

**BURKINA FASO  
UNITE-PROGRES-JUSTICE  
MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS  
SECONDAIRE ET SUPERIEUR**

**UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO**

**INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL**



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE**

En vue de l'obtention du

**DIPLÔME D'INGENIEUR / MASTER 2 DU DEVELOPPEMENT RURAL**

**OPTION: GESTION ET AMÉNAGEMENT DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS**

**(GAEF)**

**ANALYSE DU PHYTOPLANCTON DANS LE RÉGIME  
ALIMENTAIRE DE *SAROTHERODON GALILAEUS* (LINNAEUS, 1758)  
DANS LE LAC DE BARRAGE DE ZIGA**

Présenté par **WONI Dominique**

Maître de stage: **M. Augustin B. NEYA**

Directeur de Mémoire: **Pr. André T. KABRE**

N°: 00.....-2014/(GAEF)

Mai 2014

*Je dédie ce mémoire,*

*À mon oncle FRERE ANDRE*

*À mes PARENTS*

*À mes frères et sœurs*

*Vous qui m'avez  
soutenu !!*

*Merci et Merci !!!*

# Remerciements

Nous remercions le **Directeur General de l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA)** pour nous avoir accueillie au sein de cette structure et pour l'intérêt porté à nos travaux

Nous remercions le **Directeur d'exploitation de l'ONEA** pour ses soutiens multiformes. Nous n'aurons les mots convenables pour exprimer notre gratitude envers lui merci.

Nous portons notre reconnaissance aux Directeurs du laboratoire central de l'ONEA **Monsieur Francis KERE** et **Monsieur Diarra** pour leur soutien matériel et leur disponibilité.

Notre sincère remerciement au **laboratoire Canadien** et au **laboratoire Marocain** pour l'appui conseil et technique

Nous sommes extrêmement reconnaissant au **Professeur André T. KABRE**, notre directeur de mémoire qui nous a initié dans l'univers des milieux aquatiques et dans la faune parasitaire des poissons, son encadrement de grande qualité, ses conseils, sa disponibilité malgré ses diverses occupations, son écoute, son soutien et sa confiance.

Nous sommes également reconnaissants à **Monsieur Augustin B. NEYA**, notre maitre de stage, ses critiques et commentaires nous ont aidé dans nos réflexions scientifiques et dans l'amélioration de notre travail. Nous lui sommes redevables de tout ce qu'il nous a appris sur le terrain.

Nous remercions le **Docteur Adama OUEDA**, il a toute notre reconnaissance pour l'aide inestimable apportée lors de l'élaboration du protocole, du dépouillement stomacal des poissons et du traitement statistiques des données. Il reconnaîtra dans ces pages plusieurs de ses observations.

Nous remercions profondément **Mademoiselle SISSAO Rokyatou** Ingénieur du développement rural. Elle a fortement contribué à l'amélioration du présent document. Nous lui sommes reconnaissants et nous aurons toujours besoins de ses conseils.

Nous tenons à remercier toute l'équipe de la station de traitement de l'eau potable de Ziga. Nous nous adressons au chef de la station **Monsieur COULIBALLY, Madame SODRE, Messieurs ZONNO, YAMEOGO, DIALLO, SANOU, IDIENI et GERARD** pour leur disponibilité, leur gentillesse, leur dynamisme et leur bonne humeur. Nous sommes spécialement reconnaissants envers **Alidou KONKISRE** et **Ahmed NEYA**. Ils nous ont toujours accueillie chaleureusement et ont participé à nos travaux à Ziga

Nous remercions pour son hospitalité, **Madame Jeanne OUEDRAOGO** qui nous a accueillie à Ziga et nous a toujours considéré comme un membre de sa famille.

Merci à l'équipe du détachement militaire basé à Ziga pour leur collaboration.

Je tiens également à remercier plusieurs collègues et personnes qui ont partagés des moments intéressants : **Safiata OUEDRAOGO, Léonce YARO, Flore SOME, Abdou SANON, Lossenie MILLOGO, Céline DAO, Boureima SANOU** et tous mes camarades de classe.

# Table des matières

Remerciements .....	ii
Liste des figures .....	vi
Liste des tableaux .....	vii
Liste des photos.....	viii
Sigles et abréviations .....	ix
Résumé .....	x
Summary .....	xi
Introduction .....	1
Première partie : Synthèse bibliographique .....	4
<b>Chapitre 1. Régimes alimentaires et réseaux trophiques des poissons.....</b>	<b>5</b>
I. Réseaux trophiques et niveaux trophiques.....	5
II. Stratégie alimentaire .....	6
III. Variabilité du régime alimentaire .....	6
IV. Adaptation morphologique au régime alimentaire .....	6
V. Rythmes alimentaires.....	7
<b>Chapitre 2. Présentation de l'espèce étudiée : <i>Sarotherodon galilaeus</i> (Linnaeus, 1758)..</b>	<b>8</b>
I. Biologie et écologie de <i>Sarotherodon galilaeus</i> (Linnaeus, 1758).....	8
1.1. Aire de répartition.....	8
1.2. Systématique .....	8
1.3. Morphologie.....	8
1.4. Habitat et mode de vie .....	9
II. Reproduction .....	9
2.1. Détermination des sexes .....	9
2.2. La gamétogenèse.....	10
<b>Chapitre 3. Le phytoplancton .....</b>	<b>11</b>
I. Définition .....	11
II. Habitat et écologie .....	11
III. Diversité spécifique et diversité écophysiological.....	12
<b>Deuxième partie : approche expérimentale .....</b>	<b>14</b>
<b>Chapitre 1. Présentation de la zone d'étude .....</b>	<b>15</b>
I. Situation géographique et Climatique .....	15
1.1. Présentation .....	15
1.2. Le climat.....	16

1.3.	<i>Le sol</i> .....	16
1.4.	<i>La végétation des cours et plan d'eau alimentant Ziga</i> .....	16
1.5.	<i>Les ressources halieutiques</i> .....	17
1.6.	<i>Le niveau du lac</i> .....	17
II.	<b>Quelques activités autour du barrage de Ziga</b> .....	19
	<b>Chapitre 2. Matériels et Méthodes</b> .....	<b>20</b>
I.	<b>Matériels de l'étude</b> .....	20
1.1.	<i>Échantillonnage d'eau et Caractérisation physico-chimique du milieu</i> .....	20
1.2.	<i>Échantillonnage et conservation du matériel biologique</i> .....	21
II.	<b>Méthodes</b> .....	24
2.1.	<i>Site d'échantillonnage</i> .....	24
2.2.	<i>Étude physico-chimique du milieu</i> .....	25
2.3.	<i>Récolte et traitements des spécimens de <i>Sarotherodon galilaeus</i></i> .....	25
2.4.	<i>Conditionnement des estomacs</i> .....	25
2.5.	<i>Dépouillements des contenus stomacaux</i> .....	25
2.6.	<i>Observation et identification des proies</i> .....	27
2.7.	<i>Détermination de la biomasse des proies</i> .....	27
2.8.	<i>Étude du régime alimentaire</i> .....	28
2.9.	<i>Diagramme de Costello</i> .....	30
2.10.	<i>Analyse des données</i> .....	31
	<b>Chapitre 3. Résultats et discussion</b> .....	<b>32</b>
I.	<b>Résultats</b> .....	32
1.1.	<i>Paramètres physico-chimiques de l'eau du lac</i> .....	32
1.1.1.	<i>Le pH</i> .....	34
1.1.2.	<i>La température</i> .....	35
1.1.3.	<i>La turbidité</i> .....	36
1.1.4.	<i>L'oxygène dissous</i> .....	37
1.1.5.	<i>Le nitrite</i> .....	38
1.1.6.	<i>Le nitrate</i> .....	39
1.1.7.	<i>L'orthophosphate</i> .....	40
1.1.8.	<i>La conductivité électrique</i> .....	41
1.1.9.	<i>La transparence</i> .....	42
1.2.	<i>Contenu stomacal des spécimens <i>Sarotherodon galilaeus</i></i> .....	43
1.2.1.	<i>Présentation du genre <i>Melosira</i></i> .....	43
1.2.2.	<i>Présentation du genre <i>Peridinium</i></i> .....	43
1.2.3.	<i>Présentation de <i>Microcystis earuginosa</i></i> .....	43
1.2.4.	<i>Présentation du genre <i>Cymbella</i></i> .....	43

1.2.5.	Présentation du genre <i>Cosmarium</i> .....	44
1.2.6.	Présentation du genre <i>Navicula</i> .....	44
1.2.7.	Présentation du genre <i>Phacus</i> .....	44
1.2.8.	Présentation du genre <i>Euglena</i> .....	44
1.3.	Régime alimentaire générale.....	46
1.3.1.	Aperçu des composants de la MFI .....	47
1.3.2.	Diagramme de Costello .....	47
II.	Discussion .....	50
2.1.	Analyse du pH.....	50
2.2.	Analyse de la température .....	50
2.3.	Analyse de la transparence et de turbidité.....	51
2.4.	Analyse de la concentration de l'oxygène dissous.....	52
2.5.	Analyse de la concentration du nitrate et du nitrite .....	52
2.6.	Analyse de la concentration de l'orthophosphate .....	53
2.7.	Analyse de la conductivité électrique .....	53
2.8.	Analyse du rôle de <i>S galilaeus</i> dans la lutte contre la prolifération des algues dans le barrage.....	54
	Conclusion.....	55
	Perspectives et recommandations .....	56
	Bibliographie.....	58

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Carte d'occupation spatiale des terres autour du lac de barrage de Ziga Source NEYA, 2011 .....	15
<b>Figure 2</b> : Courbe d'évolution du volume moyen annuel stocké dans le barrage de Ziga .....	18
<b>Figure 3</b> : géolocalisation des points de prélèvement sur une portion du lac de barrage de Ziga .....	24
<b>Figure 4</b> : Cellule de Malassez .....	27
<b>Figure 5</b> : Interprétation du diagramme de Costello d'après Amundsen et al. (1996) .....	31
<b>Figure 6</b> : courbes mensuelles d'évolution du pH .....	34
<b>Figure 7</b> : courbes d'évolution de la température .....	35
<b>Figure 8</b> : courbes d'évolution de la turbidité .....	36
<b>Figure 9</b> : courbes d'évolution de la concentration en oxygène dissous .....	37
<b>Figure 10</b> : courbes d'évolution de la concentration du nitrite .....	38
<b>Figure 11</b> : courbes d'évolution de la concentration du nitrate.....	39
<b>Figure 12</b> : courbes d'évolution de la concentration de l'orthophosphate .....	40
<b>Figure 13</b> : courbes d'évolution de la conductivité électrique .....	41
<b>Figure 14</b> : courbes d'évolution de la transparence .....	42
<b>Figure 15</b> : Fréquences des proies .....	47
<b>Figure 16</b> : diagramme de Costello.....	49
<b>Figure 17</b> : groupement spécifique des sous-populations .....	49

## Liste des tableaux

**Tableau 1** : récapitulatif des valeurs moyennes et écart-type enregistrés sur les points A, B et C au cours des mois de septembre, octobre, novembre, décembre et janvier .....33

**Tableau 2** : régime alimentaire général de *Sarotherodon galilaeus* à Ziga.....46

## Liste des photos

<b>Photo 1</b> : Quelques vues sur les paysages et les activités au niveau du lac de barrage de Ziga .....	19
<b>Photo 2</b> : mesure directe avec le pH-mètre multi-paramètre.....	20
<b>Photo 3</b> : Turbidimètre.....	20
<b>Photo 4</b> : Disque de secchi LAMOTTE .....	21
<b>Photo 5</b> : Spectrophotomètre .....	21
<b>Photo 6</b> : <i>Sarotherodon galilaeus</i> , <b>Linnaeus, 1758</b> .....	21
<b>Photo 7</b> : ichtyomètre .....	23
<b>Photo 8</b> : dispositif d'observation et de comptage des proies. ....	23
<b>Photo 9</b> : estomac et intestin isolés sur une boîte de pétri.....	26
<b>Photo 10</b> : Conditionnement. ....	26
<b>Photo 11</b> : <i>Melosira</i> sp vue au microscope optique G.40 X source Woni.....	44
<b>Photo 12</b> : <i>Peridinium</i> sp vue au microscope optique G.40 X source Woni.....	44
<b>Photo 13</b> : <i>Cymbella</i> sp vue au microscope optique G.40X source Woni.....	45
<b>Photo 14</b> : <i>Microcystis eariginosa</i> vue au microscope optique G.40X source Woni.....	45
<b>Photo 15</b> : <i>Cosmarium</i> sp vue au microscope optique G.40X source Woni.....	45
<b>Photo 16</b> : <i>Navicula</i> sp en décomposition vue au microscope optique G.40X source Woni	45
<b>Photo 17</b> : <i>Euglena</i> sp vue au microscope optique G.40X source Woni .....	45
<b>Photo 18</b> : <i>Phacus</i> sp vue au microscope optique G.40X source Woni.....	45

## **Sigles et abréviations**

**µm** : Micromètre.

**DGRH** : Direction Générale des Ressources Halieutiques

**FAO** : Food and Agricultural Organization

**GPS** : Global Positioning System

**MFI** : Main Food Item

**µS** : Microsiemens

**NTU** : Nephelometric Turbidity Unit

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**ONEA** : Office National de l'Eau et de l'Assainissement

**PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'Eau et l'Environnement

## Résumé

Le degré actuel de pollution de l'eau et de dégradation de la biodiversité aquatique nécessitent des mesures de prévention, pour atténuer les risques de contamination des ressources en eau. L'objectif de cette étude initiée par l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) est l'utilisation de la lutte biologique pour limiter l'émergence du phytoplancton dans le lac de barrage de Ziga. Ce travail préliminaire vise à analyser le régime alimentaire d'un poisson phytoplanctophage (*Sarotherodon galilaeus*) afin de caractériser son efficacité dans le filtrage et le broutage du phytoplancton présent dans le barrage. Pour ce faire des spécimens de *Sarotherodon galilaeus* ont été collectés avec les pêcheurs locaux pour analyser le phytoplancton contenu dans les estomacs et intestins au laboratoire. L'analyse des paramètres physico-chimiques (le pH, la température, la turbidité et la transparence, la conductivité électrique, les concentrations en oxygène dissous, en nitrite, en nitrate et en orthophosphate) de l'eau du barrage a été effectuée sur environ 670 hectares. Ces paramètres se situent dans des intervalles propices à la prolifération du phytoplancton. De même tous les paramètres à l'exception de la turbidité sont favorables à la production de *Sarotherodon galilaeus* dans ce milieu. L'analyse du phytoplancton contenu dans les estomacs et intestins des spécimens a permis de dénombrer huit genres d'algues. À partir des calculs du MFI-cumulé, les algues préférentielles sont le genre *Melosira*, le genre *Peridinium* et le genre *Microcystis* ; les algues qui viennent en seconde position sont celles du genre *Cymbella*. Celles consommées accidentellement par les spécimens sont le genre *Cosmarium*, *Navicula*, *Phacus* et *Euglena*. La stratégie alimentaire de l'espèce consiste à se subdiviser en sous-population chacune ayant une préférence dans l'utilisation de *Peridinium*, *Microcystis* et *Cosmarium*. Par ailleurs, tous les individus de *S. galilaeus* consomment *Melosira*. Cette étude montre donc que l'élevage de *S. galilaeus* à Ziga pourrait contribuer à défendre et à contrôler le développement des peuplements phytoplanctoniques à l'intérieur du barrage et par conséquent la diminution des produits chimiques utilisés pour éliminer les algues.

Mots clés : Pollution, *Sarotherodon galilaeus*, régime alimentaire, lutte biologique, phytoplancton

## Summary

The current degree of water pollution and the degradation of aquatic biodiversity need measures of prevention, to mitigate the risks of contamination of water resources. The objective of this study initiated by the National Office of Water and Sanitation (ONEA) is the use of biological control to limit the emergence of the phytoplankton in the lake of Ziga dam. This preliminary work aims to analyze the diet of one fish phytoplanktophage (*Sarotherodon galilaeus*) in order to characterize its efficiency in the filtering and the grazing of phytoplankton present in the dam. To do this the specimens of *Sarotherodon galilaeus* have been collected with the local fishermen to analyze the phytoplankton content in the stomachs and intestines at the laboratory. The control of physico-chemical parameters (pH, temperature, turbidity and transparency, electrical conductivity, the concentrations in dissolved oxygen, nitrite, nitrate and orthophosphate) of water from the dam has been carried out on 670 hectares. These settings are located in intervals conducive to the proliferation of phytoplankton. Similarly all the settings with the exception of turbidity are favorable to the production of *Sarotherodon galilaeus* in this environment. The analysis of the phytoplankton content in the stomachs and intestines of specimens has allowed to count eight genera of algae. On the basis of calculations of the MFI-accumulated, the algae are preferential the genus *Melosira*, the genus *Peridinium* and the genus *Microcystis* ; algae who come in second position are those of the genus *Cymbella*. Those consumed accidentally by the specimens are the genus *Cosmarium*, *Navicula*, *Phacus* and *Euglena*. The food strategy of the species is to be divided into sub-population each specializing in the use of *Peridinium*, *Microcystis* and *Cosmarium*. In addition, all individuals of *S. galilaeus* consume *Melosira*. This study therefore shows that the breeding of *S. galilaeus* to Ziga could contribute to defend and to control the development of the phytoplanktonic stands on the inside of the dam and therefore the decrease of the chemical products used to eliminate the algae.

Key words : Pollution, *Sarotherodon galilaeus*, diet, biological control, phytoplankton

## Introduction

Il est connu que l'existence humaine est tributaire de l'eau (PNUE, 1991). La géosphère, l'atmosphère et la biosphère entretiennent toutes trois des relations étroites avec l'eau. Celle-ci interagit avec l'énergie solaire pour déterminer le climat, et participe à la transformation et au transport des substances physiques et chimiques nécessaires à toute vie sur Terre. Les eaux de surface occupent la plus grande partie du globe terrestre. Environ 98% de ces eaux sont marines ; les 2% restant constituent les eaux continentales représentées par les rivières, les lacs et les étangs (Grogga, 2012). Ces eaux continentales sont d'une très grande importance pour les activités humaines telles que les activités domestiques comme la consommation et les loisirs, pour les activités agricoles et halieutiques et pour les activités industrielles. Ainsi les milieux aquatiques continentaux procurent une variété de biens et de services à l'homme, ce qui leur confère une valeur économique irremplaçable (Gleick, 1993; Costanza *et al.*, 1997). La dégradation de ces ressources est une question majeure. Elle découle essentiellement des pollutions ponctuelles et diffuses, ainsi que de la modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau (Malmqvist et Rundle, 2002). Dans la mesure où la distribution des organismes colonisant les milieux aquatiques est principalement dictée par des processus autoécologiques (Vannote *et al.*, 1980; Dolédec *et al.*, 1999), les perturbations anthropiques ont une répercussion très forte sur la biodiversité aquatique (Sweeney *et al.*, 2004).

En Afrique, de nombreux plans d'eau sont irréversiblement endommagés par la pollution et/ou l'eutrophisation. Dans les eaux de surface, le phytoplancton constitue la base de la chaîne trophique. L'apparition de ce phytoplancton est liée à plusieurs facteurs, notamment aux concentrations élevées en nutriments (Kilham et Kilham, 1984), à la stabilité hydrodynamique (Reynolds *et al.*, 1993), à la température (Reynolds, 1998) et à la lumière (Dusenberry *et al.*, 1999).

