Bandama River (Morrison Dam).

Tableau 1. Variables environnementales mesurées dans le Haut-Bandama d'octobre 2017 à septembre 2018.
Table 1. Environmental variables measured in the Upper Bandama from October 2017 to September 2018.

Paramètre physicochimique	Saison sèche		Saison des pluies		Valeur- <i>p</i>
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	
Température (°C)	29,85	2,09	28,01	1,86	< 0,01*
Oxygène dissous (mg·L ⁻¹)	3,86	1,64	4,22	2,92	0,76
pH	6,68	0,13	6,60	0,48	0,52
Transparence (m)	0,71	0,26	0,23	0,05	< 0,01*
Potassium (mg·L ⁻¹)	3,11	0,97	3,06	0,51	0,24
Nitrate (mg·L ⁻¹)	0,03	0,01	0,08	0,03	0,04*
Nitrite (mg·L ⁻¹)	0,0029	0,0007	0,0083	0,0031	< 0,01*
Ammonium (mg·L ⁻¹)	0,25	0,10	0,34	0,05	0,02*
Phosphate (mg·L ⁻¹)	2,46	1,40	4,00	1,92	< 0,01*
Ions chlorure (mg·L ⁻¹)	1,59	0,96	6,02	4,36	< 0,01*
Silicium (mg·L ⁻¹)	13,09	2,09	21,29	13,93	0,01*
Conductivité (µS·cm ⁻¹)	58,72	9,88	54,02	15,67	0,05
Zinc (mg·L ⁻¹)	0,02	0,01	0,04	0,04	0,16
Manganèse (mg·L ⁻¹)	0,22	0,22	0,26	0,29	0,99
Chlorophylle <i>a</i> (µg·L ⁻¹)	12,46	9,77	18,52	9,67	0,03*
Copépodes adultes (ind·L ⁻¹)	55	51	73	49	0,47

* Test significatif

chlorures, conductivité, ammonium, silicium, chlorophylle *a* et zinc (test-*t* Student, $p < 0,05$).

3.2 Variation spatio-saisonnière de l'abondance des nauplii des copépodes

La figure 2 présente les variations spatio-saisonnières de l'abondance des nauplii de copépodes échantillonnés dans le bassin du Haut-Bandama.

Durant la saison sèche, dans le Haut-Bandama, la densité des nauplii de copépodes varie de 9 à 188 ind·L⁻¹. La densité moyenne est de 74 ind·L⁻¹ en saison sèche. Dans la rivière Lokpoho, la densité minimale est observée dans la station L5 (22 ind·L⁻¹). La densité maximale y est observée dans la station L4 (188 ind·L⁻¹). La densité moyenne des nauplii dans ce cours d'eau est de 83 ind·L⁻¹. Dans le cours principal du fleuve Bandama, la densité minimale est obtenue à la station M1 (9 ind·L⁻¹). La densité maximale des nauplii de copépodes est enregistrée à la station M2 (111 ind·L⁻¹). La densité moyenne des nauplii de copépodes dans le fleuve Bandama est de 58 ind·L⁻¹.

Pendant la saison des pluies, la densité des nauplii oscille entre 11 et 89 ind·L⁻¹ dans le Haut-Bandama. La valeur moyenne est de 51 ind·L⁻¹ en saison des pluies. Dans la rivière Lokpoho, les densités minimale et maximale sont enregistrées respectivement à la station L5 (40 ind·L⁻¹) et à la station L2 (90 ind·L⁻¹). La densité moyenne dans la rivière Lokpoho est de 71 ind·L⁻¹ en saison des pluies. Dans le fleuve Bandama, tout comme en saison sèche, les stations M2 et M1 enregistrent respectivement les densités minimale (11 ind·L⁻¹) et maximale (24 ind·L⁻¹). La densité moyenne dans le fleuve Bandama est de 18 ind·L⁻¹ en saison des pluies.

Au plan statistique, Il existe une différence significative entre les densités des nauplii de copépodes de la saison sèche et de la saison des pluies dans le Haut-Bandama (test-*t* Student, $p < 0,05$).

La figure 3 présente la variation temporelle de la densité des nauplii de copépodes pendant les périodes d'échantillonnage dans le Haut-Bandama. De façon globale, les nauplii de copépodes sont plus abondants en saison sèche (moyenne = 85 ind·L⁻¹) qu'en saison des pluies (53 ind·L⁻¹). Plus précisément, les plus grandes densités sont observées, dans l'ordre décroissant, en pleine saison sèche (PSS = 118 ind·L⁻¹), au début de la saison des pluies (DSP = 112 ind·L⁻¹) et au début de la saison sèche (DSS = 100 ind·L⁻¹). Au plan statistique, il existe une différence significative entre les densités des nauplii de copépodes des périodes d'échantillonnage (Anova, $p < 0,05$).

