

N°Ref :.....



## Centre Universitaire AbdelhafidBoussouf-Mila

Institut des Sciences et de la Technologie  
Département des Sciences de la Nature et de la Vie  
Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

# Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie Appliquée et Environnement

Option : protection des écosystèmes

Thème

**DYNAMIQUE DE LA POPULATION MICROALGALE  
DANS LES OUEDS QUI ALIMENTENT LE BARRAGE  
DE BÉNI-HAROUN**

Préparé par :

- Boudenne Siham
- Belaifa Rahma

Devant le jury :

Président : M<sup>me</sup> DOUAFER Louiza

M.C.A Centre Unive.rsitaire de Mila

Examineur : M<sup>me</sup> TAYAA Hakima

M.C.B Centre Universitaire de Mila

Promoteur : M<sup>me</sup>. KHERIEF N. Saliha

M.A.A Centre Universitaire de Mila

Année Universitaire: 2018/2019



# *Remerciement*

*Nous rendons grâce à Dieu de nous avoir donné  
le courage et la patience pour faire notre devoir.*

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à mon encadreur

*M<sup>me</sup> KHERIEF NACERADDINE SALIHA*

pour m'avoir accompagné tout au long de ce travail.

Je suis très reconnaissante pour son apport  
et pour la confiance qu'elle m'a témoignée.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury  
pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant  
d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs remarques.

Nous voulons remercier *M<sup>me</sup> DOUAFER LOUIZA* d'avoir

Accepté de présider le jury

Nous remercions également l'examinatrice *M<sup>me</sup> TAYAA HAKIMA*

d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin nous remercions vivement toutes personnes

ayant contribué de près ou de loin à

la réalisation de ce mémoire sans oublier

Nos aimables familles.

*Siham et Rahma*





## **Dédicace**

*Avant tout je remercie Dieu qui m'a donné la puissance,  
la santé, la volonté et le courage pour achever ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*Mes chers parents*

*Mon cher père **MOHAMMED** , qui m'a toujours  
encouragé,*

*Conseillé et soutenu dans mon travail*

*Ma très chère et douce mère **FADILA** qui m'a toujours  
Apporté son Amour et son affection*

*A mon adorable frère :**FOUZI***

*pour leurs soutiens et présence permanentes*

*Ma très chères sœurs : **RADAI** et son époux **MOUNIR**  
,**YASSMINA** et son époux **LOUKMAN** pour son soutien  
inconditionnel et l'aide qu'elle m'a toujours apportée et  
leur enfant surtout mon aimable **RAMA TASSNIM***

**RIHAB**

*A mes chères oncles et tantes pour leur précieuse aide et  
Soutien*

*A ma grande famille **BOUDENNE** et la famille **REMILI***

*A mes très chères amis : **NADJIB** ,**KARIMA** , **HOUDA**  
et **SAMIHA***

*pour ses encouragements et ses aides  
Tout au long de ce travail*

*A mes camarades de la promotion de 2<sup>ème</sup> Année  
Master  
Écologie 2019.*

**SIHAM**





## *Dédicace*

*Avant tout je remercie Dieu qui m'a donné la puissance, la santé, la volonté et le courage pour achever ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail à:*

*Mes chers parents*

*Mon cher père **Ali**, qui m'a toujours encouragé, Conseillé et soutenu dans mon travail.*

*Ma très chère et douce mère **ELKHAMSSA** qui m'a toujours Apporté son Amour et son affection.*

*A mes adorable frère **MOURAD ,MOUHAMED ,HICHAM** et **ABDALLAH** etsa femme **HOUDA** pour leurs soutiens et présence permanentes.*

*Mes très chères sœurs :**BADRA , IBTISSEM ,NORA** et **INAS** pour leurs soutiens incondtionnel et l'aident qu'elles m'a toujours apportées et leur enfant surtout mon aimable **BARAA***

*A ma grande famille **BELAAIFA** et la famille **BAGHI***

*A mes très chères amies : **HADJER ,ITAB ,FATTOUM , SELMA ,CHAHRAZAD**, pour ses encouragements et ses aides Tout au long de ce travail.*

*A mes camarades de la promotion de 2<sup>ème</sup> Année Master  
Écologie 2019.*

***Rahma***



## تلخيص

هذه الدراسة هي مساهمة في تقييم تأثير المعايير الفيزيائية والكيميائية على تطور الكتلة الحيوية الطحالب في اثنين من هذه الدراسة هي مساهمة في تقييم تأثير المعلمات الفيزيائية والكيميائية على تطور تنوع الطحالب في اثنين من الأودية التي تغذي سد بني هارون.