Au Burkina Faso la maîtrise et la pérennisation des ressources hydrauliques sont au cœur des problématiques du développement national. Le pays compte plus de 1000 plans d'eau (Kabré *et al* 2000) dont les plus grandes sont les lacs de barrage de Bagré (25.000 ha), de la Komienga (20.000 ha), du Sourou/Léry (10.000 ha), de Kanazoé (8.000 ha) et de Ziga (7.000 ha) (DGRH, 2011). Le barrage de Ziga a été construit pour répondre aux besoins croissants d'alimentation de la ville de Ouagadougou en eau potable. Cependant l'accroissement de la population de cette ville n'est pas le seul facteur lié à l'insécurité de l'eau. Il existe d'autres facteurs, sources de menaces potentielles à la pérennité de l'eau. Il s'agit notamment de l'envasement et de l'émergence des algues (Neya, 2011). S'agissant des algues au niveau de cette retenue la flore

phytoplanctonique est peu connue. L'évolution quantitative du peuplement phytoplanctonique a été étudiée par Neya (2011) mais aucune étude de fonctionnement trophique de l'écosystème n'a été réalisée à Ziga. Il reste donc à comprendre les facteurs susceptibles de provoquer et/ou de contrôler les successions des espèces phytoplanctoniques.

La compréhension des processus impliqués dans la diminution des algues consiste à considérer les interactions entre les composantes des écosystèmes lacustres. Ces interactions se définissent comme un flux d'influence unidirectionnel des sels nutritifs vers le phytoplancton, le zooplancton, et finalement les poissons, par l'intermédiaire de processus de contrôle physique, chimique, puis biologique (Straskraba, 1967). L'effet exercé par les poissons planctophages sur les communautés zoo et phytoplanctoniques ne fut reconnu qu'à partir des travaux de Hrbáček *et al.* (1961), Hrbáček (1962), Brooks et Dodson (1965), Straskraba (1965) et Lazzaro (1987). Bien que la variabilité de la réponse du phytoplancton à la prédation par les poissons révèle l'importance d'autres facteurs (tels que la limitation en sels nutritifs et la compétition interspécifique des algues) ces auteurs démontrèrent que les communautés zoo- et phytoplanctoniques pouvaient être affectées par l'alimentation sélective des poissons planctophages. De nombreux travaux en limnologie ont porté sur cet impact radical des poissons sur les communautés planctoniques. Cependant les données existantes sur le régime phytoplanctophage des poissons à Ziga ne sont décrites que par Neya (2011). C'est dans cette perspective que le présent travail a pour but de contribuer à l'acquisition d'une base de données sur l'interaction poisson-algue à Ziga, en termes qualitatif et quantitatif. Le thème défini est : Analyse du phytoplancton dans le régime alimentaire de *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus, 1758). Ces données, mises en relation avec les données limnologiques et météorologiques, peuvent permettre une meilleure compréhension du fonctionnement écologique du lac de Ziga. *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus, 1758) a été retenu à cause de sa tendance phytoplanctophage, qui a été mise en évidence par plusieurs auteurs : Welman (1948), Daget (1957, 1961), Lowe (1959), Ben-Tuvia (1959), Holden et Green (1960), Petr (1967), FAO (1970), Neya (2011). De plus cette espèce fait partie des espèces locales et les plus abondantes au niveau de ce lac.

L'objectif global de cette étude est de s'imprégner du comportement alimentaire de *Sarotherodon galilaeus* pour lutter biologiquement contre les efflorescences algales dans le plan d'eau du barrage de Ziga.

**De façon plus spécifique nous étudierons :**

- ✓ la composition et la diversité du phytoplancton dans l'alimentation de *Sarotherodon galilaeus* ;
- ✓ le degré de préférence alimentaire et la stratégie adoptée par l'espèce pour s'alimenter ;
- ✓ la qualité physico-chimique des eaux du lac de barrage de Ziga.

**À cet effet les hypothèses suivantes ont été émises :**

- ✓ la qualité physico-chimique des eaux du milieu est propice à la prolifération du phytoplancton.
- ✓ le régime alimentaire de *S. galilaeus* contribue à l'éradication des efflorescences algales.

Ce mémoire est structuré en deux grandes parties ; la première fait une synthèse bibliographique et la seconde est relative à l'approche expérimentale.

## **Première partie : Synthèse bibliographique**

# Chapitre 1. Régimes alimentaires et réseaux trophiques des poissons

## I. Réseaux trophiques et niveaux trophiques

Dans les écosystèmes aquatiques, trois principales voies trophiques peuvent être distinguées : le réseau trophique herbivore, le réseau trophique détritique et le réseau trophique microbien. Le réseau trophique herbivore ou classique est dominé par les communautés phytoplanctoniques de grande taille qui assimilent plutôt les nitrates et les phosphates et sont donc impliquées dans la production dite nouvelle. Dans la zone benthique, les chaînes trophiques tirent leur origine du matériel organique vivant ou mort, qui sédimente du milieu pélagique ou qui est d'origine allochtone (Paugy et Lévêque, 1999). Dans le réseau trophique microbien, la matière organique dissoute produite par l'exsudation phytoplanctonique et l'activité des consommateurs ("sloppy feeding", excréation et production de fèces) est consommée efficacement par les bactéries hétérotrophes. Cette biomasse bactérienne produite est consommée par le nanoplancton hétérotrophe et retourne ainsi dans le réseau trophique. Les éléments minéraux libérés de la matière organique peuvent ainsi connaître une deuxième vie dans la couche euphotique et servir à produire un surcroît de production primaire, dite de régénération. (Torréton, 1999).

Tout écosystème, en particulier ceux des milieux aquatiques, peut être décrit comme la juxtaposition de différents niveaux trophiques. Un niveau trophique regroupe tous les organismes dont le mode de nutrition est identique ou très similaire du point de vue des aliments ingérés. À la base de l'écosystème, les organismes photosynthétiques (mais aussi chimiosynthétiques) qui croissent à partir d'éléments minéraux occupent le niveau I. Ce sont les producteurs primaires. Les consommateurs primaires se nourrissent aux dépens de ces organismes et occupent le niveau II. Il en est de même des consommateurs secondaires et tertiaires, qui constituent les niveaux III et IV, dont la nutrition repose sur les organismes du niveau trophique immédiatement inférieur (Paugy et Lévêque, 1999).

## **II. Stratégie alimentaire**

Les stratégies alimentaires peuvent être vues comme des systèmes de prise de décision pour répondre à des questions du type : où un individu doit-il se nourrir ? Vers quelles proies doit-il diriger sa recherche (Cezilly *et al.*, 1991) ? Le poisson doit donc décider du moment et du lieu où il va se nourrir, de la durée de la période de nutrition, des proies qui sont les plus adéquates et de la manière dont il va rechercher et capturer ces proies. Il s'agit ici donc de faire efficacement face à différentes contraintes de l'environnement (la prédation, la compétition, la disponibilité de la nourriture) et aux contraintes internes (morphologie et physiologie de la proie et celles du prédateur lui-même).

## **III. Variabilité du régime alimentaire**

Bien qu'il soit toujours possible de classer le régime alimentaire d'un poisson dans l'une ou l'autre de ces catégories ou niveaux trophiques défini plus haut, celui-ci est rarement fixe et peut en effet varier en fonction de plusieurs facteurs (Lauzanne, 1988 et Paugy et Lévêque, 1999).

Selon de nombreuses auteurs (Adebisi, 1981 ; Paugy et Lévêque, 1999 ; Kouamelan *et al.*, 2000 et Pusey *et al.*, 2000), certaines espèces de poissons présentent des changements ontogéniques de régime alimentaire. Lauzanne (1988) rapporte qu'il est vraisemblable que la plupart des poissons microphages, mangeurs des particules nutritives du sédiment ou filtreurs du plancton gardent le même régime tout au long de leur vie. Cependant, chez les macroprédateurs à l'état adulte, les jeunes alevins sont d'abord zooplanctophages, puis passent par un régime transitoire à base d'insectes et de crevettes avant d'acquérir leur régime définitif essentiellement composé de poissons.

## **IV. Adaptation morphologique au régime alimentaire**

Les poissons disposent de plusieurs types de spécialisations morphologiques respectivement adaptées à des régimes alimentaires bien déterminés et à des modes précis de collecte de proies. Ces modifications touchent par exemple la morphologie de la tête et de la bouche, la longueur de l'intestin, la présence d'organe électrique et la forme du corps qui détermine l'agilité, la puissance et la rapidité du poisson (Paugy et Lévêque, 1999).

## **V. Rythmes alimentaires**

Beaucoup d'espèces possèdent un rythme journalier d'activité lié à l'alimentation. Elles se nourrissent habituellement le jour ou la nuit, avec parfois une préférence pour l'aube ou le crépuscule. La plupart des activités alimentaires impliquent des mouvements d'un lieu de repos vers des zones d'alimentation, et les rythmes journaliers peuvent être liés aux rythmes des proies elles-mêmes (White, 1984).

Chez certaines espèces détectant leur proie visuellement, il peut exister une influence de la phase lunaire sur le rythme alimentaire circadien. En fait, il semble qu'il s'agit d'une diminution de l'activité alimentaire diurne due vraisemblablement au grégarisme préparant la phase migratoire qui suit cette phase lunaire (Ghazai *et al.*, 1991).

## **Chapitre 2. Présentation de l'espèce étudiée : *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus, 1758)**

### **I. Biologie et écologie de *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus, 1758)**

#### **1.1. Aire de répartition**

*Sarotherodon galilaeus* est une espèce tropicale indigène de l'Afrique et de l'Asie-Mineure. En Asie-Mineure, il est enregistré dans le bassin du Jourdain, la mer de Galilée et dans la vallée de Hula en Israël.

En Afrique il est dispersé dans la basse Guinée. La distribution naturelle de cette espèce comprend également les eaux douces de l'Afrique de l'Ouest et dans la Province nilo-soudanaise. (Trewavas, 1983).

#### **1.2. Systématique**

L'espèce *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus, 1758) du genre *Sarotherodon* appartient à la famille des *Cichlidae*, au sous-ordre des Percoidei et à l'ordre des Perciformes. L'espèce avait été décrite sous les noms de *Sparus galilaeus*, *chromis galilaeus*, *tilapia galilaea* et comme un sous-genre du *Tilapia*. Après révision Trewavas (1983), se basant sur des comportements sexuels, a transféré dans le genre *Sarotherodon* les espèces tilapiennes chez lesquels les mâles et/ou les femelles pratiquent l'incubation buccale, mais ne montrent pas de dimorphisme sexuel à maturité sexuelle et forment des couples temporaires ne présentant pas de comportement de fraie territoriale dont le *Sarotherodon galilaeus*

#### **1.3. Morphologie**

La longueur de la tête correspond à 32,5-39,0 % de la Longueur Standard. L'os pharyngien inférieur pourvu de dents très petites et nombreuses. On distingue 4-8 rangées de dents sur les mâchoires. On note la présence de 29-32 écailles en ligne latérale. La taille maximale est de 340 mm LS. La couleur générale des flancs et des nageoires sont gris argenté clair ; le ventre est blanc. Les jeunes sont argentés avec quelques étroites bandes noires sur les flancs. Les nageoires sont grisâtres, le bord supérieur de la dorsale est pourvu d'un liseré rose-rouge. (Teugels, 1992)

#### **1.4. Habitat et mode de vie**

Les spécimens de *Sarotherodon galilaeus* vivent en abondance dans les zones peu profondes dans les rivières, les marécages et les plaines inondables. Les zones à fonds légèrement boueuses avec un faible débit de l'eau constituent un habitat convenable (FAO, 1970).

*Sarotherodon galilaeus* préfère les points peu profonds où le phytoplancton et le plancton détritiques sont abondants. Ainsi ils se reproduisent à une profondeur d'eau presque partout moins d'un mètre et seulement de quelques centimètres sur les zones très larges (EL Saby, 1951 ; Petr, 1967) *S. galilaeus* est plus vulnérable aux fortes salinités même si elle peut vivre dans l'eau saumâtre. Fukusho (1968) a constaté que *S. galilaeus*, atteint le maximum de sa performance à des températures comprises entre 25 ° C et 32 ° C. Denzer (1968) a trouvé la demande en oxygène de *S. galilaeus* de poids moyen de 10,2 g à 25 ° C qui est de 29,6 cm<sup>3</sup> pour 100 g de poids vif par heure.

## **II. Reproduction**

### **2.1. Détermination des sexes**

Le mâle a un petit pore urogénital de la taille d'une piqûre d'épingle qui sert d'ouverture commune de l'appareil urinaire et sexuelle. Chez la femelle, le petit pore urinaire est à l'extrémité de la papille génitale alors que le pore génital distinct est situé en face du pore urinaire, le pore génital est couvert par deux lobes. Ben-Tuvia (1959) décrit les glandes sexuelles de *S. galilaeus* en paire et plus ou moins symétrique. Les ovaires sont en arrière reliés entre eux par un conduit court commun qui mène à l'extérieur, se terminant par une petite papille génitale. Les ovaires contiennent une petite quantité d'œufs et même à l'époque de la maturité sexuelle, ils n'occupent pas toute la longueur de la cavité du corps.

## 2.2. *La gamétogenèse*

Ben-Tuvia (1959) a distingué des étapes de développement de l'ovaire comme suit:

- Les gonades forment deux bandes minces et transparentes; les ovaires et les testicules ne peuvent pas être différenciés à l'œil nu. Cette étape est caractéristique des jeunes poissons de moins de 10 cm longueur total ;
- Les ovaires sont encore minces, mais les ovocytes sont déjà visibles. Cette étape est particulière pour les poissons de 10 à 17 cm ;
- Les ovaires sont plus grands et contiennent des ovocytes jaunes de tailles différentes, mais dont le diamètre ne dépasse pas 1,8 mm ;
- Les ovaires sont développés et plein d'ovocytes verdâtres dont les diamètres vont de 1,8-2,2 mm; et de petits ovocytes blancs 0,4-1,4 mm de diamètre, cette étape est caractéristique des poissons adultes (17 cm de longueur et plus)

Une étape courte transition, immédiatement après la ponte, les ovaires contiennent de petits ovocytes blancs et restes de temps en temps en partie dissous des gros ovocytes verts. La membrane de l'ovaire est couverte par des vaisseaux sanguins importants

## Chapitre 3. Le phytoplancton

### I. Définition

Le phytoplancton (du grec *python* ou plante et *planktos* ou errant) est constitué par l'ensemble du plancton végétal, c'est-à-dire des microorganismes photosynthétiques qui sont libres, passifs et en suspension dans la colonne d'eau. Il s'agit de cellules, colonies ou filaments :

- qui ne peuvent nager et dont les mouvements dépendent de ceux de l'environnement aquatique et/ou
- qui sont motiles (flagellés ou ciliés) mais dont les déplacements sont restreints.

La principale source d'acquisition de l'énergie s'effectue par phototrophie chez ces organismes, à partir de la lumière (photosynthèse = processus d'absorption des sels minéraux et du carbone sous forme de CO<sub>2</sub> et de rejet d'oxygène sous l'effet de la lumière). Les organismes qui se procurent l'énergie nécessaire à leur croissance et à leur reproduction en combinant les modes de nutrition autotrophe et phagotrophe sont qualifiés de «mixotrophes» (Stickney *et al.*, 2000). Par ailleurs, de nombreuses cellules phytoplanctoniques sont capables de réaliser la mixotrophie, c'est-à-dire qu'elles possèdent des capacités hétérotrophes et elles utilisent des substances organiques à la base de leur métabolisme ou sont même capables d'ingérer des bactéries (Zubkov et Tarran 2008). Leur forme est extrêmement variée, la diversité morphologique étant souvent liée à une adaptation à la mobilité (flottaison, et mouvements verticaux). La chlorophylle *a*, un des pigments chlorophylliens, est le pigment majoritaire impliqué dans ce processus. Le phytoplancton se situe le plus souvent dans la couche supérieure éclairée des masses d'eau, dite zone euphotique dont la limite inférieure correspond à la profondeur recevant 1% de la lumière incidente.

### II. Habitat et écologie

Les organismes qui constituent le phytoplancton sont d'une extrême plasticité écologique. Ces espèces très ubiquistes colonisent les biotopes terrestres et aquatiques et se retrouvent dans l'eau douce, saumâtre ou salée. Quelques espèces sont recensées dans les eaux thermales tandis que d'autres tolèrent les basses températures. Certaines espèces vivent en association avec des animaux comme des protozoaires, ou avec des végétaux comme des fougères aquatiques ou des angiospermes (endophytiques) (Couté et Bernard 2001). Elles peuvent encore vivre en symbiose avec des champignons et des algues vertes. Au cas où elles sont strictement

aquatiques, elles peuvent être planctoniques, vivant dans la colonne d'eau, ou benthiques, fixées ou très proches des divers substrats (roches, coraux, animaux) et se développent même à l'intérieur des sédiments.

Le phytoplancton comporte des organismes autotrophes qui possèdent, suivant les espèces, en plus de leurs remarquables possibilités d'adaptation à la température, une excellente adaptabilité aux variations lumineuses grâce à une composition pigmentaire qui leur permet d'utiliser une large gamme du spectre lumineux.

### III. Diversité spécifique et diversité écophysologique

Le phytoplancton regroupe deux types d'organismes qui diffèrent au niveau cytotologique essentiellement par la présence (eucaryotes) ou non (procaryotes) d'un noyau cellulaire. Selon des critères morphologiques, cytotologiques, biochimiques et reproductifs 8 principales classes différenciées sont recensées dans les milieux aquatiques.

- ✓ Les **cyanobactéries**, organismes procaryotes, regroupent plus de 110 genres et environ 1000 espèces dulçaquicoles. La plupart des cyanobactéries sphériques appartiennent à la famille des Chroococcacées et les filamenteuses aux familles des Nostocacées et Oscillatoriacées (Bourrelly, 1985).
- ✓ Les **chlorophycées** forment un groupe extrêmement vaste et morphologiquement très diversifié. Elles sont réparties en 4 sous-classes : les Euchlorophycées, les Ulothricophycées, les Zygothricophycées et les Charophycées. Celles-ci comportent environ 500 genres, représentant plus de 15000 espèces (John, 1994).
- ✓ Les **xanthophycées** regroupent plus de 100 genres et environ 600 espèces dulçaquicoles. Elles vivent à l'état unicellulaire, colonial ou de filament et sont caractérisées par une plus grande proportion de pigments caroténoïdes ( $\beta$ -carotène) que de chlorophylle, ce qui peut expliquer leur couleur jaune-verte.
- ✓ Les **chrysophycées** sont des algues unicellulaires ou coloniales (rarement filamenteuses), dont certaines vivent dans une enveloppe protectrice appelée lorique. Leurs cellules possèdent un ou plusieurs plastes jaunes ou bruns à cause de la forte concentration en xanthophylles (lutéine, fucoxanthine, diadinoxanthine) et caroténoïdes ( $\beta$ -carotène) masquant la couleur due aux chlorophylles *a*.
- ✓ Les **diatomées** (Bacillariophycées) engloberaient plus de 100 000 espèces et on estime que seulement près de 15 000 ont été identifiées à ce jour. C'est un des groupes les plus importants du phytoplancton même si beaucoup d'espèces sont sessiles ou associées aux

substrats littoraux. Leur caractéristique principale est la présence d'une paroi cellulaire siliceuse appelée frustule (Germain, 1981).

- ✓ Les **cryptophycées** sont unicellulaires, mobiles de par la présence de deux flagelles (de taille égale) et dépourvues de paroi cellulaire. En effet, l'enveloppe qui les entoure est appelée périplaste et est composée de deux couches distinctes, le périplaste interne (succession de plaques protéiques) et le périplaste externe (membrane protéique unique) qui entourent la membrane plasmique.
- ✓ Les **dinoflagellés** regroupent environ 300 espèces et sont des algues flagellées unicellulaires dont la plupart sont mobiles.
- ✓ Les **euglènes** sont réparties en 13 genres et plus de 2000 espèces. Ils sont presque tous unicellulaires, sans paroi cellulaire, possèdent un, deux ou trois flagelles qui émanent d'une invagination de la membrane cellulaire, une vacuole contractile et un stigma orange à rouge composé de globules de caroténoïdes

## **Deuxième partie : approche expérimentale**

# Chapitre 1. Présentation de la zone d'étude

## I. Situation géographique et Climatique

### 1.1. Présentation

Le lac de barrage de Ziga est à 50 km à vol d'oiseau à l'Est de Ouagadougou, la capitale du Burkina Faso. Il est situé à cheval entre les provinces de Ouhritenga, du Ganzourgou et du Sanmatenga. Il est construit de mai 1998 à juillet 2000, sur le Nakambé (ex-Volta blanche) avec une superficie de 8872.5 hectares mobilisant en période de remplissage un volume d'eau de 208 millions de m<sup>3</sup>. La cote de retenue normale est de 266,2 m et celle des plus hautes eaux est de 270,3 m. La digue d'une hauteur de 18,80 m s'étend jusqu'à 3154 m. La longueur du déversoir est de 120 m.