3.3 Influences des variables environnementales sur l'abondance des nauplii de copépodes

Les tableaux 2, 3 et 4 présentent les résultats des analyses des régressions multiples pas-à-pas réalisées entre les densités des nauplii de copépodes et les variables environnementales dans le Haut-Bandama respectivement en saison sèche, en saison des pluies et annuellement.

L'analyse de régression de la saison sèche présente 71,7 % des variances ($R^2 = 0,7170$; $F(5,14) = 7,09$; $p < 0,00169$). Au cours de la saison sèche, l'abondance des copépodes adultes (bêta = 0,75; $p = 0,0013$) et la conductivité (bêta = 0,75; $p = 0,0064$) sont les deux paramètres qui ont une influence positive et significative sur l'abondance des nauplii de copépodes dans le Haut-Bandama. Par contre, l'oxygène dissous (bêta = -0,41; $p = 0,0399$) et le pH (bêta = -0,38; $p = 0,044$) ont une influence négative et significative sur l'abondance des nauplii de copépodes.

L'analyse de régression multiple de la saison des pluies couvre 82,75 % ($R^2 = 0,8275$; $F(8,11) = 6,60$; $p < 0,0027$) des variances observées. Durant cette saison, il y a plus de paramètres qui influencent l'abondance des nauplii de copépodes contrairement à la saison sèche. Le manganèse (bêta = 0,57; $p = 0,0067$), la transparence de l'eau (bêta = 0,35; $p = 0,0282$) et la chlorophylle *a* (bêta = 0,61; $p = 0,0073$) influencent positivement et de façon significative la production et le développement des nauplii de copépodes. Cependant, le nitrate (bêta = -0,61; $p = 0,0272$) est le seul paramètre qui influence négativement et significativement l'abondance des nauplii de copépodes durant la saison des pluies.

Dans le Haut-Bandama, les nauplii de copépodes ont plus de contraintes environnementales en saison des pluies qu'en saison sèche. De façon annuelle (Tableau 4), l'analyse de régression multiple présente 47,33 % des variances ($R^2 = 0,47$; $F(7,32) = 4,11$; $p < 0,00254$). L'abondance des nauplii de copépodes est positivement et significativement influencée par l'abondance des copépodes adultes (bêta = 0,35; $p = 0,04$) et par la transparence de l'eau (bêta = 0,36; $p = 0,04$).

4. DISCUSSION

Les nauplii ont fait l'objet de plusieurs études à travers le monde, mais majoritairement dans les eaux salines. Ces études ont largement porté sur le célèbre *Artemia salina* en raison de son grand intérêt en aquaculture (SOUISSI et al., 2002; SOUISSI et al., 2008; TRIGUI, 2017) et sur l'espèce *Eurytemora affinis*. La présente étude portant sur les nauplii de