استند هذا العمل إلى جمع البيانات المكونة من 4 معلمات فيزيائية كيميائية وهي درجة الحرارة وإمكانية الهيدروجين والتوصيل الكهربائي والأكسجين المذاب بالإضافة إلى المعلمات البيولوجية (التنوع والثراء ومؤشرات التنوع والمساواة على مدى فترة عامين المنبع والمصب من الوديان اثنين (Rhumel و Endja)).

أظهرت القياسات الفيزيائية أن المياه القلوية ضعيفة الدفاع في المنبع، مؤكسجة بشكل جيد مع تمعدن مفرط.

أظهر التحليل الحيوي أن وادي Rhumel أغنى في الدياتومات من وادي Endja. كشف تحديد العوالق النباتية عن وجود تنوع كبير للغاية قدمه ما مجموعه 209 تصنيف. الدياتومات هي الأكثر وفرة. تظهر أجناس *Navicula* و *Nitzschia* و *Gomphonema* بأعلى ترددات. وقد لوحظت العديد من أنواع مؤشرات جودة المياه في المحطات الأربع. بالنسبة للدياتومات، التي تعد مؤشرات بيولوجية ممتازة لجودة المياه، فإن النتيجة، تشير إلى أن وجود *Nitzschia palea et Gomphonema pseudoaugur*، يدل على نوعية رديئة من الوديان، والتي يمكن أن يتبعها خطر انتشار الأعشاب البحرية في المستقبل.

**الكلمات المفتاحية:** تلوث المياه، العوالق النباتية، الدياتومات، العوامل الفيزيائية والكيميائية، مؤشر الانتشار.

## Abstract

This study is a contribution to the assessment of the impact of physicochemical parameters on the evolution of algal diversity in two wadis that feed the Béni Harroun dam.

This work was based on the data collection of 4 physicochemical parameters namely, temperature, hydrogen potential, electrical conductivity and dissolved oxygen as well as biological parameters (diversity, richness and indices of diversity and equitability) over a two-year period upstream and downstream of two wadis (Endja and Rhumel).

Physical measurements showed that weakly alkaline waters warm upstream, well oxygenated with excessive mineralization. Biotic analysis showed that wadi Rhumel is richer in diatoms than wadi Endja.

The identification of phytoplankton revealed a very large diversity presented by 209 taxa.

Diatoms are the most abundant. The genera *Navicula*, *Nitzschia* and *Gomphonema* show with the highest frequencies. Many indicator species of water quality were observed at the 4 stations.

For diatoms, which are excellent bio indicators of water quality, the result, shows that the presence of *Nitzschia palea* and *Gomphonema pseudoaugur*, indicate a poor quality of the two wadis, which can be followed by the risk of proliferation of seaweed in the future

**Key words:** Water pollution, Phytoplankton, Diatoms, Physico-chemical parameters, proliferation Index.

## Résumé

Cette étude est une contribution à l'évaluation de l'impact des paramètres physico-chimiques sur l'évolution de la diversité algale dans deux oueds qui alimentent le barrage de Béni Harroun.

Ce travail a été basé sur la collecte des données de 4 paramètres physico-chimiques à savoir, la température, le potentiel d'hydrogène, la conductivité électrique et l'oxygène dissous ainsi que des paramètres biologiques (diversité, richesse et indices de diversité et d'équitabilité) sur une période de deux ans en amont et en aval de deux oueds (Endja et Rhumel).

Les mesures physiques ont montré, des eaux faiblement alcalines, se réchauffent de l'amont en aval, bien oxygénées avec une minéralisation excessive.

L'analyse biotique, a montré qu'oued Rhumel est plus riche en diatomées qu'oued Endja.

L'identification du phytoplancton a révélé une diversité très importante présentée par 209 taxons au total.