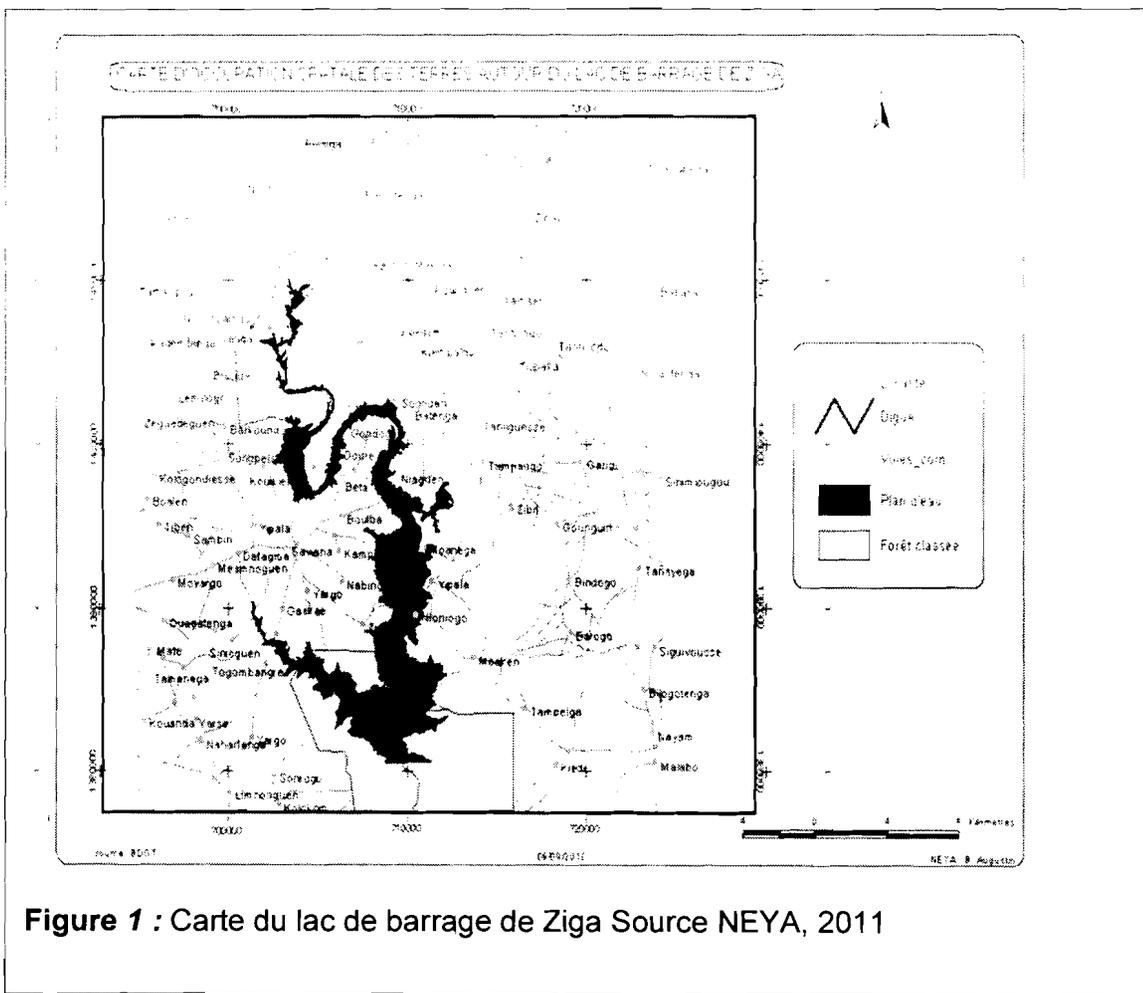


Figure 1 : Carte du lac de barrage de Ziga Source NEYA, 2011

## 1.2. *Le climat*

La zone d'étude est caractérisée par un climat sahélo-soudanien avec deux saisons : une saison pluvieuse relativement courte, de juin à septembre et une saison sèche d'octobre à mai.

La saison sèche comprend une période fraîche qui connaît des températures faibles de décembre à janvier et de fortes températures au mois d'avril. Les variations mensuelles moyennes de température de 1998 à nos jours, enregistrées par la station météorologique de Ouagadougou dans laquelle se trouve la zone d'étude indiquent 25,6°C en janvier et 33,7 °C en avril. La température moyenne annuelle enregistrée à la même période est de 29.1°C. La saison pluvieuse de la même période est marquée par une pluviométrie moyenne de 713 mm

## 1.3. *Le sol*

La zone est dominée en majeure partie par les sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphes. Ce sont des sols profonds (>120cm), à drainage interne déficient, constitués d'alluvions. La texture est limono-sableuse en surface, argilo-limoneuse en profondeur. BGB/Meridien (2010)

## 1.4. *La végétation des cours et plan d'eau alimentant Ziga*

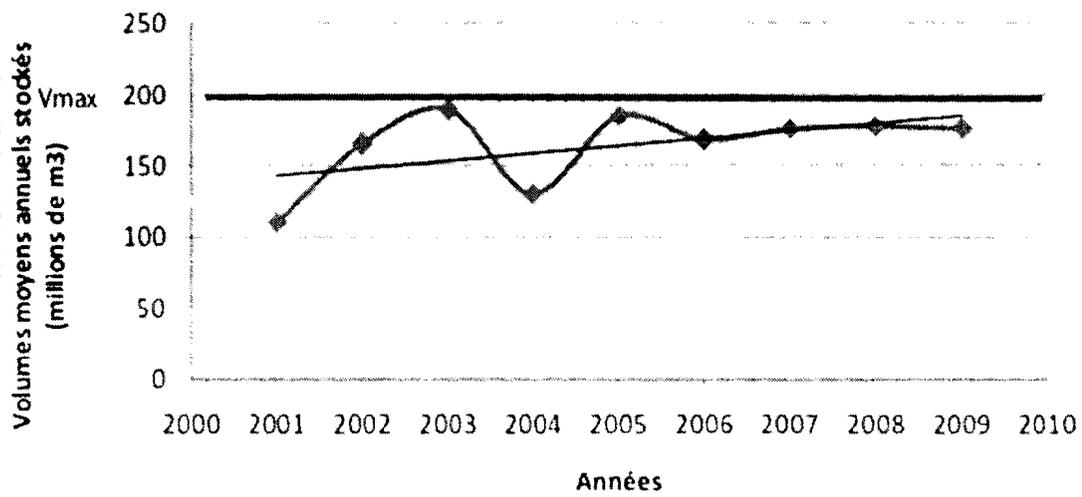
Ouédraogo (2002) a recensé de nombreuses espèces des milieux hydrophytiques remarquables, tels que *Polygonum senegalense*, *Aeschynomene crassicaulis*, *Nymphaea lotus*, *Echinochloa stagnina*, *Typha australis*, *Polygonum limbatum*, *P. lanigerum*, *Oryza longistaminata*, *Ipomoea aquatica*, *Mimosa pigra*, *Vetiveria nigriflora*, *Neptunia oleracea*. Les extrémités aval et amont du plan d'eau de Ziga présentent une formation ripicole remarquable. On y rencontre les espèces suivantes : *Mitragyna inermis*, *Anogeisus leiocarpus*, *Acacia pennata*, *A. sieberiana*, *Crateva religiosa*, *Cola lorifolia*, *Sesbania sesban*, *Oxystelma bornouense*, *Paulinnia pinnata*, *Morelia senegalensis*, *Saba senegalensis*, *Taccazea apiculata*, *Pterocarpus santalinoides*, *Phyllanthus reticulatus*, *Acacia nilotica var. nilotica*, *Acacia nilotica var. adansoni*, *Mimosa pigra*, *Cessampelos mucronata*, *Capparis corymbosa*, *Ziziphus pinachristi*, *Merremia hederacea*, *Diospyros mespiliformis*, *Parinari excelsa*, *Syzygium guineense*, *Dialium guineense*, *Vitex chrysocarpa*, *Manilkara multinervis*, *Moghania faginea* et *Daniellia oliveri*.

### **1.5. Les ressources halieutiques**

Le lac regorge les espèces de poisson suivantes : il s'agit de *Bagrus bayad*, *Alestes beramoze*, *Brycinus nurse*, *Micralestes occidentalis*, *Hemichromis bimaculatus*, *Hemichromis fasciatus*, *Oreochromis niloticus*, *Sarotherodon galilaeus*, *Tilapia Zillii*, *Claria gariepinus*, *Heterobranchus bidorsalis*, *Auchenoglanis occidentalis*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Barbus macrops*, *Labeo Coubie*, *Gymnarchus niloticus*, *Synodontis schall*, *Synodontis filamentosus*, *Synodontis nigrita*, *Brienomyrus niger*, *Mormyrus rume*, *Pollimyrus isidori*, *Marcusenius senegalensis*, *Petrocephalus bovei*, *Macrobrachium rosenbergii*, *Schilbe intermedius*, *Schilbe mystus*, *Siluranodon auritus* DGRH (2007).

### **1.6. Le niveau du lac**

Le niveau du lac est largement tributaire des apports en eau, des prélèvements d'eau pour la satisfaction des besoins (usages), la demande climatique (évaporation) et l'infiltration. Le niveau du lac varie de façon importante au cours d'une année à l'autre compte tenu de la variation annuelle des précipitations. Les volumes stockés dans le lac sont fonctions de l'évolution des niveaux d'eau. La figure 2 représente les volumes moyens annuels stockés dans le barrage. Pour les périodes d'observations considérées, le graphique montre que la tendance générale du stockage moyen annuel dans le réservoir est croissante. Cependant, on enregistre des années d'importants déficits de stockage liés à la pluviométrie BGB/Méridien (2010).

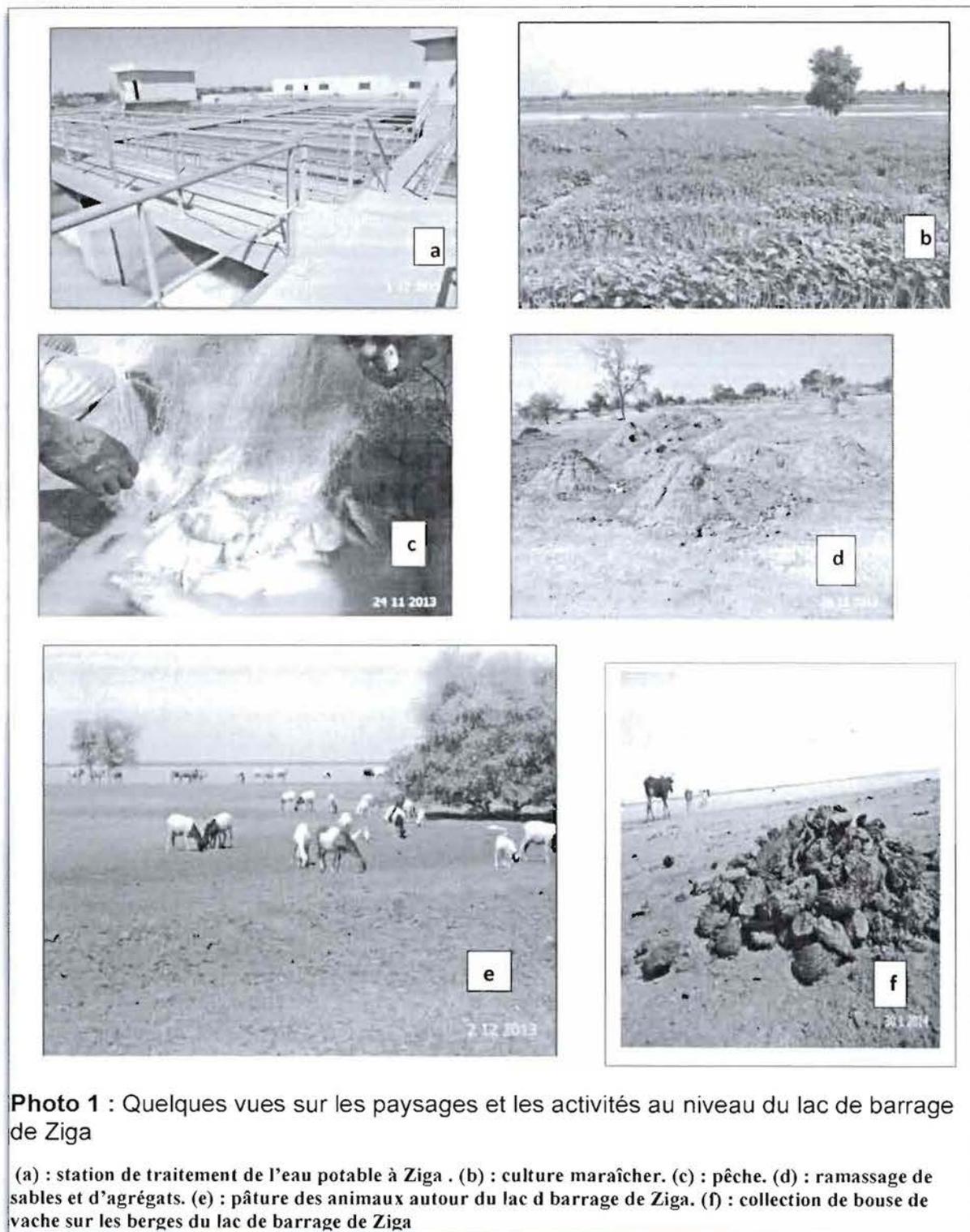


**Figure 2 :** Courbe d'évolution du volume moyen annuel stocké dans le barrage de Ziga

(2001 – 2009) Source BGB/Méridien (2010)

## II. Quelques activités autour du barrage de Ziga

La photo une (a, b, c, d, e et f) donne un aspect du paysage et des activités autour de l'eau du barrage de Ziga.



**Photo 1** : Quelques vues sur les paysages et les activités au niveau du lac de barrage de Ziga

(a) : station de traitement de l'eau potable à Ziga . (b) : culture maraîcher. (c) : pêche. (d) : ramassage de sables et d'agrégats. (e) : pâture des animaux autour du lac d barrage de Ziga. (f) : collection de bouse de vache sur les berges du lac de barrage de Ziga

## Chapitre 2. Matériel et Méthodes

### I. Matériel de l'étude

#### 1.1. *Échantillonnage d'eau et Caractérisation physico-chimique du milieu*

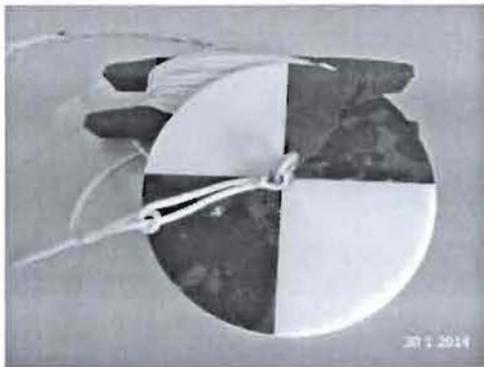
Pour la géolocalisation des sites de prélèvement et l'échantillonnage de l'eau brute, nous nous sommes servis d'un GPS Garmin. GPS 12 XL, d'une pirogue et des bidons d'un litre en plastique. Un appareil portable multi WTW 3430, (photo 2) équipé de trois sondes IDS numériques, a servi à mesurer quatre paramètres. Une sonde pour la détermination du pH ; une pour l'oxygène dissout et une autre pour la conductivité électrique et la température. La turbidité et la transparence ont été respectivement mesurées à l'aide d'un turbidimètre WTW TURB 550 IR (photo 3) et un disque de Secchi de marque LAMOTTE (photo 4). Les concentrations massiques du nitrite, du nitrate et de l'orthophosphate ont été mesurées par le spectrophotomètre DR 2800 marque HACE (photo 5)



**Photo 3 :** Turbidimètre



**Photo 2 :** mesure direct avec le pH-mètre multi paramètre



**Photo 4 :** Disque de secchi LAMOTTE



**Photo 5 :** Spectrophotomètre

### ***1.2. Échantillonnage et conservation du matériel biologique***

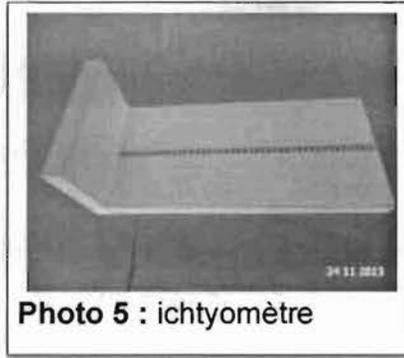
Tous les spécimens collectés proviennent de la pêche commerciale pratiquée par les pêcheurs locaux. Les équipements de pêche utilisés sont composés en majeure partie de filets maillants, souvent de filets éperviers et des nasses. Le matériel biologique collecté est composé de 73 spécimens de *Sarotherodon galilaeus* (photo 6).



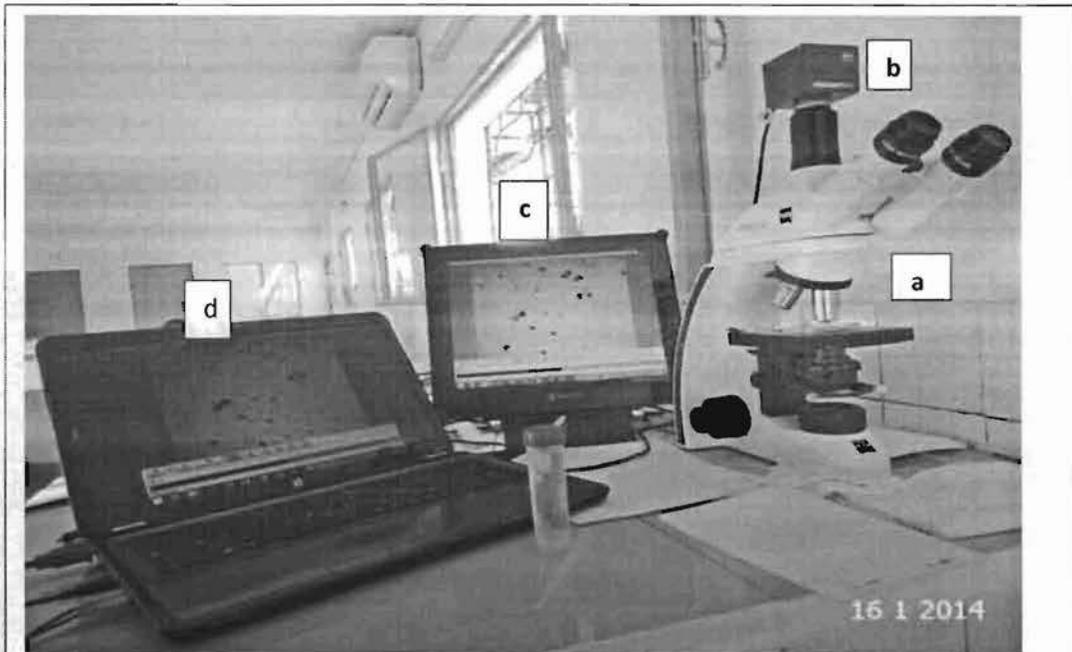
**Photo 4 :** *Sarotherodon galilaeus*, Linnaeus, 1758

Le matériel technique suivant ont été utilisé :

- un ichtyomètre (photo 7) de précision 1 mm a servi pour la détermination de la longueur totale et de la longueur standard.
- une trousse à dissection a servi à la dissection
- du formol 35% et des tubes de 50 ml ont été utilisés pour la conservation des estomacs des spécimens
- des boîtes de pétri pour l'extraction des estomacs, de pipettes, de pissette et un filtre de 25 micromètres vide de maille
- un dispositif regroupant un microscope optique PRIMO-STAR muni d'une caméra, un ordinateur, un programme informatique AXIOVISION et un écran permettant l'observation facile des proies (photo 8).
- d'une cellule de comptage (cellule de malassez, confère figure 4), de lamelles et une balance électronique OHAUS analytical standard de précision de 0.0001 g.