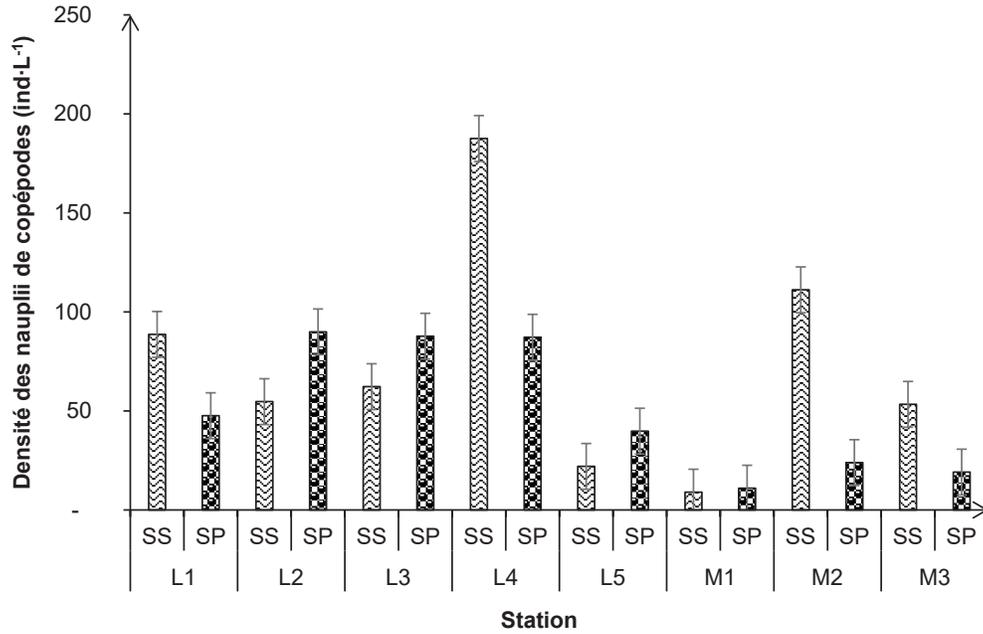


Figure 2. Variation spatio-saisonnière de la densité des nauplii de copépodes échantillonnés d'octobre 2017 à septembre 2018 dans le Haut-Bandama. L : stations de la rivière Lokpoho, M : stations du Bandama, SS : saison sèche, SP : saison des pluies.
Spatial-seasonal variation of density nauplii of copepods sampled from October 2017 to September 2018 in the Upper Bandama. L: stations of the Lokpoho River, M: stations of the Bandama River, SS: dry season, SP: rainy season.

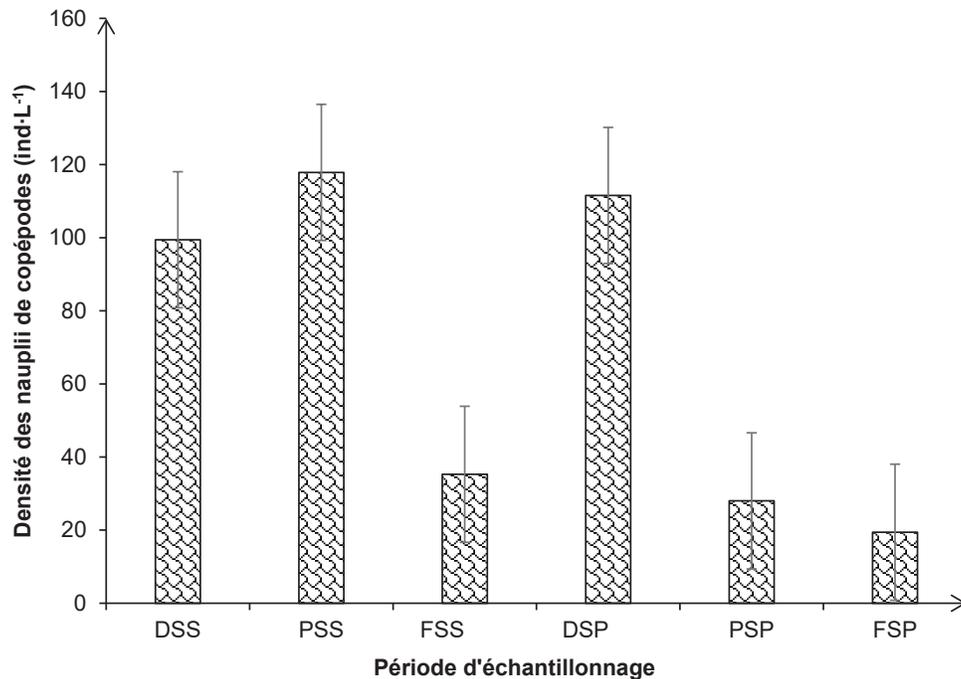


Figure 3. Variation par période d'échantillonnage de la densité des nauplii de copépodes dans le bassin du Haut-Bandama d'octobre 2017 à septembre 2018. DSS : début saison sèche, PSS : pleine saison sèche, FSS : fin de la saison sèche, DSP : début saison des pluies, PSP : pleine saison des pluies, FSP : fin de la saison des pluies.
Sampling period variation of copepod nauplii and adult density in the Upper Bandama, from October 2017 to September 2018. DSS: beginning of dry season, PSS: full dry season, FSS: end of dry season, DSP: beginning of rainy season, PSP: full rainy season, FSP: end of rainy season.

Tableau 2. Régression multiple pas-à-pas réalisée entre la densité des nauplii de copépodes et les variables environnementales dans le Haut-Bandama en saison sèche (SS) d'octobre 2017 à septembre 2018.

Table 2. Step-by-step multiple regression between the density of copepod nauplii and environmental variables in the Upper Bandama in the dry season (SS) from October 2017 to September 2018.

Paramètre environnemental	Bêta ^a	Erreur-type de bêta	B ^b	Erreur-type de B	t(14) ^c	Valeur-p
Ordonnée à l'origine	–	–	1349,92	680,18	1,98	0,07
SS - adultes	0,75	0,19	0,46	0,12	4,01	<0,01*
SS - conductivité	0,75	0,23	5,47	1,71	3,20	<0,01*
SS - K ⁺	-0,44	0,25	-32,75	18,62	-1,76	0,10
SS - oxygène	-0,41	0,18	-17,84	7,88	-2,26	0,04*
SS - pH	-0,38	0,17	-216,16	97,68	-2,21	0,04*

^a Coefficient de régression centré réduit; ^b Coefficient de régression non standardisé; ^c Test de Student

* Test significatif

Tableau 3. Régression multiple pas-à-pas réalisée entre la densité des nauplii de copépodes et les variables environnementales dans le Haut-Bandama en saison des pluies (SP) d'octobre 2017 à septembre 2018.