Les diatomées, sont les plus abondants. Les genres *Navicula*, *Nitzschia* et *Gomphonema* se montrent avec les fréquences les plus élevées. Beaucoup d'espèces indicatrices de la qualité des eaux ont été observées dans les 4 stations.

Pour les diatomées, qui sont d'excellentes bio indicateurs de la qualité des eaux, le résultat, montre que la présence *Nitzschia palea* et *Gomphonema pseudoaugur*, indiquent une qualité médiocre des deux oueds, ce qui peut être suivi par le risque de prolifération d'algue dans l'avenir.

**Mots clés :** Pollution des eaux, Phytoplancton, Diatomées, Paramètres physico-chimiques, prolifération Indice.

# SOMMAIRE

Remerciements

ملخص

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des abréviations

Liste des tableaux

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Synthèse Bibliographique</b>	
<b>I.1. Les écosystèmes aquatiques</b>	<b>3</b>
I.1.1. Définition d'un écosystème aquatique	<b>3</b>
I.1.2. Fonctionnement d'un écosystème aquatique	<b>3</b>
I.1.3. Les cours d'eaux	<b>4</b>
I.1.3.1. Caractéristiques et types de cours d'eau	<b>4</b>
I.1.3.1.1. Les différents types de cours d'eau	<b>4</b>
<b>I.2 Pollution des eaux</b>	<b>5</b>
I.2.1. La pollution d'un cours d'eau	<b>5</b>
I.2.2 Les différents types de pollution des eaux	<b>6</b>
I.2.2.1. Pollution physique	<b>6</b>
I.2.2.2 Pollution chimique	<b>6</b>
I.2.2.3 Pollution biologique	<b>7</b>
<b>I.3. Les principales sources de pollution d'eau</b>	<b>7</b>
I.3.1 Pollution atmosphérique	<b>7</b>
I.3.2 Pollution urbaine	<b>7</b>
I.3.3. Pollution industrielle	<b>8</b>
I.3.4 Pollution agricole	<b>8</b>
<b>I.4. Les conséquences de la pollution des eaux</b>	<b>9</b>
I.4.1 Généralité sur l'eutrophisation	<b>9</b>

I.4.2 Caractérisation de l'eutrophisation	<b>9</b>
I.4.2.1. La prolifération des végétaux	<b>10</b>
I.4.2.2. Les implications physico-chimiques de la prolifération végétale	<b>10</b>
I.4.2.3. Les effets de l'eutrophisation	<b>10</b>
<b>I.5. La qualité des eaux</b>	<b>11</b>
<b>I.5.1. Paramètres de la qualité des eaux superficielles</b>	<b>11</b>
I.5.1.1. Paramètres physico-chimiques	<b>12</b>
I.5.1.1.1 La température	<b>12</b>
I.5.1.1.2 Le potentiel de l'hydrogène (pH)	<b>12</b>
I.5.1.1.3 La conductivité électrique	<b>12</b>
I.5.1.1.4 L'oxygène dissous (O <sub>2</sub> d)	<b>13</b>
I.5.2. Généralité sur la surveillance biologique	<b>13</b>
<b>I.6 Généralité sur les organismes vivants des eaux douces</b>	<b>14</b>
I.6.1 Le phytoplancton	<b>14</b>
I.6.1.1 Le cycle du phytoplancton	<b>15</b>
I.6.1.2 Définition des microalgues	<b>15</b>
I.6.1.3. Les propriétés biologiques générale des microalgues	<b>16</b>
I.6.1.4. Ecologie des microalgues	<b>16</b>
I.6.1.5. Composition des microalgues	<b>17</b>
I.6.1.6. Diversité et classification des microalgues	<b>17</b>
I.6.1.7 Reproduction chez les microalgues	<b>18</b>
I.6.1.7.1 Facteurs de production	<b>18</b>
I.6.1.7.2 Applications des microalgues	<b>19</b>
<b>I.7. Agrofournitures et traitement de l'eau</b>	<b>20</b>
<b>I.8. Risques des microalgues</b>	<b>21</b>
I.9. Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique	<b>22</b>
I.9.1 Indice de diversité de Shannon Weaver (H')	<b>23</b>