**Photo 5 : ichtyomètre**



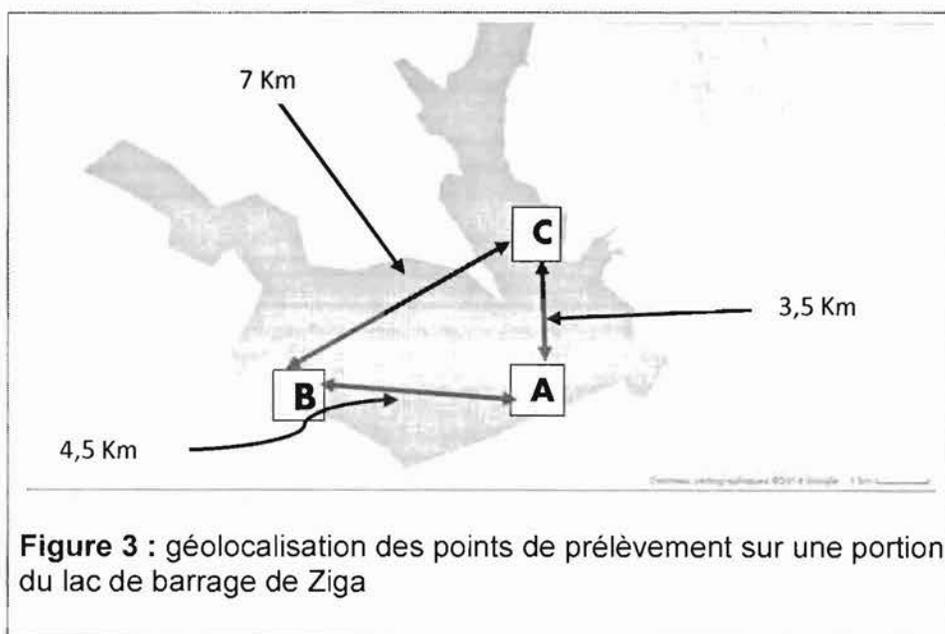
**Photo 6 : dispositif d'observation et de comptage des proies.**

(a) : microscope optique PRIMO-STAR ; (b) : caméra de prise de vue ; (c) : écran ;  
(d) : ordinateur régulateur

## II. Méthodes

### 2.1. Site d'échantillonnage

Trois points ont été identifiés et géo-repérés pour les mesures des paramètres physico-chimiques suivants le pH, la température la turbidité, l'oxygène dissous, la conductivité électrique, la transparence, la concentration en nitrite, en nitrate et en orthophosphate. Point A, coordonnées géographiques 12°29' 51''N et 01° 04'17''W. Point B, de coordonnées géographiques 12°29'52''N et 1°06'33''W. Point C, de coordonnées géographiques 12° 31' 22''N et 1° 03'19''W (figure 3).



A, B et C ont une profondeur moyenne de 1 mètre et sont situés respectivement à 18 m, 90 m et 20 m de la rive.

Les distances BC, BA et CA sont respectivement de 7 Km ; 4,5 Km et 3,5 Km.

## **2.2. Étude physico-chimique du milieu**

Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés au moins une fois par semaine, à 0,3 m de la surface de l'eau. Le pH, la température, la turbidité, l'oxygène dissous, le nitrite, le nitrate et l'orthophosphate ont été analysés durant 5 mois (de Septembre 2013 à Janvier 2014) et durant 3 mois (de Novembre 2013 à Janvier 2014) pour la conductivité électrique et la transparence. Les mesures s'effectuaient le même jour sur tous les points entre 10 heures et 11 heures du matin. Le pH, la température, l'oxygène dissous, la conductivité électrique et la transparence ont été mesurés directement sur place dans le barrage. Pour les autres paramètres un échantillon d'eau a été prélevé dans des bidons de 1 litre en plastique et acheminés dans l'intervalle d'une heure au laboratoire implanté sur les lieux de l'étude.

## **2.3. Récolte et traitements des spécimens de *Sarotherodon galilaeus***

Les spécimens ont été collectés tout au long des 5 mois (septembre à janvier) à raison de 7 à 8 poissons tous les 15 jours soit 15 poissons par mois. Ils sont transportés aussitôt au laboratoire environnemental et social pour les mesures de la taille (longueur totale et longueur standard). Au total 73 spécimens de *Sarotherodon galilaeus* ont été collectés. Ainsi la taille des individus collectés se situe entre 65 mm et 170 mm de longueur standard. Pour faciliter la manipulation des données chaque poisson a été référencé par un numéro. À un numéro est associée la date de capture, la taille du poisson et la provenance.

## **2.4. Conditionnement des estomacs**

À l'issue des mesures de taille une dissection est faite au niveau de chaque poisson pour isoler l'appareil digestif (photo 9), fixé au formol à 10% et conservé dans des bocaux plastiques de 50 ml de capacité.

## **2.5. Dépouillements des contenus stomacaux**

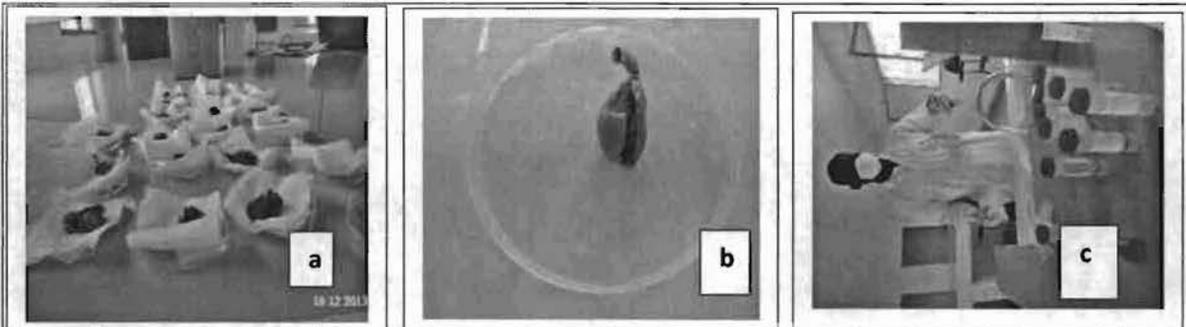
Les estomacs sont lavés et drainés sur du papier filtre durant 2 heures. Ainsi les estomacs sont pesés avec une balance de 0.0001g de précision et vidés de leur contenu sur un tamis de 25 micromètres de diamètre. Un second drainage de même durée a permis d'obtenir le poids de l'estomac vide. Le poids des proies a été estimé par la formule suivante :

$$P_p = P_t - P_v$$

$P_p$  est le poids des proies ;  $P_t$  le poids de l'estomac plus le contenu et  $P_v$  le poids de l'estomac vidé de son contenu. Les proies obtenues sont fixées au formol à 5% et conservées dans des bocaux de 50 ml de capacité. Le volume des proies est ramené à 42,8 ml par addition d'eau distillée ; à ce volume, nous ajoutons 7,2 ml de formol à 35%. Les échantillons ainsi obtenus sont étiquetés. (Photo 10)



**Photo 7 :** estomac et intestin isolés sur une boîte de pétri



**Photo 8 :** Conditionnement.

(a) séchage intestins et estomacs ; (b) estomac ouvert ; (c) conditionnement et étiquetage du contenu des intestins et estomacs

## 2.6. Observation et identification des proies

Après homogénéisation,  $1 \text{ mm}^3$  de l'échantillon est prélevé et placé sur la cellule de Malassez pour observation au microscope optique. La stratégie adoptée pour le comptage a consisté à retenir les 25 rectangles non quadrillés (figure 4) comme zone de comptage ce qui ramène le volume de comptage à  $0.25 \text{ mm}^3$ . Ensuite, par extrapolation, le nombre d'individus dans l'échantillon de 50 ml a été estimé. Les espèces rencontrées ont été photographiées grâce à une micro-caméra. L'identification des différents taxa s'est faite sur la base des travaux de Dussart et Gras (1966).

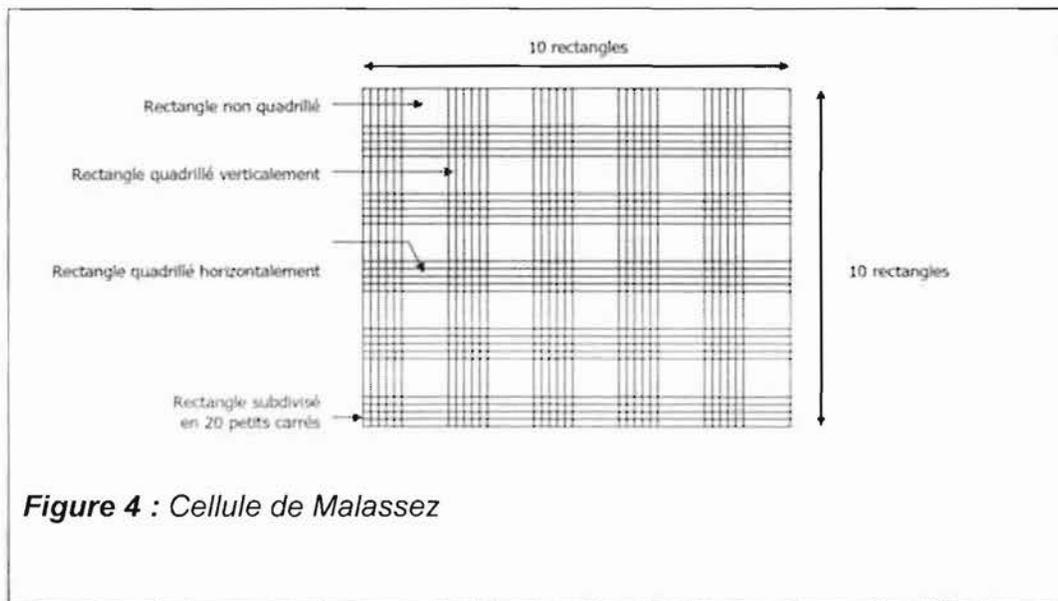


Figure 4 : Cellule de Malassez

## 2.7. Détermination de la biomasse des proies

Les poids des proies microscopiques ont été déterminés grâce à des méthodes d'extrapolations. Ainsi, la masse du phytoplancton a été estimée par la méthode des biovolumes. Après estimation du volume des organismes en les assimilant à des formes géométriques, leurs masses sont calculées sur la base des relations existant dans la littérature Oueda (2009).

## 2.8. Étude du régime alimentaire

L'étude du régime alimentaire chez les poissons a consisté à analyser des contenus stomacaux isolés et conservés dans du formol. Après dépouillement de ces contenus, le nombre d'individus ( $n_i$ ) et le poids ( $p_i$ ) de chaque catégorie de proies dans chaque estomac ainsi que la fréquence ( $N_i$ ) de chaque catégorie de proies au sein de l'échantillon ont été notés. Ces données de base ont permis de calculer les indices alimentaires afin de caractériser les régimes alimentaires (Oueda, 2009)

### a. Le coefficient de vacuité

Le coefficient de vacuité ( $Cv$ ) représente le pourcentage d'estomacs vides par rapport au nombre total d'estomacs examinés. Il se traduit par l'équation suivante dans laquelle  $Nv$  est le nombre d'estomacs vides et  $Nt$  le nombre total d'estomacs analysés.

$$Cv = \frac{Nv \times 100}{Nt}$$

### b. Les indices alimentaires simples

#### ▪ Indice d'occurrence (F)

Il consiste à comptabiliser le nombre d'estomacs contenant une catégorie de proies  $i$  ( $Ni$ ) et à l'exprimer en pourcentage du nombre total ( $Nt$ ) d'estomacs contenant au moins une proie (Hyslop, 1980).

$$Fi = \frac{Ni}{Nt} \times 100$$

#### ▪ Indice d'abondance numérique (N)

Le nombre total d'individus de la catégorie d'aliment  $i$  (proies) dans tous les estomacs ( $ni$ ) est noté et exprimé en pourcentage du nombre total d'individus ( $nt$ ) de toutes les catégories de proies (Hyslop, 1980).

$$Ni = \frac{ni}{nt} \times 100$$

- **Indice d'abondance pondérale (P)**

Selon la relation ci-dessous ou  $pi$  est la masse d'une proie  $i$  et  $pt$  la masse totale des proies (Hyslop, 1980 ; Paugy et Lévêque, 1999).

$$Pi = \frac{pi}{pt} \times 100$$

- **Indice d'abondance spécifique (S)**

Dans cette formule,  $Si$  est l'indice d'abondance spécifique de la proie  $i$ ,  $ai$  est son abondance totale (poids, volume ou nombre) et  $ati$  l'abondance totale (poids, volume ou nombre) de toutes les proies seulement dans l'ensemble des estomacs contenant la proie  $i$ . Dans cette étude les calculs ont été faits sur la base du poids.

$$Si = \frac{ai}{ati} \times 100$$

**c. Indices alimentaires mixtes**

*Indice Aliment principal ou Main Food Item (MFI).*

Le *Main Food Item (MFI)* se traduit par la relation suivante où  $Pi$ ,  $Ni$  et  $Fi$  représentent respectivement l'indice d'abondance pondérale, l'indice d'abondance numérique et la fréquence d'occurrence de la proie  $i$ .  $MFIi$  désigne les valeurs de l'indice de Zander (1982). Pour une espèce avec  $n$  proies dans son régime, le pourcentage indiciaire de la proie  $i$  ( $MFIi\%$ ) se calcule selon la formule

$$MFIi = \sqrt{Pi((Ni + Fi)/2)}$$

Ou

$$MFI\% = \frac{MFIi}{\sum_{i=1}^n MFIi} \times 100$$

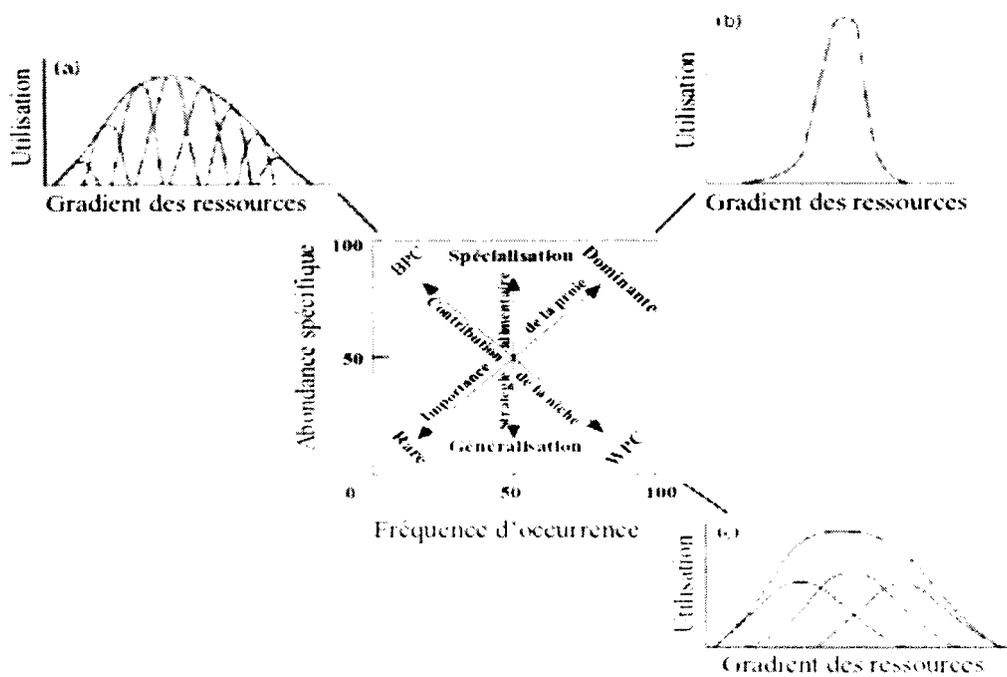
Les valeurs du *MFI%* sont, dans un premier temps, classées par ordre décroissant. Puis en partant de la proie de *rang 1*, on additionne les indices de chacune des proies de manière à obtenir 50% ou plus de l'indice total, ces proies sont dites principales. Sont considérées comme proies secondaires, celles dont la somme des valeurs du *MFI%* ajoutée à celle des proies principales atteint au moins 75%. Toutes les autres proies de la liste représentent les proies accidentelles

## 2.9. *Diagramme de Costello*

Le diagramme de Costello est une analyse graphique qui permet d'étudier le régime alimentaire en relation avec la stratégie alimentaire. Il permet ainsi de mettre en évidence les variations intra-individuelles et interindividuelles dans l'utilisation de la niche trophique. Le diagramme est une représentation dans le plan de l'abondance spécifique ( $S_i$ ) en fonction de l'indice d'occurrence ( $F_i$ ) (Amundsen *et al.*, 1996). L'échelle des abscisses (x) et celle des ordonnées (y) partent de 0 à 100% (ou 0 à 1).

Amundsen *et al.*, (1996) définissent trois axes sur le diagramme, représentant respectivement l'importance des proies, la stratégie alimentaire et la contribution de la niche. Une proie étant d'autant plus importante dans le régime que  $S_i \times F_i$  est élevée.

On y distingue trois cas de figures. Dans le premier cas (a), plusieurs franges de la population se spécialisent chacune sur des proies différentes. Pour le deuxième cas (b), toute la population se spécialise sur un nombre réduit de proies. Enfin dans le troisième scénario (c) tous les individus de la population présentent un régime généraliste. Concernant le premier et le troisième cas les niches écologiques sont grandes dues à la variabilité interindividuelle dans l'utilisation des ressources ou au régime généraliste. Pour le deuxième cas la niche écologique est restreinte



**Figure 5 :** Interprétation du diagramme de Costello d'après Amundsen et al. (1996)

### 2.10. Analyse des données

Toutes les données biologiques et physico-chimiques ont été organisées à l'aide du logiciel MICROSOFT EXCEL 2013. Les analyses statistiques et les graphiques des paramètres physico-chimiques ont été réalisés à l'aide du logiciel STATISTICA version 2010. Ainsi, une analyse de la variance (ANOVA) à un ou deux critères a été réalisée sur l'ensemble des données obtenues et des paramètres calculés. Le test de Newman-Keuls a permis ensuite de comparer les moyennes obtenues au seuil de probabilité de 5%.