Table 3. Step-by-step multiple regression between the density of copepod nauplii and environmental variables in the Upper Bandama during the rainy season (SP) from October 2017 to September 2018.

Paramètre environnemental	Bêta ^a	Erreur-type de bêta	B ^b	Erreur-type de B	t(11) ^c	Valeur-p
Ordonnée à l'origine	–	–	179,33	450,91	0,40	0,70
SP - Mn ²⁺	0,57	0,17	155,32	46,66	3,33	<0,01*
SP - NH ₄ ⁺	0,05	0,23	74,81	374,02	0,20	0,85
SP - transparence	0,35	0,14	588,78	233,18	2,52	0,03*
SP - température	-0,35	0,44	-14,68	18,47	-0,79	0,44
SP - chlorophylle <i>a</i>	0,61	0,19	4,93	1,50	3,28	<0,01*
SP - NO ₃ ⁻	-0,61	0,24	-1 508,63	592,62	-2,55	0,03*
SP - conductivité	0,59	0,30	2,97	1,49	1,99	0,07
SP - Zn ²⁺	-0,59	0,38	-1 216,31	781,52	-1,56	0,15

^a Coefficient de régression centré réduit; ^b Coefficient de régression non standardisé; ^c Test de Student

* Test significatif

Tableau 4. Régression multiple pas-à-pas réalisée entre la densité des nauplii de copépodes et les variables environnementales dans le Haut-Bandama au cours de l'année d'octobre 2017 à septembre 2018.

Table 4. Annual step-by-step multiple regression between the density of copepod nauplii and environmental variables in the Upper Bandama from October 2017 to September 2018.

Paramètre environnemental	Bêta ^a	Erreur-type de bêta	B ^b	Erreur-type de B	t(32) ^c	Valeur-p
Ordonnée à l'origine	–	–	29,94	36,34	0,82	0,42
Adultes	0,35	0,16	0,25	0,12	2,19	0,04*
Transparence	0,36	0,17	88,56	41,70	2,12	0,04*
Mn ²⁺	0,27	0,16	81,49	48,21	1,69	0,10
Oxygène	- 0,28	0,15	- 8,81	4,92	- 1,79	0,08
Cl ⁻	- 0,06	0,24	- 1,17	4,80	- 0,24	0,81
NO ₂ ⁻	0,42	0,26	7 352,12	4 622,53	1,59	0,12
NO ₃ ⁻	- 0,32	0,31	- 721,56	695,69	- 1,04	0,31

^a Coefficient de régression centré réduit; ^b Coefficient de régression non standardisé; ^c Test de Student

* Test significatif

copépodes (calanoides et cyclopidés) d'eau douce est la première du genre à être réalisée dans les eaux de la Côte d'Ivoire.