I.9.2 L'indice d'équitabilité (E)	24
<b>Chapitre II : Description de la zone d'étude</b>	
<b>II.1 Présentation et description du bassin versant Kébir-Rhumel</b>	26
<b>II.2. Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour</b>	26
<b>II.3. Situation géographique du bassin</b>	26
<b>II.4. Principaux oueds alimentant le barrage Beni Haroun</b>	27
II.4.1. Oued Rhumel	28
II.4.2. Oued Endja	29
<b>II.5. Climatologie</b>	29
II.5.1. Précipitations	30
II.5.2. Température	31
II.5.3. Vent	31
<b>II.6. Les sources de contamination</b>	31
II.6.1. L'agriculture	31
II.6.2. L'industrie	31
<b>Chapitre III : Matériel et méthodes</b>	
<b>III.1. Choix et localisation des sites de prélèvement</b>	32
<b>III. 2 Collecte de données et paramètres étudiés</b>	35
III.2.1 Dates de réalisation des prélèvements	35
III.2.2 Paramètres étudiés	36
III.2.1 Paramètres abiotiques	36
III.2.1.1 Température	36
III.2.1.2 Ph	36
III.2.1.3 Oxygène dissous (O <sub>2</sub> )	37
III.2.1.4 Conductivité électrique (CE)	37
III.2.2 Paramètres biotiques	38
III.2.2.1 Diversité et densité	38

<b>Chapitre IV : Résultats et discussion</b>	
<b>IV.1. Résultat des mesures physico-chimiques</b>	<b>39</b>
IV.1.1. La Température	<b>39</b>
IV.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)	<b>40</b>
IV.1.3 Oxygène dissous (O <sub>2</sub> d)	<b>42</b>
IV.1.4 La conductivité électrique (CE)	<b>43</b>
<b>IV. 2 Analyse biotique</b>	<b>44</b>
IV. 2.1 Analyse qualitative	<b>44</b>
IV.2.1.1 Inventaire et variation spatiale de la composition phytoplanctonique	<b>44</b>
IV.2.1.2. Richesse phytoplanctonique totale	<b>46</b>
IV.2.1.3. Inventaire et variation spatiale de la composition diatomique durant les deux années 2014 et 2015	<b>47</b>
IV.2.2 Diversité phytoplanctonique	<b>61</b>
IV.2.2.1 Diversité phytoplanctonique de l'année 2014	<b>61</b>
IV.2.2.2 Diversité phytoplanctonique de l'année 2015	<b>61</b>
IV.2.2.3 Diversité phytoplanctonique totale des eaux d'oued Endja et celui du Rhumel pour l'année 2015	<b>63</b>
IV. 2.3 Analyse quantitatif	<b>64</b>
IV.2.3.1 Diversité et équitabilité pour l'année 2014	<b>64</b>
IV.2.3.2 Diversité et équitabilité pour l'année 2015	<b>66</b>
<b>Conclusion</b>	
<b>Références Bibliographiques</b>	

## Liste des Figures

N°	Titre	Page
<b>1</b>	Des algues vertes sur la plage (Nord Finistère, Bretagne-France)	<b>9</b>
<b>2</b>	Quelques microalgues	<b>16</b>
<b>3</b>	Diversité du champ d'application de microalgues	<b>21</b>
<b>4</b>	Situation géographique du bassin versant Kébir-Rhumel	<b>27</b>
<b>5</b>	Carte topographique représente le trajet d'Oued Endja	<b>29</b>
<b>6</b>	Localisation des stations de prélèvement.	<b>32</b>
<b>7</b>	Station1 (Endja amont)	<b>33</b>
<b>8</b>	Station 2 (Endja aval)	<b>33</b>
<b>9</b>	Station 3 (Rhumel amont)	<b>34</b>
<b>10</b>	Station 4 (Rhumel aval)	<b>35</b>
<b>11</b>	Variations spatio-temporelles de la température des eaux d'oued Endja et celles duRhumel durant les mois de prélèvement des années 2014 et 2015.	<b>39</b>
<b>12</b>	Variations spatio-temporelles du pH des eaux d'oued Endja et celles du Rhumeldurant les mois de prélèvement des années 2014 et 2015.	<b>41</b>
<b>13</b>	Variations spatio-temporelles de l'oxygène dissous des eaux d'oued Endja et celles du Rhumel durant les mois de prélèvement des années 2014 et 2015.	<b>42</b>
<b>14</b>	Variations spatio-temporelles de la conductivité électrique des eaux d'oued Endja etcelles du Rhumel durant les mois de prélèvement des années 2014 et 2015.	<b>43</b>
<b>15</b>	Contribution des familles d'algues dans la richesse phytoplanctonique des eaux de oued Endja et du Rhumel.	<b>46</b>
<b>16</b>	Contribution des familles diatomiques dans la richesse phytoplanctonique des eaux d'oued Endja amont.	<b>53</b>
<b>17</b>	Contribution des familles diatomiques dans la richesse phytoplanctonique des eaux d'oued Endja aval.	<b>54</b>
<b>18</b>	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	<b>54</b>
<b>19</b>	<i>Navicula sp</i>	<b>56</b>
<b>20</b>	<i>Gomphonema sp</i>	<b>56</b>
<b>21</b>	<i>Nitsch frusulum</i>	<b>56</b>
<b>22</b>	<i>Ulnaria ulna</i>	<b>56</b>
<b>23</b>	<i>Nitzsch fonticola</i>	<b>56</b>
<b>24</b>	Contribution des familles diatomiques dans la richesse phytoplanctonique des eaux d'oued Rhumel amont.	<b>57</b>
<b>25</b>	Contribution des familles diatomiques dans la richesse phytoplanctonique des eaux d'oued Rhumel aval.	<b>58</b>