## Chapitre 3. Résultats et discussion

### I. Résultats

#### *1.1. Paramètres physico-chimiques de l'eau du lac*

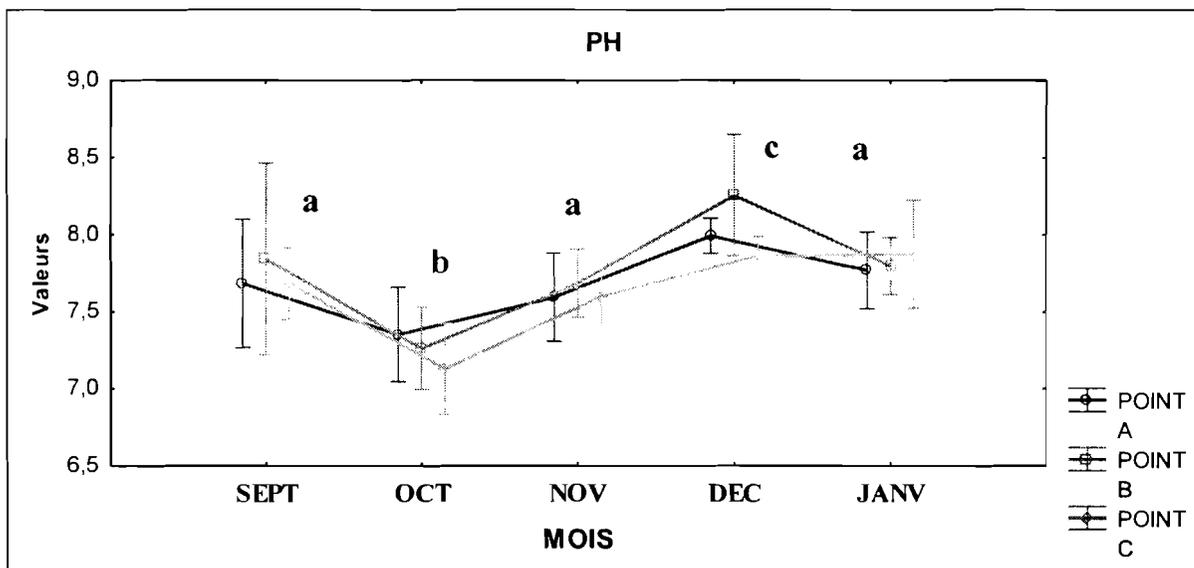
Les mesures ont concerné neuf paramètres à savoir le pH, la température, la turbidité, l'oxygène dissout, les concentrations en nitrite, en nitrate, en orthophosphate, la conductivité et la transparence de l'eau du lac de barrage de Ziga. Le tableau 1 donne les valeurs moyennes et les écart-types des différents points suivant les périodes ainsi que les valeurs moyennes de l'ensemble des points pour un paramètre donné (Tableau 1). Les différences statistiquement significatives au test de Newman-Keuls ( $p < 0,05$ ) ont été surtout constatées entre les moyennes relevées à la crue (septembre, octobre et novembre) et celles relevées en début d'été (décembre et janvier). Les variations entre les points A, B et C ne sont pas pour la plupart significatives, de ce fait les comparaisons des moyennes ont concerné les valeurs moyennes maximales relevées à la crue contre celles relevées en début d'été.

**Tableau 1** : récapitulatif des valeurs moyennes et écart-type enregistrés sur les points A, B et C au cours des mois de septembre, octobre, novembre, décembre et janvier

PERIODE		septembre			octobre			novembre			décembre			janvier			Moy globale
POINT		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
<b>PH</b>	Moy	7,68	7,84	7,68	7,35	7,26	7,13	7,59	7,69	7,60	7,99	8,26	7,86	7,77	7,80	7,87	7,69
	Ec-Types	0,34	0,50	0,19	0,25	0,22	0,24	0,23	0,18	0,17	0,09	0,32	0,10	0,20	0,15	0,28	0,36
<b>TEMPERATURE (°C)</b>	Moyenne	30,66	30,48	30,36	29,86	30,24	30,10	26,94	28,20	27,02	22,50	23,24	21,66	21,04	23,20	21,16	26,44
	Ec-Types	1,55	1,32	0,92	0,86	0,87	1,11	0,96	0,76	0,78	2,19	2,29	1,23	1,06	0,81	0,91	3,93
<b>TURBIDITE (NTU)</b>	Moyenne	471,20	506,40	476,00	273,60	297,80	250,20	213,40	218,00	205,40	171,60	168,80	157,60	135,00	158,80	131,40	255,68
	Ec-Types	77,62	64,62	84,62	22,47	45,54	31,20	19,99	21,12	14,69	30,24	15,01	7,40	7,58	26,57	14,06	129,62
<b>OXYGENE DISSOUS (mg/L)</b>	Moyenne	7,73	7,20	7,67	7,96	7,78	7,92	7,86	7,77	7,89	8,81	8,63	8,66	8,71	8,27	8,52	8,09
	Ec-Types	0,35	0,37	0,31	0,08	0,25	0,08	0,25	0,25	0,27	0,42	0,52	0,30	0,49	0,21	0,27	0,54
<b>NITRITE (mg/L)</b>	Moyenne	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Ec-Types	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>NITRATE (mg/L)</b>	Moyenne	65,06	79,00	56,70	14,24	21,44	15,34	4,90	6,10	3,62	0,78	0,78	0,00	0,00	1,22	0,00	17,95
	Ec-Types	26,09	21,44	23,10	2,96	8,41	6,75	2,27	3,26	2,46	1,74	1,03	0,00	0,00	2,12	0,00	27,63
<b>ORTHO-PHOSPHATE (mg/L)</b>	Moyenne	0,37	1,26	0,44	0,16	0,22	0,14	0,15	0,15	0,12	0,14	0,13	0,09	0,10	0,11	0,09	0,24
	Ec-Types	0,11	1,16	0,19	0,04	0,13	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,40
<b>CONDUCTIVITE ELECTRIQUE <math>\mu</math>s/cm)</b>	Moyenne							90,16	69,40	74,22	79,58	89,46	79,98	81,68	71,96	74,62	79,01
	Ec-Types							22,75	4,22	4,84	8,60	15,76	8,93	19,99	8,75	8,40	13,62
<b>TRANSPARENCE (cm)</b>	Moyenne							24,80	21,00	26,40	26,40	23,60	27,20	27,20	25,20	28,00	25,53
	Ec-Types							0,45	1,41	1,67	1,34	2,19	0,84	0,84	1,48	1,22	2,42

### 1.1.1. Le pH

Les moyennes maximales et minimales calculées sont respectivement de  $8,26 \pm 0,32$  relevées en décembre et  $7,13 \pm 0,24$  relevées en novembre. Ces deux moyennes sont statistiquement significatives au test de Newman-keuls ( $P < 0,05$ ). Il existe également des différences statistiques entre les valeurs moyennes inter-mensuelles. Par contre les valeurs moyennes enregistrées en A, B et C au sein d'un même mois sont non significatives. La moyenne globale est de  $7,69 \pm 0,36$ . Les courbes d'évolution du pH moyen des points A, B et C se chevauchent au cours du temps et ont évoluées dans le même sens tout au long de l'étude. Elles ont baissé de Septembre à Octobre et ont augmenté considérablement entre octobre à décembre (figure 6).

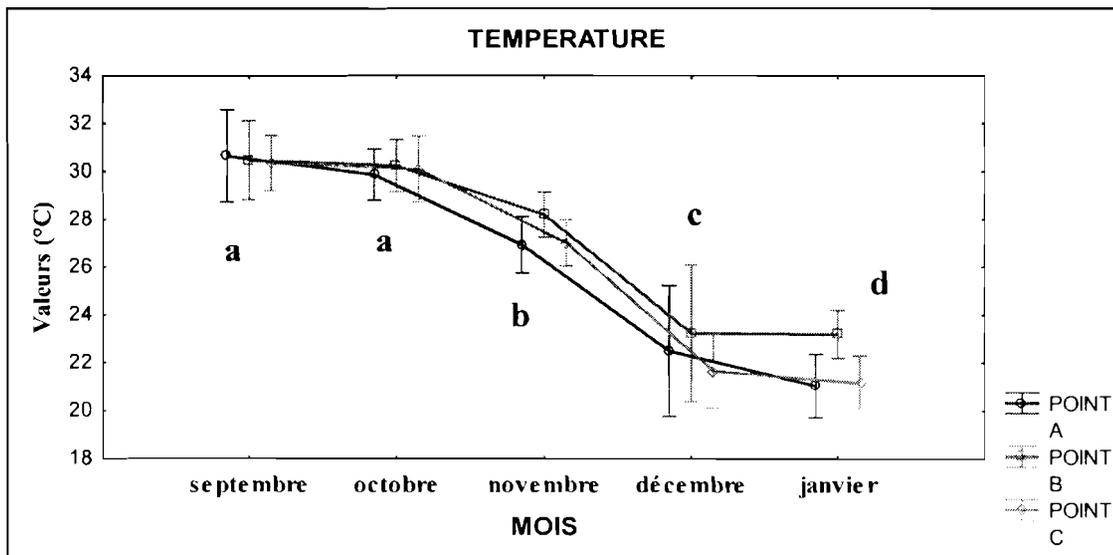


**Figure 6** : Tracé des Moyennes et Intervalles de Confiance (95,00%) du pH

Les mois portant des lettres différentes sont significativement différents ( $P < 0,05$ ) pour les valeurs du pH.

### 1.1.2. La température

La valeur moyenne obtenue pour la durée de l'expérience est de  $26,44 \pm 3,92$  °C. Indépendamment du point de mesure, les courbes ont baissé progressivement de septembre à janvier. Ainsi la température moyenne maximale  $30,66 \pm 1,55$  a été relevée en Septembre, et la température moyenne minimale  $21,04 \pm 1,06$  °C a été relevée en janvier (figure 7). Ces deux moyennes sont statistiquement significatives au test de Newman-keuls ( $P < 0,05$ ). Entre les mois des différences significatives existent par contre les points A, B et C à l'intérieur d'un même mois ne présentent pas de différence.

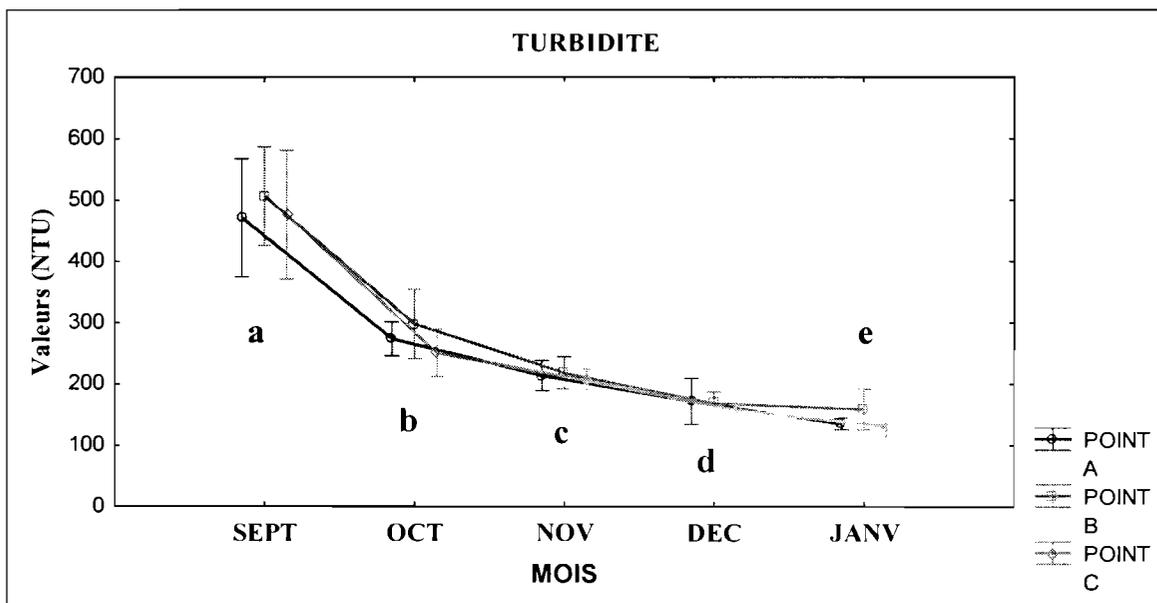


**Figure 7 : Tracé des Moyennes et Intervalles de Confiance (95,00%) de la température**

*Les mois portant des lettres différentes sont significativement différents ( $P < 0,05$ ) pour les valeurs de la température.*

### 1.1.3. La turbidité

La valeur moyenne obtenue durant l'étude est de  $255,68 \pm 129,69$  NTU. Les courbes des moyennes ont toute la même allure, montrent une nette diminution de la turbidité au fur et à mesure qu'on s'éloigne des premières périodes de mesure. Ainsi la turbidité moyenne maximale notée en septembre est de  $506,40 \pm 64,62$  NTU tandis que la turbidité moyenne minimale qui est de  $131,40 \pm 14,4$  NTU est notée en janvier (figure 8) Ces deux moyennes sont statistiquement significatives au test de Newman-keuls ( $P < 0,05$ ). Les points A, B et C ne présentent des différences statistiques que dans le mois de septembre.

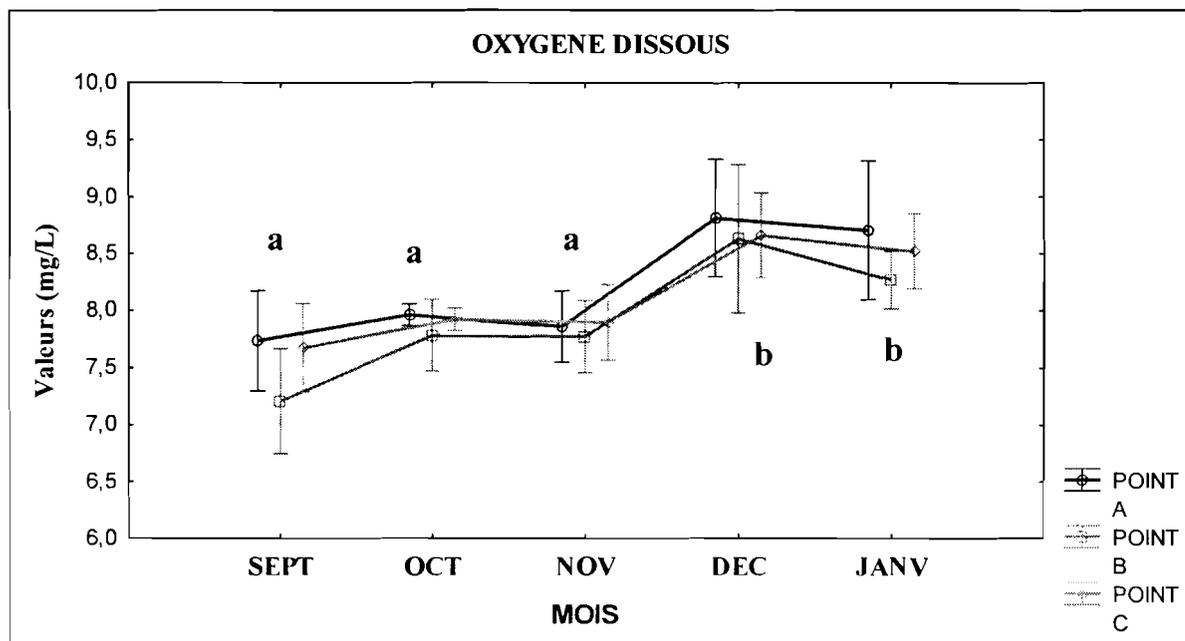


**Figure 8 : Tracé des Moyennes et Intervalles de Confiance (95,00%) de la turbidité**

Les mois portant des lettres différentes sont significativement différents ( $P < 0,05$ ) pour les valeurs de la turbidité.

#### 1.1.4. L'oxygène dissous

La moyenne globale relevée est de  $8,09 \pm 0,54$  mg/L. La moyenne maximale est  $8,81 \pm 0,42$  mg/L relevée en décembre et la minimale  $7,20 \pm 0,37$  mg/L en septembre sont statistiquement différentes ( $P < 0,05$ ). Les points A, B et C à l'intérieur d'un même mois ne sont pas significativement différents. Les courbes des moyennes ont évolué dans le même sens que. Elles demeurent croissantes du début jusqu'à la fin de l'étude (figure 9)

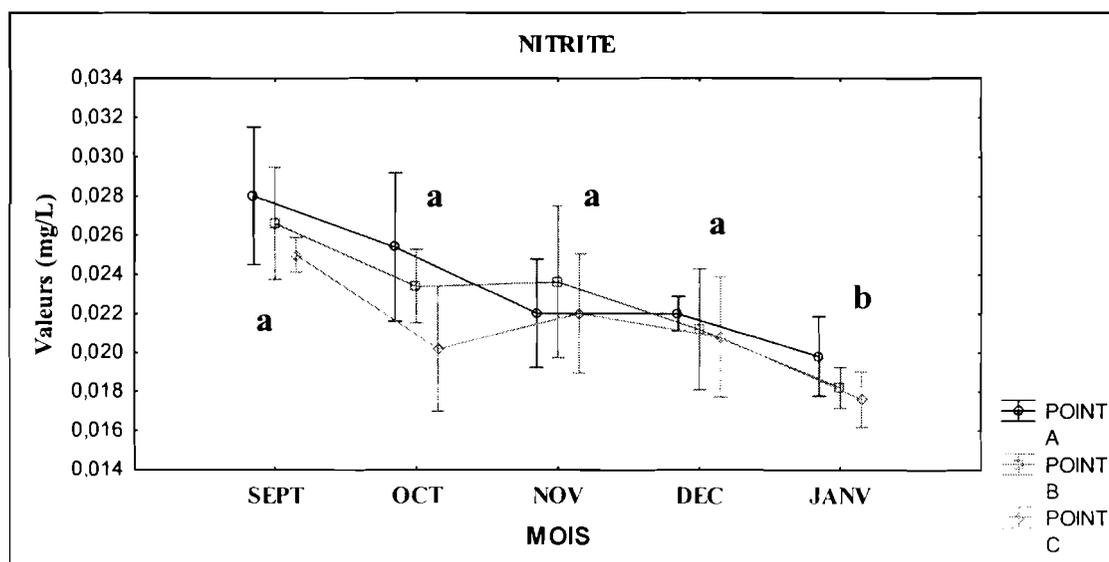


**Figure 9** : Tracé des Moyennes et Intervalles de Confiance (95,00%) de l'Oxygène Dissout

Les mois portant des lettres différents sont significativement différents ( $P < 0,05$ ) pour les valeurs de l'oxygène dissous.

### 1.1.5. Le nitrite

La moyenne générale est de 0,022 mg/L. Les courbes des moyennes se chevauchent avec une allure nettement décroissante (figure 10). Ainsi les moyennes maximales (0,03 mg/L) ont été relevées en septembre et de manière décroissante les valeurs moyennes minimales (0,02 mg/L) ont été relevées en fin de période d'étude. En octobre et novembre les points A, B et C présentent des différences significatives au test de Newman-Keuls. Par ailleurs seul le mois de janvier est différent statistiquement des autres mois.

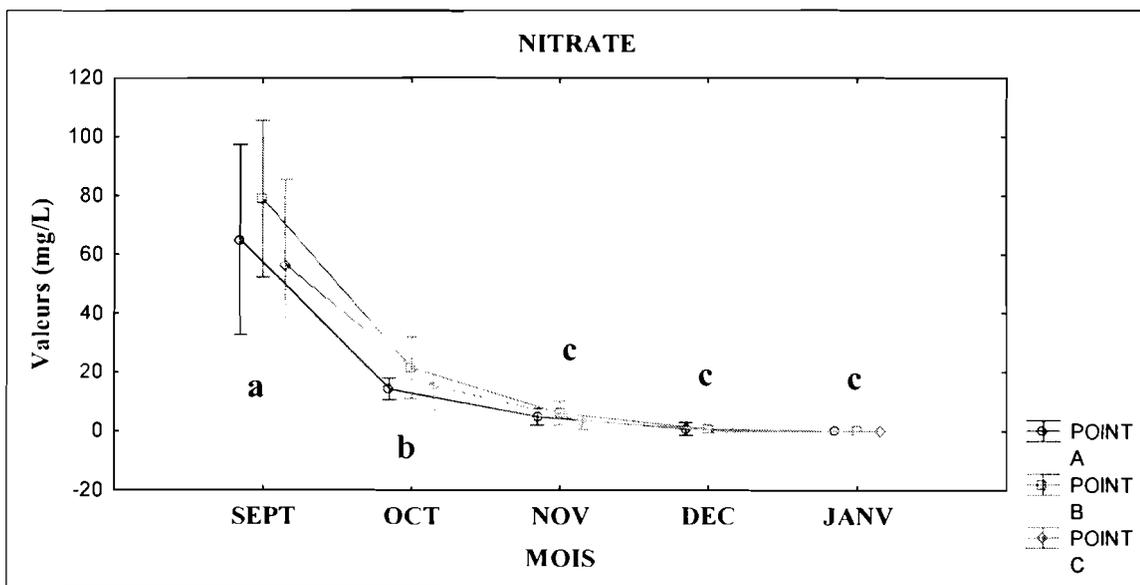


**Figure 10:** Tracé des Moyennes et Intervalles de Confiance (95,00%) du Nitrite

Les mois portant des lettres différentes sont significativement différents ( $P < 0,05$ ) pour les valeurs du nitrite.