Dans les eaux du Haut-Bandama, les nauplii de copépodes sont plus abondants en saison sèche qu'en saison des pluies, notamment en pleine saison sèche. Ce résultat est en accord avec ceux de ADANDEDJAN *et al.* (2017) obtenus dans le lac Nokoué au Bénin, de TORRENTERA et DODSON (2004) obtenus sur la péninsule du Yucatan au Mexique et ceux de BWEBWA (1996) dans le lac Tanganyika. Tous ces auteurs ont obtenu des abondances des nauplii de copépodes plus importantes en saison sèche qu'en saison des pluies. Cette augmentation de l'abondance en saison sèche pourrait s'expliquer par le fait que l'eau soit calme et moins agitée, contrairement à la saison des pluies. Ainsi, les nauplii rencontrent moins de contraintes dynamiques pour leur développement. En effet, les études de SOUISSI *et al.* (2008) et de DEVREKER *et al.* (2004) ont montré que les nauplii sont plus dépendants de l'hydrodynamisme des cours d'eau que les stades les plus âgés. Les stades âgés de copépodes sont capables de s'affranchir du courant à des moments précis, grâce à leurs capacités natatoires. Cette capacité natatoire leur permet de faire des migrations verticales. Ces migrations verticales permettent par exemple au copépode adulte *E. affinis* de rester dans sa zone préférentielle, mais aussi de disposer d'une plus grande abondance de matière organique (nourriture) (SOUISSI *et al.*, 2002). Contrairement aux adultes, les nauplii n'ont pas cette capacité de migration et de résistance à l'hydrodynamisme des eaux. La densité maximale des nauplii de copépodes obtenue en saison sèche pourrait aussi s'expliquer par la baisse du niveau de l'eau en saison sèche. D'après DEVREKER *et al.* (2012), au cours de la baisse des eaux, la proportion des nauplii de copépodes augmente par rapport aux adultes. En outre, les stations L4 de la rivière Lokpoho et M2 du fleuve Bandama sont calmes et moins agitées tant en saison sèche qu'en saison des pluies. Ces conditions hydrodynamiques expliquent les maximums d'abondances enregistrés dans ces stations au cours des saisons sèche et pluvieuse. Les eaux des stations L4 et M2 sont calmes durant toute l'année, car elles sont situées dans des lacs de barrage. Également, les nauplii de copépodes sont plus abondants en saison sèche en raison de l'augmentation de la température pendant la saison sèche. En effet, une température plus élevée favorise la croissance du zooplancton, la maturation sexuelle des adultes et la reproduction (DE-AZEVEDO et BONECKER, 2003; ETILÉ *et al.*, 2017). Selon ÜSTÜN et BAT (2014) et ETILÉ *et al.* (2017), la température affecte la production des œufs chez le zooplancton. Par ailleurs, les hypothèses rapportées par AMAT (1985), ROMAN et RODRIGUEZ (1986), DAHESHT *et al.* (2013) indiquent que l'insuffisance alimentaire dans le milieu jouerait un rôle important dans la production des nauplii de copépodes, car les femelles adultes de copépodes accélèrent la production des œufs pendant les périodes de stress alimentaire. En effet, en saison sèche, en l'absence de ruissellement, les eaux du Haut-Bandama

ne reçoivent pas de nutriments et restent donc plus ou moins pauvres. Cet appauvrissement en nutriment s'exprime dans nos résultats par une baisse de la concentration de chlorophylle *a* dans les eaux du Haut-Bandama en saison sèche. Cette baisse des nutriments dans les eaux pourrait aussi expliquer la densité élevée des nauplii de copépodes en saison sèche.

Au cours de la saison sèche, l'abondance des nauplii de copépodes est influencée positivement par l'abondance des adultes de copépodes et la conductivité. Celle-ci est influencée négativement par l'oxygène dissous et le pH. Ces résultats signifient que dans le Haut-Bandama, l'augmentation des adultes de copépodes combinées à une augmentation de la conductivité, et la baisse du pH et de l'oxygène dissous favoriseraient une augmentation de la production des nauplii de copépodes dans le milieu en saison sèche. En d'autres termes, la saison sèche, notamment la période de l'harmattan (PSS), correspondrait à la période favorable pour la reproduction des adultes de copépodes dans le Haut-Bandama. D'après les travaux de TRIGUI (2017), les faibles valeurs d'oxygène dissous et une diminution de la quantité d'aliments constituent des facteurs qui favorisent l'abondance des nauplii. En effet, une baisse de l'oxygène dissous et du pH de l'eau crée un milieu défavorable pour la majorité des prédateurs (poissons, alevins, rotifères, etc.) des nauplii de copépodes. La réduction de l'abondance des prédateurs favoriserait naturellement l'explosion et la prolifération des nauplii de copépodes dans le milieu.

Par ailleurs, le maximum de densité observé au début de la saison des pluies (DSP) serait provoqué par un changement brusque des caractéristiques physicochimiques et nutritives du milieu. Ainsi, le milieu devient plus riche en nutriments, en raison des ruissellements en provenance des terres agricole et urbaine de la région de Ferkessédougou. Ce changement brusque engendrerait un état de stress lié aux variables physicochimiques, aux nauplii de copépodes, pendant un certain temps avant que ceux-ci ne s'adaptent à la nouvelle condition créée par l'arrivée de la pluie. Cette même observation a été faite par TRIGUI (2017) sur les nauplii d'*A. salina* des eaux de la saline de Sahline (Tunisie). Ce stress accélérerait la production et la maturité des œufs. Effectivement, à cette période (DSP) les adultes de copépodes observés, notamment les femelles cyclopidés, avaient de nombreux sacs ovigères bien développés. L'accélération de la reproduction semble jouer un rôle de protection contre le stress provoqué par les conditions extrêmes (ALOUÏ, 1998; ZHANG et KING, 1993) au cours des huit mois de la saison sèche au nord de la Côte d'Ivoire.