<b>26</b>	<i>Oscillatoria sp</i>	<b>59</b>
<b>27</b>	<i>Navicula genus</i>	<b>59</b>
<b>28</b>	<i>Navicula veneta</i>	<b>59</b>
<b>29</b>	<i>Navicula gregaria</i>	<b>59</b>
<b>30</b>	<i>Gomphonema sphaerophorum</i>	<b>59</b>
<b>31</b>	<i>Nitzsch palea</i>	<b>60</b>
<b>32</b>	Variabilité spatio-temporelle de la diversité phytoplanctonique durant les prélèvements de l'année 2014.	<b>61</b>
<b>33</b>	Variabilité spatio-temporelle de la diversité phytoplanctonique d'oued Endja durant les prélèvements du 2015.	<b>62</b>
<b>34</b>	Variabilité spatio-temporelle de la diversité phytoplanctonique d'oued Rhumel durant l'année 2015.	<b>63</b>
<b>35</b>	Variabilité spatio-temporelle de la diversité totale phytoplanctonique durant les prélèvements de l'année 2015.	<b>64</b>
<b>36</b>	Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Endja amont durant l'année 2014.	<b>65</b>
<b>37</b>	Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Endja aval durant l'année 2014.	<b>65</b>
<b>38</b>	Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Rhumel amont durant l'année 2014.	<b>66</b>
<b>39</b>	Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Endja amont durant l'année 2015.	<b>67</b>
<b>40</b>	Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Endja aval durant l'année 2015.	<b>67</b>
<b>41</b>	Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Rhumel amont durant l'année 2015.	<b>68</b>
<b>42</b>	Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Rhumel aval durant l'année 2015.	<b>68</b>

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
<b>1</b>	Diversité des microalgues eucaryotes et procaryotes, marines et d'eau douce	<b>18</b>
<b>2</b>	Exemple de classification de la pollution à partir de la valeur de H', dans les habitats sableux/vaseux	<b>25</b>
<b>3</b>	Stations pluviométriques sur le bassin du Kébir - Rhumel	<b>30</b>
<b>4</b>	Prélèvement réalisés par date durant les mois des années 2014 et 2015	<b>35</b>
<b>5</b>	Données des valeurs de la température de l'eau en degré Celsius durant les mois de prélèvement dans les stations d'étude	<b>36</b>
<b>6</b>	Données des valeurs du pH de l'eau durant les mois de prélèvement dans les stations d'étude	<b>37</b>
<b>7</b>	Données des valeurs de l'oxygène dissous de l'eau en mg/l durant les mois de prélèvement dans les stations d'étude	<b>37</b>
<b>8</b>	Données des valeurs de la conductivité électrique de l'eau en $\mu\text{S}/\text{cm}$ durant les mois de prélèvement dans les stations d'étude	<b>38</b>
<b>9</b>	Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température	<b>40</b>
<b>10</b>	Grille d'aptitude à la biologie en fonction du pH	<b>41</b>
<b>11</b>	Grille de la qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique	<b>44</b>
<b>12</b>	Inventaire d'algues par Famille des eaux d'oued Rhumel et d'Endja durant les deux années 2014 et 2015	<b>45</b>
<b>13</b>	Inventaire diatomique des eaux des stations d'étude (Rhumel et Endja) durant les deux années 2014 et 2015	<b>47</b>