### 1.1.6. Le nitrate

Les courbes des moyennes du nitrate se présentent sous la forme de courbes exponentielles décroissantes de septembre jusqu'en décembre période à partir de laquelle toutes les valeurs s'annulent (figure 11). Les moyennes maximales sont observées en septembre et les minimales à partir de décembre. La moyenne maximale est de  $79 \pm 21,44$  mg/L et la minimale  $00$  mg/L; la moyenne globale  $17,95 \pm 27,63$  mg/L. Les différences significatives entre les points A, B et C ne sont constatées qu'en septembre.

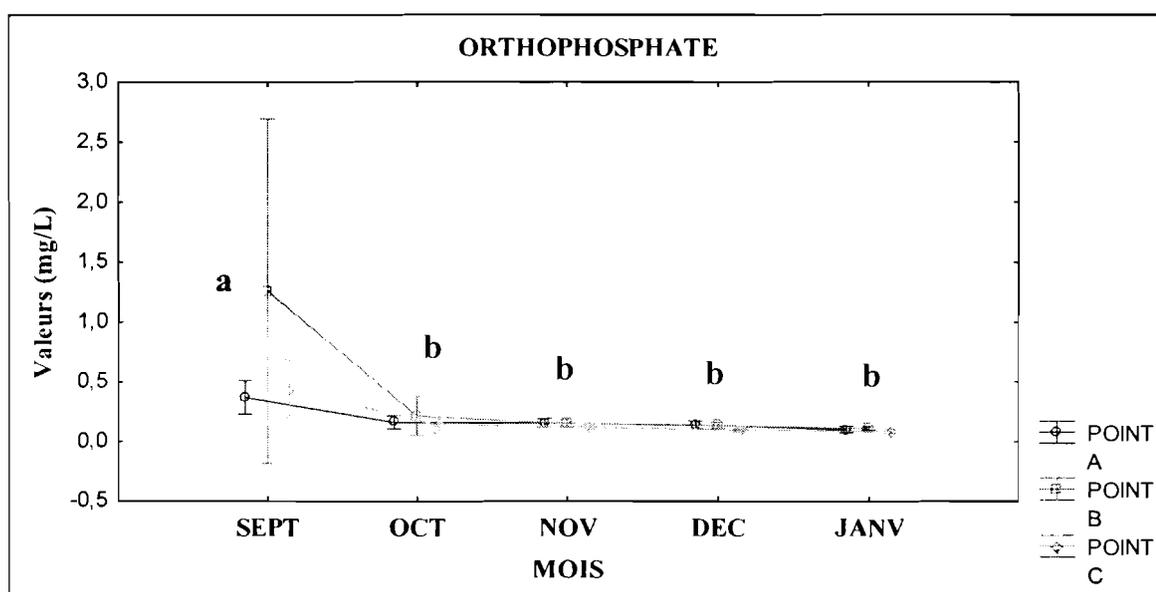


**Figure 11 :** Tracé des Moyennes et Intervalles de Confiance (95,00%) du Nitrate

Les mois portant des lettres différentes sont significativement différents ( $P < 0,05$ ) pour les valeurs du nitrate.

### 1.1.7. L'orthophosphate

La courbe des moyennes de B reste légèrement au-dessus des deux autres durant toute la période de l'étude. Indépendamment des points toutes les courbes ont pris une allure constante (figure 12). La moyenne totale est de  $0,24 \pm 0,40$  mg/L, la maximale  $1,26 \pm 1,16$  mg/L est observée en septembre et la minimale de  $0,09 \pm 0,02$  mg/L est observée en décembre et en janvier. Les valeurs moyennes enregistrées en B en septembre sont significativement différentes ( $P < 0,05$ ) des moyennes en A et C en septembre.

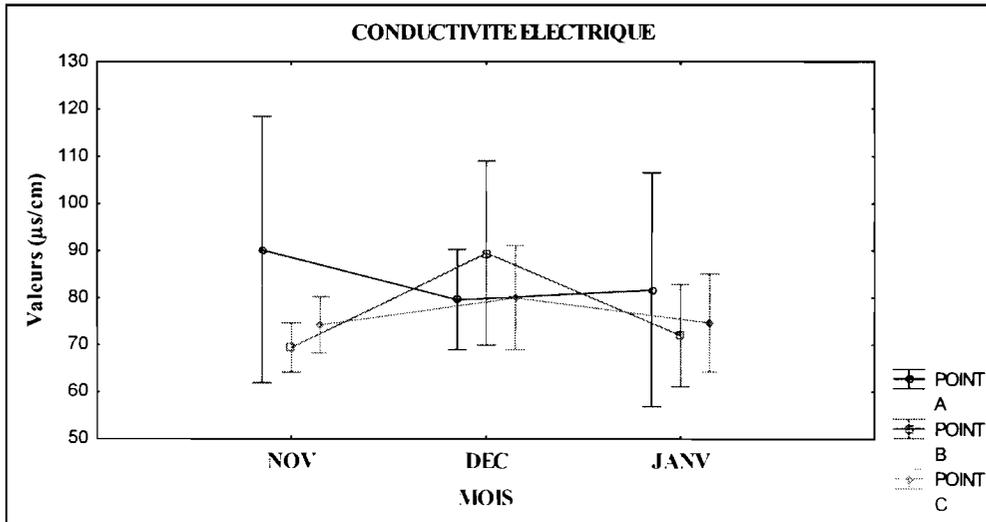


**Figure 12:** Tracé des Moyennes et Intervalles de Confiance (95,00%) de l'Orthophosphate

Les mois portant des lettres différentes sont significativement différents ( $P < 0,05$ ) pour les valeurs de l'orthophosphate.

### 1.1.8. La conductivité électrique

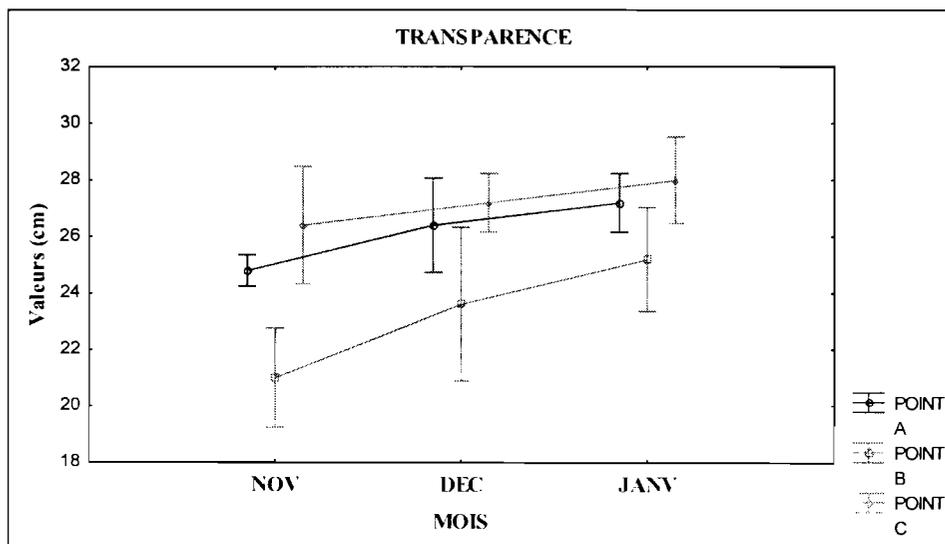
Elle concerne la salinité du milieu. Les courbes des moyennes se chevauchent d'un mois à l'autre sans une allure précise (figure 13). La moyenne générale dans le lac est de  $79,01 \pm 13,62 \mu\text{s/cm}$ , la valeur moyenne maximale est  $90,16 \pm 22 \mu\text{s/cm}$  relevée en novembre et la moyenne minimale qui est observée également en novembre est de  $69,40 \pm 4,22 \mu\text{s/cm}$ . Aucune différence significative n'est observée par le test de Newman-Keuls ( $P < 0,05$ ).



**Figure 13 :** *Tracé des Moyennes et Intervalle de Confiance (95,00%) de la Conductivité électrique*

### 1.1.9. La transparence

Les courbes des moyennes des points ont toutes une allure ascendante au fil des périodes. La courbe du point C est restée au-dessus de A et A au-dessus de B (figure 14). La moyenne générale est de  $25,53 \pm 2,42$  cm. La valeur moyenne maximale obtenue en janvier est de  $28 \pm 1,22$  cm et la minimale en novembre est de  $21 \pm 1,41$  cm. Ces deux moyennes sont statistiquement différentes ( $P < 0,05$ ). Les valeurs moyennes du point B sont significativement différentes des valeurs moyennes des deux autres points au cours des mois. Entre le point A et C aucune différence n'est observée au cours des mois.



**Figure 14 : Tracé des Moyennes et Intervalles de Confiance (95,00%) de la Transparence**

## **1.2. Contenu stomacal des spécimens *Sarotherodon galilaeus***

Huit genres de phytoplancton (*cosmarium*, *cymbella*, *euglena*, *melosira*, *myrocystis*, *navicula*, *peridinium* et *phacus*) ont été identifiés. En plus du phytoplancton d'autres organismes en nombres très faible ont été identifiés il s'agit de débris animal (zooplancton) et de détritus végétal. Ces organismes ont été rangés dans les divers. Il est impératif de signaler que les études n'ont concerné que le phytoplancton conformément aux objectifs.

### **1.2.1. Présentation du genre *Melosira***

Le genre appartient à la famille des *melosiraceae* dans le sous embranchement des diatomées. Les cellules sont cylindriques et reliées entre elles par des filaments à travers lesquels elles secrètent du mucilage. Les espèces vivent dans les eaux douces et dans les habitats marins épibenthiques (Bourrelly, 1985) (Photo 11).

### **1.2.2. Présentation du genre *Peridinium***

*Peridinium* est un genre de dinoflagellés de la famille des *Peridiniaceae*. L'organisme mesure de 30 à 70 µm de diamètre et est recouvert de plaques thécales. La plupart se trouvent en eau douce des lacs, les étangs et les piscines (Bourrelly, 1985) (Photo 12).

### **1.2.3. Présentation de *Microcystis aeruginosa*.**

*M. aeruginosa* est rangé dans la famille des *Microcystaceae* classe des cyanobactéries. *Microcystis aeruginosa* est un micro-organisme unicellulaire, planctoniques d'eau douce (photo 13). C'est l'une des espèces les plus nuisibles à l'environnement en raison de sa toxicité pour les organismes aquatiques et terrestres. L'espèce secrète des microcystines, un groupe de toxines qui sont hépatotoxines puissants pour les animaux et les humains et ne sont pas autorisés même pour les composés de pâturage Scott (2002).

### **1.2.4. Présentation du genre *Cymbella***

*Cymbella* est un genre de la famille des *Cymbellaceae*, algues diatomées caractérisées par des valves (photo 14)

### 1.2.5. Présentation du genre *Cosmarium*

*Cosmarium* est une algue unicellulaire autotrophe filamenteuse de la famille des *desmidiacées* (algues vertes). *Cosmarium* est caractérisé par un étranglement dans le milieu de la cellule qui le divise en deux moitiés ou demi-cellules symétriques (Bourrelly, 1985) (photo 15).

### 1.2.6. Présentation du genre *Navicula*

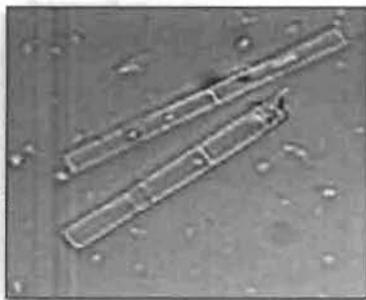
*Navicula* est une diatomée photosynthétique aquatique appartenant à la famille des *naviculacées* (photo 16).

### 1.2.7. Présentation du genre *Phacus*

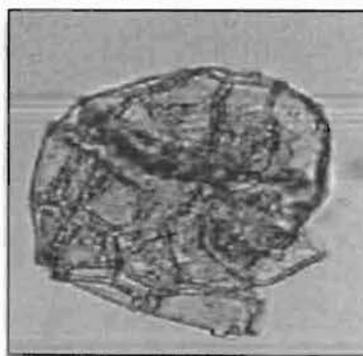
Ce sont des algues vertes appartenant à la famille des phacacées dans l'embranchement des *euglenophyta*. Leur présence dans le milieu indique principalement des eaux riches en nutriments le phosphore et l'azote (Bourrelly, 1985). (Photo 17).

### 1.2.8. Présentation du genre *Euglena*

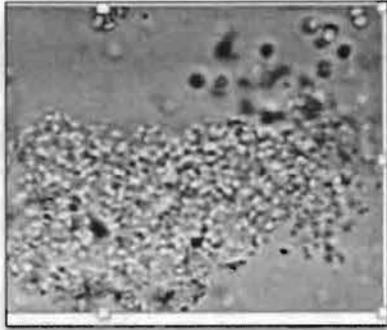
Ce sont des algues unicellulaires ayant des caractéristiques à la fois végétales et animales sont rangés dans la famille des euglenacées. Les espèces de *Euglena* vivent en eau douce et saumâtre riche en matière organique. Certaines espèces se développent de grandes populations en vert ou rouge "fleurs" dans les étangs ou les lacs. Plusieurs espèces produisent des kystes de repos qui peuvent résister à la chaleur (Bourrelly, 1985) (photo 18).



**Photo 9** : *Melosira sp* vue au microscope optique G.40X source Woni



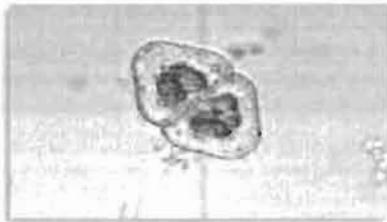
**Photo 10** : *Peridinium sp* vue au microscope optique G.40X source Woni



**Photo 12** : *Microcystis eariginosa* vue au microscope optique G.40X source Woni



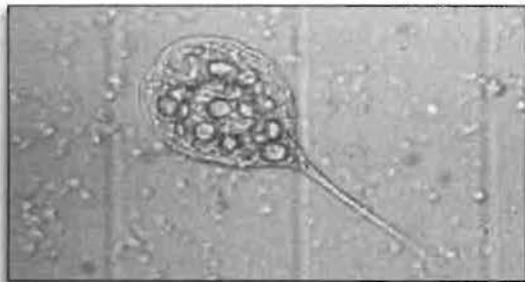
**Photo 11** : *Cymbella sp* vue au microscope optique G.40X source Woni



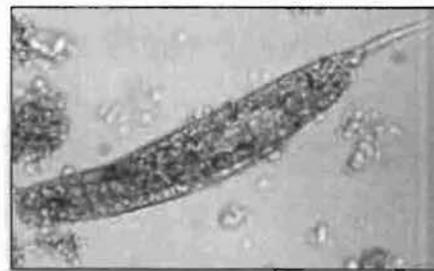
**Photo 13** : *Cosmarium sp* vue au microscope optique G.40X source Woni



**Photo 14** : *Navicula sp* en décomposition vue au microscope optique G.40X source Woni



**Photo 16** : *Phacus sp* vue au microscope optique G.40X source Woni



**Photo 15** : *Euglena sp* vue au microscope optique G.40X source Woni

### 1.3. Régime alimentaire générale

Sur 73 spécimens de *S.galilaeus* échantillonnés, 58 avaient ingéré des proies, ce qui donne un coefficient de vacuité globale de 20%. La taille (Longueur Standard) des spécimens varie de 65 à 170 mm. La détermination des taxa a été faite uniquement au niveau du genre pour les espèces d'algues et au niveau de l'espèce pour les cyanobactéries. Les proies préférentielles de cette espèce sont les algues du genre *Melosira*, *Peridinium* et *microcystis aeruginosa*. Le genre *Navicula* est classé comme proie secondaire. Le genre *Cosmarium*, *Navicula*, *Phacus* et *Euglena* ont été consommés accidentellement par l'espèce (tableau 2).

**Tableau 2** : régime alimentaire général de *Sarotherodon galilaeus* à Ziga.

Dans ce tableau, sont présentées, en plus des valeurs des indices alimentaires simples (F, N, P et S), celles du MFI% et du MFI% cumulé. Les analyses sont fondées sur les valeurs du MFI%. *F* = indice d'occurrence, *N* = indice d'abondance numérique, *P* = indice d'abondance pondérale, *S* = indice d'abondance spécifique, *MFI%* = pourcentage du Main Food Item,  $\Sigma$ *MFI%* = valeur cumulée du MFI%

proie	F	N	P	S	MFI%	$\Sigma$ MFI%	classement
<i>Melosira</i>	65,52	3,75	22,77	32,51	25,19	<b>25,19</b>	préférentielle
<i>Peridinium</i>	37,93	0,61	31,65	91,32	22,15	<b>47,34</b>	préférentielle
<i>microcystis aeruginosa</i>	8,62	94,67	8,56	83,39	18,86	<b>66,20</b>	préférentielle
<i>Cymbella</i>	41,38	0,67	18,18	43,14	17,53	<b>83,73</b>	secondaire
<i>Cosmarium</i>	10,34	0,09	8,66	77,91	6,03	<b>89,76</b>	accidentelle
<i>Navicula</i>	15,52	0,12	5,63	31,37	5,95	<b>95,71</b>	accidentelle
<i>Phacus</i>	5,17	0,03	3,14	49,66	2,56	<b>98,27</b>	accidentelle
<i>Euglena</i>	5,17	0,05	1,42	23,73	1,73	<b>100,00</b>	accidentelle

### 1.3.1. Aperçu des composants de la MFI

- La fréquence F (indice d'occurrence) : Sur les 73 spécimens échantillonnés 38 ont ingérés *Melosira*, 22 pour *Peridinium*, 5 pour *Microcystis aeriginosa*, 24 pour *Cymbella*, 6 pour *Cosmarium*, 9 pour *Navicula*, 3 pour *Phacus* et 3 pour *Euglena*.

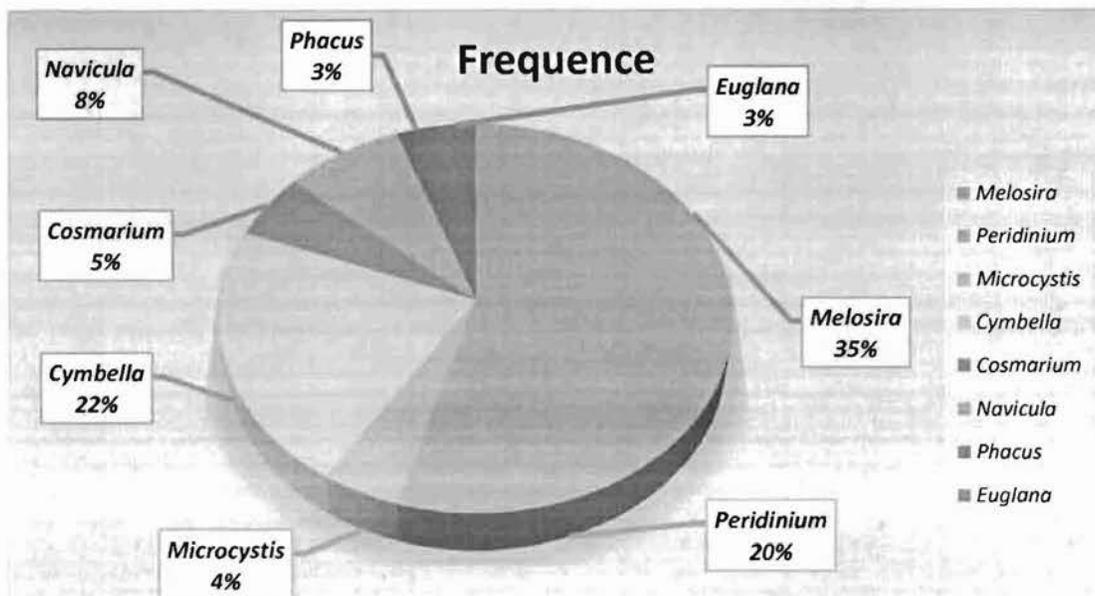


Figure 15 : Fréquences des proies

- L'abondance pondérale P (elle concerne le poids des proies rencontrées dans les estomacs) : le poids de *peridinium* représente 31,65% du poids total des proies dans tous les estomacs. Celui de *melosira* représente 22,77%, *cymbella* 18,18%, celui de *cosmarium* et *microcystis* environ 8,5% les autres proies sont faiblement représentées en poids (< 4%).