En saison des pluies, le manganèse, la transparence de l'eau et la chlorophylle *a* ont une influence positive sur la production des nauplii de copépodes. Cependant, le nitrate a une influence négative sur la production des nauplii de copépodes dans le milieu. La chlorophylle constitue un indicateur de la densité

algale du milieu. La production de la chlorophylle est dépendante de la transparence de l'eau, car la chlorophylle *a* a besoin de lumière pour réaliser la photosynthèse. Les algues microscopiques constituent, de ce fait, une source primaire de nourriture pour les nauplii de copépodes. Ainsi une abondance de ces algues microscopiques est un facteur important pour augmenter la densité des nauplii de copépodes. Par exemple, l'alimentation des nauplii avec des micro-algues réalisée en élevage intensif par DOBBEILEIR *et al.* (1980) a donné de bons résultats (5 à 7 kg·m⁻³ d'artémies) (SORGELOOS *et al.*, 1983). Cependant, le nitrate semble limiter le développement des nauplii de copépodes malgré l'abondance de ressource nutritive en saison des pluies. D'après POWLSON *et al.* (2008) les éléments azotés comme le nitrate induisent une perturbation des écosystèmes aquatiques. En effet, pendant la saison des pluies, les activités agricoles du nord de la Côte d'Ivoire s'intensifient. Alors que ces activités ne peuvent vraiment se faire sans apport d'engrais en raison de l'appauvrissement du sol au bout de trois années de culture (GIGOU et TRAORÉ, 1991; AKANVOU, 1995). Le ruissellement des eaux de pluie depuis les terres agricoles vers la rivière Lokpoho et le fleuve Bandama participe fortement à augmenter la concentration de nitrate dans ces eaux. Cette explication se confirme dans nos résultats par la baisse de l'abondance des nauplii de copépodes en pleine et à la fin de la saison des pluies et par l'augmentation de la concentration de nitrate dans les eaux du Haut-Bandama en saison des pluies.

5. CONCLUSION

En conclusion, nous pouvons retenir que les nauplii de copépodes sont plus abondants en saison sèche qu'en saison des pluies. La rivière Lokpoho est plus riche en nauplii de copépodes que le fleuve Bandama. Les variables qui influencent le plus l'abondance des nauplii de copépodes sont l'abondance des copépodes adultes, la conductivité, le pH et l'oxygène dissous en saison sèche. En saison des pluies, ce sont le manganèse, la transparence, la chlorophylle *a* et le taux de nitrate qui influencent l'abondance des nauplii de copépodes. Cette étude nous montre l'influence négative des activités agricoles sur les nauplii de copépodes à travers l'influence négative du nitrate. Pourtant les nauplii semblent être une source principale d'alimentation pour les larves de poisson du Haut-Bandama. Cependant, le bien-fondé de la présente étude est que la période de la saison sèche est une période favorable à la production des alevins dans les eaux du Haut-Bandama.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Écotechnologie des eaux de l'Université Felix Houphouët Boigny et la SUCAF-CI pour leur contribution à la réalisation de cette étude. Nous tenons aussi à remercier les référés pour leurs inestimables contributions au perfectionnement du présent article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADANDE R., M.N.D. LIADY, C.E. TOSSAVI et E.D. FIOGBE (2017). The effect of zooplankton produced using rabbit manure and *Artemia* on the survival and growth of larvae of *Clarias gariepinus*, *Heterobranchus longifilis* and *Heteroclarias*. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.*, 5, 340-345.
- ADANDEDJAN D., E. MAKPONSE, L.C. HINVI et P. LALEYE (2017). Données préliminaires sur la diversité du zooplancton du lac Nokoué (Sud-Bénin). *J. Appl. Biosci.*, 115, 11476-11489.
- AKANVOU R.L. (1995). Production et valorisation du maïs à l'échelon villageois en Afrique de l'Ouest. *Actes du séminaire « Maïs prospère », 25-28 janvier 1994, Cotonou, Bénin, CIRAD-SAR, 304 p.*
- ALLOUI N. (1998). Les salines, sebkhat, chotts et l'*Artemia* en Tunisie : étude de cas de l'*Artemia* dans la saline de Mégrine. *Actes de colloque de l'IFREMER : Marais maritimes et aquaculture*, juin 1996, Rochefort, France, pp. 61-69.
- AMAT F. (1985). Biología de *Artemia*. *Informe Técnico del Instituto de Investigaciones Pesqueras*, 127, 3-53.
- BWEBWA D. (1996). *Variations saisonnière et spatiale dans l'abondance de la communauté pélagique du zooplancton à l'extrémité nord du lac Tanganyika*. Recherche pour l'aménagement des pêches au lac Tanganyika, FAO/FINNIDA, Bujumbura, Burundi, 24 p.
- DAHESHT L.E., Q. MUSTAFAYEV, F. MOHEBBI et R. AHMADI (2013). *Artemia* and chlorophyll *a* fluctuations in Urmia Lake. *Braz. J. Aquat. Sci. Tech.*, 17, 1-6.

- DAS A., B.D. SLAUGHTER, J.R. UNRUH, W.D. BRADFORD, R. ALEXANDER, B. RUBINSTEIN et R. LI (2012). Flippase-mediated phospholipid asymmetry promotes fast Cdc42 recycling in dynamic maintenance of cell polarity. *Nat. Cell Biol.*, 14, 304-310.
- DE-AZEVEDO F. et C.C. BONECKER (2003). Community size structure of zooplanktonic assemblage in three lakes on the upper River Paramã floodplain, PR-MS, Brazil. *Hydrobiologia*, 565, 147-158.
- DEVREKER D., S. SOUISSI et L. SEURONT (2004). Development and mortality of the first naupliar stages of *Eurytemora affinis* (Copepoda, Calanoida) under different conditions of salinity and temperature. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 303, 31-46.
- DEVREKER D., J. FORGET-LERAY et S. SOUISSI (2012). *Écologie du copépode Eurytemora affinis : une espèce au centre du réseau trophique estuarien*. Fascicule 2.8, Seine-Aval 2, France, 60 p.
- DOBBEILEIR J., N. ADAM, E. BOSSUYT, E. BRUGGRMAN et P. SORGELOOS (1980). New aspects of the use of inert diets for high culturing of brine shrimp. Dans : *The Brine Shrimp Artemia. Vol. 3. Ecology culturing, use in aquaculture*. PERSOONE G., P. SORGELOOS, O.A. ROELS, E. JASPERS (éd.), Universa Press, Wetteren, Belgique, pp. 165-174.
- ETILÉ N.R., M.K. AKA, M.N. AKA, M. PAGANO, V. N'DOUBA et N.J. KOUASSI (2009). Spatio-temporal variations of the zooplankton abundance and composition in a West African tropical coastal lagoon (Grand-Lahou, Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia*, 624, 71-189.
- ETILÉ R.N., M.N. AKA, M.K. AKA, M. PAGANO et V. N'DOUBA (2012). Spatiotemporal variations in the abundance, biomass, fecundity and production of *Oithona brevicornis* (Copepoda: Cyclopoida) in a West African tropical coastal lagoon (Grand-Lahou, Côte d'Ivoire). *Zool. Stud.*, 51, 627-643.
- ETILÉ R.N., G.K. BLAHOVA, T.A. BÉDIA, P.E. KOUAMELAN et V. N'DOUBA (2017). Spatio-temporal variability of *Acartia clausi* (Copepoda, Calanoida). Population structure, abundance, body length, and biomass in a tropical coastal lagoon (Grand-Lahou, Côte d'Ivoire). *Int. J. Sci.*, 6, 1-28.
- ETILÉ R.N., G.K. BLAHOVA, A.K. KOUAMÉ, G. GOORE BI, P.E. KOUAMELAN et V. N'DOUBA (2019). Spatio-temporal variability of *Oithona brevicornis* (Copepoda, Cyclopoida). Population dynamic and reproductive parameters in Fresco Lagoon (Côte d'Ivoire). *Nat. Sci.*, 17, 225-235.
- EVJEMO J.O., K.I. REITAN et Y. OLSEN (2003). Copepods as live food organisms in the larval rearing of halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L.) with special emphasis on the nutritional value. *Aquaculture*, 227, 191-210.
- FIOGBÉ E.D., P. KESTMONT et J.C. MICHA (2003). Performances zootechniques comparées de rotifères d'eau douce *Brachionus calyciflorus* et de nauplii d'*Artemia* chez les larves de la perche fluviatile *Perca fluviatilis*. *Tropicultura*, 21, 31-35.
- GIGOU J. et S. TRAORÉ (1991). *Rapport analytique des essais réalisés dans la région de Touba et de Korhogo*. Rapport IDESSA, Bouaké, Côte d'Ivoire, 109 p.
- GLENCROSS B.D. (2009). Exploring the nutritional demand for essential fatty acids by aquaculture species. *Rev. Aquacult.*, 1, 71-124.
- GUILLAUMET J.L. et E. ADJANOHOOUN (1971). La végétation. Dans : *Le milieu naturel de Côte d'Ivoire*. Mémoire N° 50, ORSTOM, Paris, France, pp. 161-262.
- HABERMAN J. (1998). Zooplankton of Lake Vörtjäv. *Limnology*, 28, 49-65.
- HANSEN M.H. (2011). *Effects of feeding with copepod nauplii (Acartia tonsa) compared to rotifers (Brachionus ibericus, Cayman) on quality parameters in Atlantic cod (Gadus morhua) larvae*. Mémoire de maîtrise, Univ. norvégienne de sciences et de technologie, Trondheim, Norvège, 69 p.
- LÉVÊQUE C., C. DEJOUX et A. ILTIS (1983). Limnologie du fleuve Bandama (Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia*, 100, 113-141.
- MARTINEZ SILVA M.A. (2018). *Performance et valeur nutritionnelle des nauplii de copépodes comme nourriture vivante dans l'élevage des larves de plie rouge (Pseudopleuronectes americanus)*. Mémoire de maîtrise, Univ. du Québec à Rimouski, Canada, 76 p.
- MITSUZAWA A., H. MIYAMOTO et H. UEDA (2017). Feeding selectivity of early-stage fish larvae on the nauplii and eggs of different copepod species. *Plankton Benthos Res.*, 12, 115-122.