### 1.3.2. Diagramme de Costello

Le diagramme montre qu'il y a une grande variabilité dans l'utilisation des ressources par les individus et donc une forte contribution du phénotype à la largeur de la niche. La population de *S. galilaeus* est ainsi subdivisée en sous-populations spécialisées chacune dans l'utilisation d'une ressource bien définie. Une sous-population a une préférence pour le filtrage de *Microcystis aeriginosa*, une pour le genre *peridinium*, une autre pour le genre *cosmarium* et une pour le genre *phacus* (figure 16).

L'analyse de l'abondance spécifique montre que la sous population groupée autour de *peridinium* a consommée 91,32% en poids de *peridinium* contre seulement 8,68% pour l'ensemble des autres proies. La sous population groupée autour de *microcystis aeruginosa* a consommée 83,39% de *M. aeruginosa* et faiblement 16,61% pour les autres catégories de proies. Celle groupée autour de *Cosmarium* est 77,91% en poids de *cosmarium* et 22,11 pour les autres catégories de proie. La sous population groupée autour de *phacus* a ingéré 49,66% contre 50,33% pour les autres catégories. Il n'y'a pas eu de groupement spécifique remarquable autour de *Cymbella*, *euglena*, et *navicula* (figure 17). Cependant toute la population de *S. galilaeus* consomme moyennement *melosira* et augmente en outre la quantité de *melosira* dans son régime.

La figure 16 ci-dessous est subdivisée en quatre parties (a, b, c, et d). Chaque partie correspond à une subdivision de la population de *S. galilaeus* autour des proies

- (a) plusieurs franges de la population se spécialisent chacune sur ces proies différentes.
- (b) toute la population se spécialise sur un nombre réduit de proies
- (c) tous les individus de la population présentent un régime généraliste sur cette proie
- (d) Représente des proies rarement rencontrées.

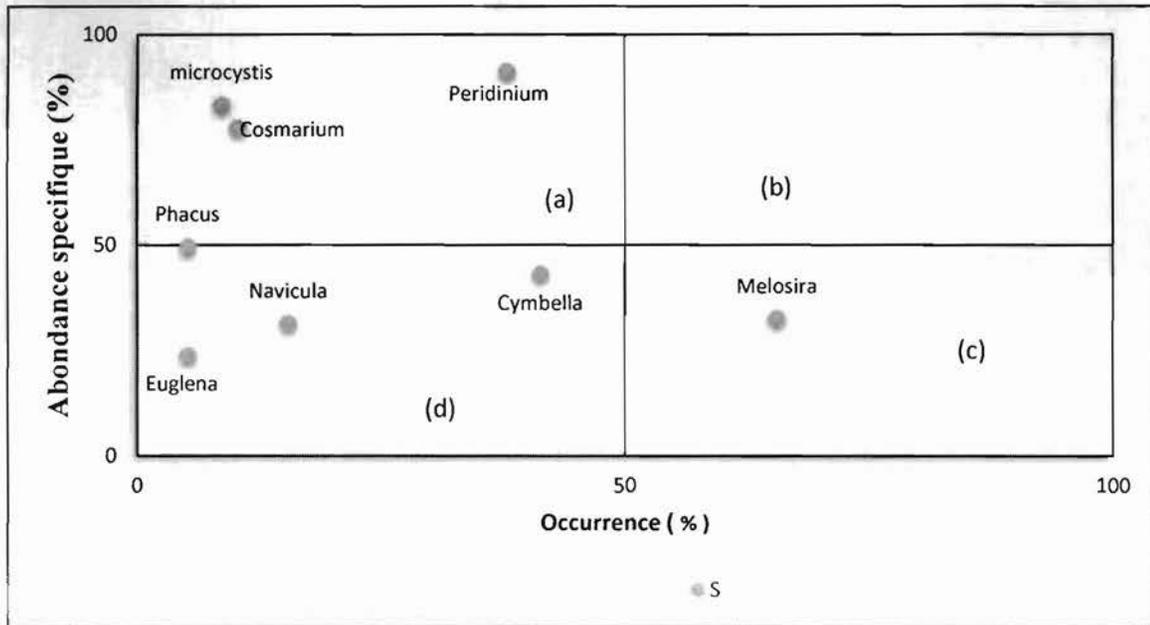


Figure 16 : diagramme de Costello

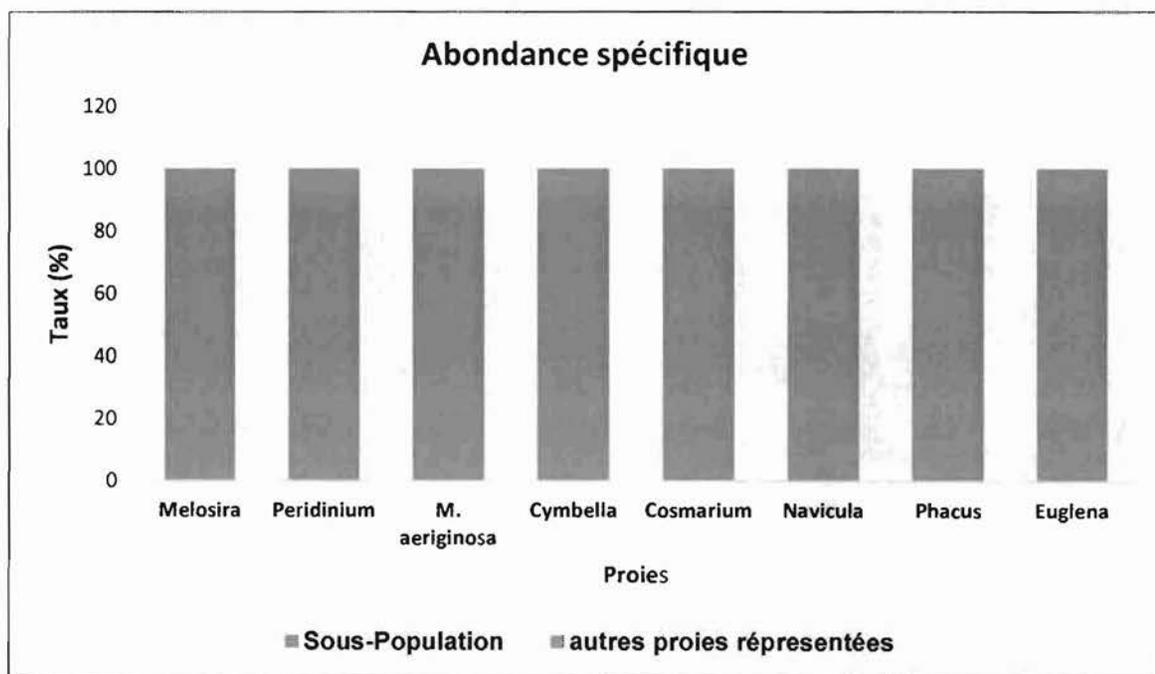


Figure 17 : groupement spécifique des sous-populations

## II. Discussion

De manière générale les paramètres physico-chimiques de l'eau de barrage de Ziga ont évolué dans le même sens au point A, B et C. Toutefois il importe de souligner quelques différences significatives inter-point consécutives aux précipitations et aux vents qui ont tendance à agiter l'eau différemment d'un point à l'autre. Pour les analyses du contenu stomacales des spécimens de *S. galilaeus* il a été identifié en plus du phytoplancton d'autres microorganismes que nous avons rangés dans les divers. Il est impératif de signaler que les études n'ont concernées que le phytoplancton conformément aux objectifs de cette étude.

### 2.1. Analyse du pH

Les valeurs moyennes obtenues à la crue et à l'étiage sont respectivement  $7,13 \pm 0,24$ - $8,26 \pm 0,32$ . Ces moyennes, quoique légèrement basiques se situent dans les limites 7,5-8,5 favorables à la production du phytoplancton (Zongo, 2007). Par conséquent ses conditions pourraient favoriser la prolifération des organismes planctoniques à Ziga. Ces résultats obtenus sont proches des analyses réalisées par Zongo et Guinko (1999) à Loumbilla, Oueda (2009) à Loumbilla, Neya (2011) à Ziga et Sissao (2012) à Tengrela. Toutefois, les variations des valeurs du pH au fond de la retenue semblent coïncider avec le phénomène de décomposition des algues et des réactions d'oxydation de la matière organique. De ce faite les faibles valeurs de pH relevées en période de crue seraient dues à la diminution de l'activité microbienne suite à une dilution du plancton et du periphyton comparativement au période de fin de saison pluvieuse. L'abreuvement des animaux domestiques à l'étiage ; leurs excréments et leurs urines de nature basique contribueraient à la hausse du pH.

### 2.2. Analyse de la température

D'une façon générale, la température des eaux de surface est influencée directement par les conditions climatiques. Les valeurs moyennes maximales et minimales respectivement relevées à la crue et à l'étiage sont  $30,66 \pm 1,55$  et  $21 \pm 1,06$  °C. Ces variations de température sont liées aux variations périodiques du rayonnement solaire. La valeur moyenne maximale de nos résultats relevée à la crue (période chaude) sont similaires à celles mesurées par Neya (2011) à Ziga, Oueda (2009) à Loumbilla, Sissao (2012) à Tengrela, et Da (2007) à Ebikro sur la Bia.. D'une manière générale, ces températures sont favorables à l'apparition et au développement du phytoplancton selon les observations faites par Reynolds (1998) et Zongo (2007). Il faut

signaler cependant que les mesures n'ont concernés que l'épilimnion qui est plus exposé au rayonnement solaire.

### **2.3. Analyse de la transparence et de turbidité.**

Les moyennes maximale et minimale sont respectivement de  $506 \pm 64,62$  NTU relevée en septembre et de  $130,40 \pm 14,06$  NTU relevée en janvier. La moyenne globale est de  $255,68 \pm 129,62$  NTU. Nos résultats sont au-dessus des valeurs enregistrées par NEYA (2011) à Ziga avec des moyennes de 94,3 NTU et de 30 NTU et OUEDA (2009) à Loumbila qui sont de 8 NTU et 55 NTU. Ces différences tiennent du faite que les concentrations naturelles de sédiments en suspension varient considérablement d'une masse d'eau à l'autre et peuvent afficher des fluctuations journalières et saisonnières importantes (Singleton, 1985). Les fortes valeurs enregistrées au cours de cette étude pourraient s'expliquer aux activités humaines, notamment l'exploitation de gravier à proximité et en amont modifient considérablement les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du lac de barrage de Ziga. En effet le bassin versant à proximité du lac joue le rôle de réservoir d'extraction de sable et de gravier en période d'étiage. Ces fosses se transforment en sources de sédiments qui se déplacent par les ruissellements gravitaire vers le lac à la crue. D'autres facteurs probables sont liés à la surface étendue du lac sans couvert végétal. Ces conditions exposent celui-ci aux vents qui provoquent des turbulences et remettent en suspension les particules du sédiment fins et des matériaux détritiques. La pâture des animaux sur les berges du barrage avec pour corollaire le piétinement permanent de la côte par le bétail et la présence importante de déjection animale favorisent l'érosion hydrique et par conséquent contribue à troubler l'eau.

Quoique des baisses remarquables soient constatées de septembre en janvier ces matières en suspension contiennent entre autre des particules nutritives utilisables par les algues. Ce phénomène de drainage, selon Zongo (1991) serait à l'origine d'une tendance à l'eutrophisation du milieu.

#### **2.4. Analyse de la concentration de l'oxygène dissous**

L'analyse du profil des moyennes minimale ( $7,20 \pm 0,37$  mg/L relevée en septembre) et maximale ( $8,81 \pm 0,4$  mg/L relevée en décembre) montrent une hausse de la teneur en oxygène. En effet la proportion d'oxygène dans l'air qui se dissout dans l'eau est d'environ 35 % (Wetzel, 1983). Les variations sont régies par les vents, la turbulence de l'eau, la température, la salinité, les courants, les remontées d'eau et les processus biologiques (Wetzel, 1983). Dans le cas du barrage de Ziga, il faut noter que l'étude a concerné la zone littorale (zones peu profondes qui bordent la côte) les concentrations d'oxygène sont régies par les peuplements bien développés de macrophytes aquatiques et le périphyton qui les accompagne font augmenter sensiblement la concentration d'oxygène en période de photosynthèse. L'augmentation de l'oxygénation des eaux de Ziga a été également observée en période de fortes turbulences sous l'effet combiné des vents, des apports pluvieux et de la baisse de la température. Des résultats similaires ont été constatés par Abdellatif *et al.*, (2012), Grogga (2012) dans le lac Taabo.

Quoique des fluctuations soient constatées le taux d'oxygénation des eaux du lac est supérieur à 5 mg/l. seuil en dessous de laquelle la vie aquatique dans le milieu est perturbée (Hibuche, 2002) et par conséquent favorable à l'émergence phytoplanctonique.

#### **2.5. Analyse de la concentration du nitrate et du nitrite**

Les moyennes maximale et minimale du nitrate ( $79 \pm 26,09$  mg/L en septembre et 00 mg/L à partir de décembre) avec une moyenne globale de 17,95 mg/L. Celles du nitrite dans le même ordre 0,03 mg/L et 0,02 mg/L avec une moyenne globale de 0,022 mg/L. L'accumulation de nitrate en période de crue aboutit aux mêmes conclusions que Romdhane, (1986); Ben Rejeb Jenhani, (1989); Mouelhi, (2000); Turki, (2002). Le barrage de ziga est une retenue dont le bassin versant est dominé par des zones agricoles, ces zones sont probablement la source principale des éléments fertilisants après lessivage en période pluvieuse. Ces fortes concentrations en nitrates et nitrites sont les précurseurs de l'azote pour le phytoplancton d'après Wetzel (1983). Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement à des taux relativement faible. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre *Nitrosomonas*, puis en nitrates par les bactéries du genre *Nitrobacter*. L'absorption du nitrate par les végétaux et le phytoplancton, sa solubilité élevée dans l'eau et sa forte réduction en nitrite expliqueraient la baisse de la concentration à l'étiage. Bien que

des fluctuations soient enregistrées la valeur moyenne maximale du nitrate est au-dessus du seuil 11,3 mg/L, préconisé par l'OMS (2000).

## ***2.6. Analyse de la concentration de l'orthophosphate***

Les valeurs observées de septembre en janvier sont au-dessus des conditions naturelles établies ( $\leq 0,025$  mg/L) Meybeck (1989) pour un cours d'eau n'ayant pas subi d'apport extérieur de phosphore. Les moyennes maximales et minimales sont respectivement  $1,26 \pm 1,16$  mg/L observé en septembre (saison pluvieuse) et  $0,09 \pm 0,01$  mg/L en janvier (saison sèche). Les différences de concentrations entre la normale et nos résultats pourraient être considérées comme un flux d'influence unidirectionnel du phosphore sur la prolifération du phytoplancton, le zooplancton, et les végétaux. Le phosphore est naturellement présent dans certaines roches (sédimentaires). La forte concentration à la crue des orthophosphates ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), qui sont des sels minéraux de l'acide phosphorique ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) est par conséquent liée au lessivage de ces roches par les processus naturels d'érosion dans le lac. Les déjections animales et les intrants agricoles de nature phosphorique sont des explications possibles.

Dans les milieux aquatiques, les orthophosphates sont rapidement assimilés par les végétaux et le phytoplancton (Pourriot et Meybeck 1995) ce qui explique la baisse de concentration à l'étiage.

## ***2.7. Analyse de la conductivité électrique***

La conductivité donne une indication de la quantité de sels dissouts dans l'eau. Les valeurs moyennes maximales et minimales enregistrées sont respectivement  $90,16 \pm 22,75$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  et  $69,40 \pm 4,22$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ces moyennes correspondent respectivement à des quantités de sels de  $45 \pm 11$  mg/L et  $34,70 \pm 0,21$  mg/L. Cela témoigne d'une faible concentration de sels dans le lac de ziga. Cette caractéristique de l'eau du barrage est probablement attribuable à la géologie (composition des roches) et du bassin versant qui l'alimente Ces mesures de la conductivité nettement inférieures à 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , correspondent à celles d'une eau douce (Hade, 2002). Nos valeurs sont dans le même ordre de grandeur que celles enregistrées par Neya (2011), Sissao (2012) et Grogga (2012). Par ailleurs Ce niveau de minéralisation à Ziga ( $45 \pm 11$  mg/L et  $34,70 \pm 0,21$  mg/L) traduit un facteur néfaste qui conditionne la multiplication et la croissance du phytoplancton, (Lacroix, 2004).

## 2.8. *Analyse du rôle de S galilaeus dans la lutte contre la prolifération des algues dans le barrage.*

L'analyse des contenus stomacaux des spécimens étudiés dans le lac de barrage de Ziga révèle que *S. galilaeus* est phytoplanctophage. Ces résultats sont, dans leurs grandes lignes, conformes aux conclusions de Welman (1948), Daget (1957, 1961), Lowe (1959), Ben-Tuvia (1959), Holden et Green (1960), Petr (1967), FAO (1970) et Neya (2011). Ces résultats indiquent aussi que l'espèce étudiée à un régime relativement stable au cours du temps. De ce fait, la rareté des proies préférentielles ou l'abondance d'autres proies ne changent pas son régime alimentaire. L'analyse des contenus stomacaux met en évidence un fort coefficient de vacuité (0,2). Ce coefficient de vacuité élevé indique une plus grande inaccessibilité de la nourriture à cette période. En effet, l'étude s'est déroulée dans les périodes de crue ou le courant d'eau est relativement élevé, et le phytoplancton fortement dilué se trouve en concentration très faible (Oueda, 2009). Cela limite fortement l'alimentation des poissons phytoplanctophages. L'étude du régime alimentaire de *S. galilaeus* a mis en évidence 8 genres de phytoplancton (*melosira*, *peridinium*, *microcystis eariginosa*, *cymbella* *Navicula*, *Cosmarium*, *phacus* et *euglena*). Cette variabilité du phytoplancton dans le régime indique une grande diversité algales dans le lac de ziga car d'après certaines études (Dolumbia, 2003 ; Balcombe *et al.*, 2005) les poissons se nourrissent en fonction de la disponibilité alimentaire existant dans le milieu. En définitive, selon Paugy et Lévêque (1999), les espèces se nourrissent de ce qu'elles trouvent dans le milieu qu'elles fréquentent. La présence des algues *Peridinium*, *Navicula* et *Cosmarium* dans le régime de *S. galilaeus* a été signalé par certains auteurs : Ben-tuvia (1959), Chervinski (1961) et Neya (2011). L'importance de *Microcystis aeriginosa* (taille d'une cellule = 5 µm de diamètre) dans le régime n'est pas conforme à l'hypothèse de Hickling (1962). Ce même auteur a indiqué que le pouvoir de sélectivité des micro-branchiospines de l'espèce est supérieure à 15 µm ce qui traduit une sélection négative de *M. aeriginosa*. Des sélectivités négatives ont été également signalées chez l'espèce *Synodontis membranaceus* à Loumbila (Oueda 2009). À cet sujet il faut noter que conformément à la théorie de la recherche optimale de nourriture : "Optimal Foraging Theory" (MacArthur et Pianka, 1966 ; Emlen, 1966 et Charnov, 1976), les stratégies alimentaires sont définies de telle sorte à s'adapter et à optimiser le gain net d'énergie. Ainsi, la proie la plus profitable (énergétiquement) sera à chaque fois incluse dans l'alimentation du prédateur tandis que les proies les moins bénéfiques ne seront incluses dans le régime que lorsque la densité de la proie la plus bénéfique descendra en dessous d'un seuil critique. En conclusion il faut souligner que les performances de *S. galilaeus*

enregistrées au cours de cette étude montrent une utilisation efficace du phytoplancton et en conséquence contribue à la diminution de la concentration du *melosira*, *peridinium*, *microcystis aeruginosa*, *cymbella* *Navicula*, *Cosmarium*, *phacus* et *euglena* dans le lac de barrage de ziga. Cet impact radial de *S. galilaeus* dans la disparition des composantes phytoplanctoniques a été vu également par Hrbáček *et al.* (1961), Hrbáček (1962), Brooks et Dodson (1965), Straskraba (1965) et Lazzaro (1987) comme un effet direct dans la limitation des algues et en conséquence bénéfique dans la lutte contre les efflorescences des organismes planctoniques dans le lac. Toutefois une forte prolifération d'algues, en plus d'être peu esthétique, risque d'obstruer les prises d'eau et les conduites des filtres. Lorsque les fleurs d'eau provenant des algues déperissent et se décomposent, leurs cellules mortes sont souvent responsables de mauvaises odeurs dues à la raréfaction de l'oxygène dans l'eau (Scott, 2002). D'autres 'espèce telle *Microcystis aeruginosa* renferme des substances extrêmement toxiques qui peuvent causer des maladies graves ou même la mort si on les ingère. (Scott, 2002).