- MONNEY I.A., R.N. ETILÉ, OUATTARA I.N. et T. KONÉ (2015). Seasonal distribution of zooplankton in the Aby-Tendo-Ehy lagoons system (Côte d'Ivoire, West Africa). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9, 2362-2376.
- N'DA S.A., R.N. ETILÉ, K.G. N'ZI, S. BERTÉ et V. N'DOUBA (2015). Composition and distribution of zooplankton relationship to environmental factor in a tropical river (Bagoé, Côte d'Ivoire). *Int. Res. J. Biol. Sci.*, 4, 1-11.
- OHS C.L., J.C. ERIC et A. RHODES (2019). Choosing an appropriate live feed for larviculture of marine fish. IFAS Extension, University of Florida, <https://edis.ifas.ufl.edu/fa167> (consultation le 26 février 2020).
- PÉNÉ C.B. et M. KÉHÉ (2005). Performances de trois variétés de canne à sucre soumises au rationnement hydrique en pré-maturation au nord de la Côte d'Ivoire. *Agron. Afr.*, 17, 7-18.
- POWLSON D.S., T.M. ADDISCOTT, N. BENJAMIN, K. CASSMAN, T. DE KOK, A. VAN GRINSVEN, J.L. L'HIRONDEL, A. AVERY et C. VAN KESSEL (2008). When does nitrate become a risk for humans? *J. Environ. Qual.*, 37, 291-295.
- ROMAN M. et A. RODRIGUEZ (1986). Cultivo de *Artemia* en estanques de salinas de Cádiz (España). *Invest. Pesq.*, 50, 407-419.
- SORGELOOS P., E. BOSSUYT, P. LAVENS, P. LÉGER., P. VANHAECKE. et D. VERSICHELE (1983). The use of brine shrimp *Artemia* in crustacean hatcheries and nurseries. Dans : *Handbook of mariculture*. MC VEY J.P. (éd), CRC Press, Boca Raton, Florida (FL), États-Unis, pp. 71-96.
- SOUISSI S., D.D. DEVREKER, L. SEURONT et J.C. DAUVIN (2002). *Dynamique de population du copépode Eurytemora affinis dans l'estuaire aval : couplage entre les processus physiques et biologiques*. Programme scientifique Seine-Aval, France, 49 p.
- SOUISSI S., J. FORGET-LERAY, H. BUDZINSKI, J.C. DAUVIN, F.G. SCHMITT, J.S. HWANG et C. EUNMI LEE (2008). Synthèse des travaux réalisés sur le modèle biologique Eurytemora affinis dans Seine-Aval 3. Dans : *État des ressources biologiques : dynamique du zooplancton dans l'estuaire de la Seine*. Rapport Seine-Aval, France, 6 p.
- TORRENTERA L. et S.I. DODSON (2004). Ecology of the brine shrimp *Artemia* in the Yucatan, Mexico, Salterns. *J. Plankton Res.*, 26, 617-624.
- TRIGUI K. (2017). *Recherches sur l'éco-biologie de l'Artemia (Artemia salina) de la saline de Sahline et effet des principaux facteurs externes sur sa survie en vue de maîtriser son élevage*. Thèse de doctorat, Univ. Carthage, Tunisie, 113 p.
- ÜSTÜN F. et L. BAT (2014). The egg production rate of *Acartia* (*Acartiura*) *clausi* Giesbrecht, 1889 (Copepoda) in Sinop Peninsula (Southern Black Sea). *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.*, 14, 605-613.
- ZEA BI U.C., I.N. OUATTARA et S. BERTE (2019). Effects of different types of commercial feed on the zootechnical performance of larvae of the "Brazil" strain of tilapia of the Nile *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). *Int. J. Curr. Res.*, 11, 3917-3922.
- ZHANG L. et C.E. KING (1993). Life history divergence of symmetric diploid and ployploid populations of brine *Artemia* parthenogenetica. *Oecologia*, 9, 177-182.