## Conclusion

À l'issue de cette étude, il ressort de nos résultats que l'utilisation du réseau trophique par *S. galilaeus* dans le milieu naturel du lac de ziga est énorme et diversifié. L'espèce ingère une

proportion assez importante et variée de phytoplancton de genre *Melosira*, *Peridinium*, *Microcystis*, *Cymbella Navicula*, *Cosmarium*, *Phacus* et *Euglena*. À cet égard, un élevage de cette espèce dans la pêche artisanale du lac de barrage de Ziga, pourra être améliorée dans une perspective de lutte biologique avec les effets escomptés suivants :

- l'augmentation de la production piscicole du lac de barrage de Ziga en tilapias, permettra d'améliorer les conditions de vie des populations riveraines à travers l'apport de protéines animales et la diversification des revenus ;
- la protection de la santé humaine et animale contre d'éventuelles productions de toxines par les algues, car le genre *Microcystis* inventorié fait partie des *Cyanobacteries* qui ont des facteurs potentiels de production de toxines, par essence incompatibles avec la santé humaine
- le contrôle de la biomasse algale, point focal de la recherche.

## Perspectives et recommandations

Au terme de cette étude nous pouvons faire des suggestions concernant les points suivants :

- Élaboration d'une base de données des micro-algues et de leurs prédateurs naturels dans la pêche artisanale du lac de barrage de Ziga en mettant en relief, les impacts probables induits sur le vieillissement du lac ainsi que sur la santé humaine et animale.
- Il faudra étendre l'étude des interactions trophiques à toutes les espèces de poisson de Ziga. Cela permettra certainement de mettre plus clairement en évidence les phénomènes de compétitions et d'élucider les mécanismes utilisés pour l'éviter ou la réduire.
- Il faudra également étendre l'étude sur les zooplanctons et les macro-invertébrés pour comprendre les interactions paramètres physico-chimiques-phytoplanctons-zooplanctons-poissons
- Concernant la qualité de l'eau, nous recommandons un contrôle (une fois par semaine) régulier visant à maintenir les paramètres physico-chimiques de l'eau dans les intervalles préconisés pour prévenir la prolifération massive des planctons. Pour les études à venir, il faudrait tenir compte des différentes stratifications de l'eau, et considérer d'autres

paramètres tels que la chlorophylle *a*, le phosphore total, l'azote total qui peuvent fortement influencer la production algale de l'eau.

- Au niveau des activités menées autour du barrage il faudrait se pencher sur la création de petites retenues d'eau dans des zones où le barrage est exposé à l'activité anthropique susceptible de dégrader la qualité de l'eau. Par ailleurs, il est impératif de dissocier les activités secondaires greffées au lac telles que la maraîcher-culture, le pâturage et l'extraction de sable et d'agrégats dans le bassin versant à proximité du barrage.
  
- Nous suggérons que la lutte biologique soit intégrée c'est-à-dire en plus des espèces de poissons utilisées la mise au point d'autres stratégies telles que l'utilisation des îles flottantes et d'espèces végétales qui disposent à cet effet des propriétés d'assimilation du nitrate et de rétention des matières en suspension, l'espèce couramment utilisée est *Ceratophyllum submersum*, communément appelée Cornifle submergé

## Bibliographie

**Abdellatif H. R., Khadija EL K. et Driss B., 2012.** Analyses physico-chimiques des eaux du site Ramsar Sidi Boughaba (Maroc) 15p.

**Adebisi A. A., 1981.** Analyses of the stomach contents of the piscivorous fishes of the Upper Ogun River in Nigeria. *Hydrobiologia* 79 : 167-177.

**Amundsen P. A., Gabler H. M. et Staldvik F. J., 1996.** A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data – modification of the Costello (1990) method. *Journal of Fish Biology* 48 : 607-614.

**Balcombe S. R., Bunn S. E., Mckenzie Smith F. J. et Davies P. M., 2005.** Variability of fish diets between dry and flood periods in an arid zone floodplain river. *Journal of Fish Biology* 67 : 1552-1567.

**Ben Rejeb Jenhani A., 1989.** Le lac Ichkeul : Conditions du milieu, peuplements et biomasses phytoplanktoniques. Thèse, Université de Tunis. 209 p.

**Ben-Tuvia A., 1959.** The biology of the cichlid fishes of Lakes Tiberias and Huleh, Bull. Res. Counc. Isr, 8B 4 :153-88.

**BGB Meridien Sarl., 2010.** État des lieux des ressources en eau du bassin versant du Nakanbe 290 p.

**Bourrelly P. 1985a.** Les algues d'eau douce: initiation à la systématique: les algues bleues et rouges. *Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines*. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris, 606 p.

**Brooks J. L. et Dodson S. I., 1965.** Predatori, body size and the composition of plankton. *Sciences* 150: 26- 35.

**Cézilly F., Brun B. et Hafner H., 1991.** Foraging and fitness. *Actaæcologica*, 12 : 683-696.

**Charnov E. L., 1976.** Optimal foraging, the marginal value theorem. *Theoretical population Biology* 9: 129-136.

**Chervinski J., 1961.** Study of the growth of *Tilapia galilaea* (Artecli) in various saline concentrations. *Bamidgeh*, 13 (3-4):71-4.

**Costanza R., d'Arge R., Rudolf de Groot, Stephen F. k., Monica G., Bruce H., Karin L., Shahid N., O'Neill R.V, Jose P., Robert G. R., Paul S. k. k. et Marjan van den**

- B., 1997.** The value of the world's ecosystem services and natural capital *in Nature's Services*, 387 p.
- Da K. P., 2007.** Étude taxinomique du phytoplancton dulçaquicole des masses d'eau lenticues et lotiques de quelques sites au sud de la Côte d'Ivoire, entre les fleuves Bandama et Bia. Apport de la microscopie électronique à balayage. Thèse de Doctorat d'Etat ES sciences naturelles U.F.R. Biosciences, Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire 370 p.
- Daget J., 1957.** Données récentes sur la biologie des poissons dans le delta central du Niger. *Hydrobiologia*, 9 (4): 321- 47.
- Daget J., 1961.** Rapport sur le projet de barrage de Kainji (pêcheries). *Hydrobiologia*, 61(4): 8 p.
- Denzer H. W., 1968.** Studies on the physiology of young Tilapia. FAO Fish. Rep., (44) volume 4: 357- 66.
- DGRH, 2007.** Etat des lieux du secteur des ressources halieutiques au Burkina Faso. Rapport MAHRH 21 p.
- DGRH, 2011.** Stratégie Nationale de Développement Durable des ressources Halieutiques à l'horizon 2025 (Burkina Faso). 39 p.
- Dolédec S., Statzner B. et Bournaud M., 1999.** Species traits for future biomonitoring across ecoregions: patterns along a human-impacted river. *Freshwater Biology*, 42, 737-758.
- Doumbia L., 2003.** Variations spatio-temporelles des peuplements et stratégies alimentaires de deux poissons-chats africains : *Schilbe mandibularis* (Güther, 1867) et *Schilbe intermedius* Rüppell, 1832 (Bassins Bia et Agnébi ; Côte d'Ivoire). Thèse unique, Université Abobo-Adjamé, 188 p.
- Dusenberry J. A., Olson R. J., Chisholm S. W., 1999.** Frequency distributions of phytoplankton single cell fluorescence and vertical mixing in the surface oceans. *limnol oceanogr*, 44: 431- 435.
- Dussart B. et Gras R., 1966.** Faune planctonique du lac Tchad. Crustacés Copépodes. *Cah. ORSTOM, ser. Oceanogr.* 4 (3): 77-91.
- El Saby M.K., 1951.** The lake fisheries of Egypt 1951 Proc. U.N, *Sci.Conf Conser, Util, Resour*, 1949 (7): 126-30.
- Emlen J. M., 1966.** The role of time and energy in food preference. *American naturalist*, (100): 611- 617.

- FAO, 1970.** The fish population of newly impounded Kainji Lake, Kainji Lake Research Project. Nigeria. Report prepared for the Government of Nigeria by the Food and Agriculture Organization of the United Nations acting as executing agency for the United Nations Development Programme, based on the work of J L, Turner, Rome, FAO, FI: SF/IR 24p.
- Fukusho K., 1968.** The specific difference of temperature responses among cichlid fishes genus *Tilapia*. *Bull, Ja, Soc, Sci, Fish*, 34 :103-11.
- Germain H., 1981.** Flore des diatomées : eaux douces et saumâtres. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris,
- Ghazai M., Benech V. et Paugy O., 1991.** L'alimentation de *Brycinus leuciscus* (Teleostei: Characidae) au Mali: aspects qualitatifs, quantitatifs et comportementaux. *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, 2: 47-54.
- Gleick P. H., 1993.** "Water resources: A long-range global evaluation". *Ecology Law Quarterly* vol. 20, No. 1, pp. 141-149.
- Groga N., 2012.** Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire) Thèse de doctorat de l'université de Toulouse 224p.
- Hade A., 2002.** Nos lacs : les connaître pour mieux les protéger. Editions Fides, 360p.
- Hickling C. F., 1962.** Fish culture. London, Faber and Faber, 295 p.
- Holden M. J. et Green J., 1960.** The hydrology and plankton of the River. *J. Anirn. Ecol.* 29: 65-84.
- Hrbáček J., 1962.** Species composition and the amount of zooplankton in relation to the fish stock. *Rozpr. CSAV, Ser. mat. nat. sci.* 72: 1-117.
- Hrbáček J., Dvoiakova M., Koíínek V et Prochdzkóva L., 1961.** Demonstration of the effect of the fish stock of the species composition of zooplankton and the intensity of metabolism of the whole plankton association. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 14 : 192- 195.
- Hubiche J., 2002.** La dynamique de la vie. Loire Estuaire cellule de mesure et de bilans. 6 p
- Hyslop E. J., 1980.** Stomach contents analysis a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology* 17: 411–429.
- John D. M., 1994.** Alternation of generations in algae: its complexity, maintenance and evolution. *Biology Review.* 69: 275-291.
- Kabré T. A. et Illé A., 2000.** Rétrécissement saisonnier des superficies d'eau, variation physico-chimique et production des pêcheries artisanales de Bagré. *Tropicultura, Vol. 18 (3).*

- Kilham S. S. et Kilham P., 1984.** The importance of resource supply rates in determining phytoplankton community structure. In *Trophic interactions within aquatic ecosystems*. Am. Assoc. p 7-27.
- Kouamélan P. E., Teugels G. G., Gourène G., Thys Van Den Audenaerde D. F. E. et Ollevier F., 2000.** Habitudes alimentaires de *Mormyrops anguilloides* (Mormyridae) en milieux lacustre et fluvial d'un bassin ouest-africain. *Cybium* 24 (1) : 67-79.
- Lacroix E., 2004.** Pisciculture en zone tropicale. GFA Terra System, Hamburg, Allemagne. 231p.
- Lauzanne L., 1988.** Les habitudes alimentaires des poissons d'eau douce africains. In : *Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains*. C. Lévêque, M.N. Brutton et G.W. Sseentongo (Eds). Editions ORSTOM, ISBN 2-70990929- 4, 221- 242.
- Lazzaro X., 1987.** A review of planktivorous fishes: their evolution, feeding behaviours, selectivities, and impacts. *Hydrobiologia* 146: 97-167.
- Lowe R. H., 1959.** Breeding behaviour patterns and ecological differences between Tilapia species and their significance for evolution within the genus Tilapia (Pisces, Cichlidae). *Proc. Zool. Soc. Lond.*, 132 (1):1-30.
- Macarthur R. H. et Pianka E. R., 1966.** On optimal use of a patchy environment. *American Naturalist* 100 : 603-609.
- Malmqvist B. et Rundle S., 2002.** Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental Conservation* 29 (in press).
- Meybeck M., 1989.** The quality of rivers: from pristine stage to global pollution. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol.*, 75, 283-309.
- Moss B., Backer T., Stephen D., Williams A., Balayla D., Beklioglu M. et Carvalho L. 2005** Consequences of reduced nutrient loading on a lake system in a lowland catchment: deviations from the norm *Freshwater biology*, 50, 1687 – 1705.
- Mouelhi S., 2000.** Etude écologique de la retenue de Sidi Salem : aspects physicochimiques des eaux et dynamique des peuplements zooplanctoniques. Thèse de doctorat en sciences biologiques, université de Tunis II. pp. 21 – 126.
- Neya B. A., 2011.** Méthode de lutte contre l'émergence des algues : analyse du broutage et du filtrage des algues par les cichlidae du lac de barrage de Ziga. Mémoire, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 92 p.

**OMS, 2000.** Nitrates et nitrites, In directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2 - Critères d'hygiène et documentation à l'appui organisation mondiale de la santé, Genève, pp 324-336.

**Oueda A., 2009.** Zooplancton et écologie alimentaire des poissons de lacs artificiels de Bagré et de Loumbila (Burkina Faso). Thèse unique. Université de Ouagadougou. 178 p.

**Ouedraogo R. L., 2002.** Rapport d'activité de recherche. INERA/DPF. In BGB Meridien Sarl., 2010. État des lieux des ressources en eau du bassin versant du Nakanbe 290 p.

**Paugy D. et Leveque C., 1999.** Régimes alimentaires et réseaux trophiques. In : Les poissons des eaux continentales africaines : Diversité, écologie, utilisation par l'homme. C. Lévêque et D. Paugy (Eds), Editions IRD, ISBN/2-7099-1432-8, pp. 167-190.

**Petr T., 1967a.** Fish population changes in the Volta Lake in Ghana during its first sixteen months, *Hydrobiologia*, 30 (2): 193-220.

**PNUE., 1991.** *Pollution des eaux douces*. Bibliothèque de l'environnement PNUE/GEMS. N° 6. Nairobi.

**Pourriot R. & Meybeck M. 1995.** Limnologie générale. *Masson Edition*. 956p.

**Pusey B. J., Arthington A. H. et Read M. G., 2000.** The dry-season diet of freshwater fishes in monsoonal tropical rivers of Cape York Peninsula, Australia. *Ecology of Freshwater Fish* 9 : 177–190.

**Reynolds C.S.; Padisák, J.; Sommer, U. 1993.** Intermediate disturbance in the ecology of phytoplankton and the maintenance of species diversity: a synthesis. *Hydrobiologia* 249: 183-188.

**Reynolds R W., Smith, T M., 1998.** A High-Resolution Global Sea Surface Temperature Climatology for the 1961–90 Base Period. *J. Climate*, 11, 3320–3323.

**Romdhane, M.S., 1986.** Lagune de Ghar El Melh. Milieu, Peuplement, Exploitation. Thèse, Université de Tunis. 245 p.

**Scott, N., 2002.** Les algues, les cyanobactéries et la qualité de l'eau. Article. In Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique (matières particulaires totales) 15p.

**Singleton H. J., 1985.** Water quality criteria for particulate matter: Technical appendix. Ministry of the Environment Lands and Parks, Victoria, BC. *In* Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique (matières particulaires totales) 15p.

**Sissao R., 2012.** Diversification des espèces et des systèmes de production piscicole : étude de la croissance de *heterotis niloticus* (cuvier, 1829) en cage et de *clarias gariepinus* (burchell, 1822) en bassin. Mémoire, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 82p.

**Smith V.H., Tilman G.D. & Nekola J.C. 1999.** Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Environ. Poll.* 100: 179-196.

**Straskraba M., 1965.** The effect of fish on the number of invertebrates in ponds and streams. *Mitt. int. Ver. Limnol.* 13: 106-127.

**Straskraba M., 1967.** Quantitative study on the littoral zooplankton of Poltruba Backwater with an attempt to disclose the effect of fish. *Rozpr. Csl. Akad. Ved.* 77: 7-34.

**Streble H. et Krauter D., 1973.** Das Leben in wassertrophen, Mikroflora und Mikrofauna des Sübwassers. *Kosmos Bucher*, 272-291.

**Sweeney B.W., Bott T. L., Jachson J. K., Kaplan L. A., Newbold J. D., Standley L. J., Hession W. C. et Horwitz. R. J., 2004.** Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem service. *Proc. Natl. Acad. sci. USA* 101: 14132-14137.

**Teugels G. G., Reid G. M., King R. P., 1992.** Fishes of the Cross River basin (Cameroon Nigeria) taxonomy, zoogeography, ecology and conservation. *Ann. Mus. R. Afr. Cent.*, 266 : 4-132.

**Torreton, 1999.** Intervention du bactérioplancton dans les réseaux trophiques. Université Montpellier II, Habilitation à diriger des recherches, 52 p.

**Trewavas, E., 1983.** Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. *British Mus. Nat. Hist.*, London, UK. 583 p.

**Turki, S., 2002.** Contribution à l'étude bio-écologique des rotifères, cladocères, copépodes des eaux continentales tunisiennes et dynamique saisonnière du zooplancton de la retenue de barrage Bir M'chergua. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques. Université de Tunis El Manar / INSTM. 225 p.

- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummings, J. R. Sedell, and C. E. Cushing, 1980.** The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Welman J.B., 1948.** Preliminary survey of the freshwater fisheries of Nigeria. Lagos, Government Printer, 71 p.
- Wetzel R. G. 1983.** Limnology. 2e éd. Saunders College Publishing, Philadelphia. In *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique (matières particulaires totales)* 15p.
- White F., 1984.** Ecological differentiation in lake Victoria Haplochromines . comparison of Cichlid species flock in African lakes . *In* Echelle (AAI. KORNFIELD II), éd.. Evolution of fish species flocks. Orono (Maine), University of Maine at Orono Press: 155-167.
- Zander C. D., 1982.** Feeding ecology of littoral gobiid and blennioid fish of the Banyuls area (Mediterranean Sea). I Main food and trophic dimension of niche and ecotope. *Vie et Milieu* 32 : 1-10.
- Zongo F., 2007.** Inventaire et systématique des micro-algues du réservoir de Bagré au Burkina Faso. Thèse de doctorat d'Etat ès Science, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 208 p.
- Zongo F. et Guinko S., 1999.** Quelques algues du réservoir Hydro-électrique et hydroagricole de Bagré (Province du Boulgou/Burkina Faso).-*Bull.Jard.Bot. Nat. Belg.* :67 :321-237.
- Zongo F., 1991.** Pollution organique des eaux de surface au niveau de Ouagadougou. Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, 72 p.
- Zubkov, M.V. et Tarran, G. A., 2008.** High bacterivory by the smallest phytoplankton in the North Atlantic Ocean. *Nature*. 455 : 224.