## Liste d'abréviations

' : Minute	<b>m3/j</b> : Mètre cube par jour
" : Second	<b>mm3/an</b> : Mili mètre cube par année
% : pourcentage	<b>N</b> : Nord
< : Inferieur	<b>N</b> : Atome L'azote
> : Supérieure	<b>O2d</b> : Oxygène
≤ : Inferieur et égale	<b>OCDE</b> : Organisation de Coopération et de Développement Économiques
≥ : Supérieure et égale	<b>OMS</b> : Organisation mondiale de la santé
° :Degré	<b>P</b> : Atome de phosphore
°C : Degré Celsius	<b>pH</b> : potentiel d'hydrogène
<b>A</b> : Indice d'abondance	<b>Rh 1</b> :Rhumel amont
<b>B12</b> : vitamine	<b>Rh 2</b> :Rhumel avale
<b>C E</b> : Conductivité Electrique	<b>ST1</b> :Rhumel amont
<b>CO2</b> : Dioxyde de carbone	<b>ST2</b> :Rhumel aval
<b>D</b> :Indice de dominance	<b>ST3</b> :Endja amont
<b>DCE</b> : Directive cadre de l'eau	<b>ST4</b> :Endja aval
<b>E</b> : L'indice d'équitabilité	<b>T</b> : Température
<b>E</b> : Est	<b>Tab</b> : Tableau
<b>EN1</b> :Endja amont	<b>µs/cm</b> :Microsimens par centimètre
<b>EN2</b> :Endja aval	<b>UV</b> : Ultra-violet
<b>Fig</b> : Figure	
<b>H+</b> : Hydrogène	
<b>H'</b> : Indice de diversité de Shannon Weaver	
<b>H' max</b> : Indice de diversité maximale	
<b>hm3</b> :Hectomètre cube	
<b>hm3/an</b> : Hectomètre cube par année	
<b>Kg</b> : Kilo gram	
<b>Km</b> : Kilo mètre	
<b>km2</b> : Kilomètre carrée	
<b>mg/l</b> :Mili gramme par litre	
<b>mg/kg</b> :Mili gramme par Kilo gram	
<b>mm</b> : Mili mètre	

---

## Introduction

L'eau est un élément majeur du monde minéral et biologique ; c'est un bien collectif qui met en jeu une multitude d'intérêts contradictoires. La gestion des milieux aquatiques doit prendre en compte l'eau, mais également le milieu physique et les activités humaines qui y sont associées. L'eau n'est pas seulement un ensemble de molécules H<sub>2</sub>O, elle contient en réalité naturellement une très grande variété de matières dissoutes, inertes ou vivantes : des gaz, des substances minérales ou organiques, des microorganismes (bactéries, virus, plancton), ainsi que des particules en suspension (fines particules d'argiles, limons et déchets végétaux). Les caractéristiques topographiques, géologiques, pédologiques jouent un rôle important dans le comportement hydrologique (**Kudrinee, 2006**).

Parmi les écosystèmes les plus complexes et les plus dynamiques celui des eaux douces. Cet écosystème joue un rôle essentiel dans la conservation de la biodiversité, le fonctionnement des organismes et les cycles de matière organique (**Everard et Powell, 2002**).

La pollution des écosystèmes est actuellement l'un des plus grands problèmes du siècle, auxquels s'attachent de nombreux pays dans le monde afin de le résoudre, la contamination de la qualité de l'eau a causée la pollution des nappes phréatiques et des sources par des produits organiques et inorganiques. En effet, la pollution des eaux peut être définie comme une modification défavorable de l'équilibre naturel, elle est due à l'introduction de substances polluantes susceptibles de mettre en danger la vie des organismes vivants aussi bien aquatiques que terrestres [7].

Le phytoplancton est constitué d'un ensemble de micro-organismes végétaux, vivant en suspension dans l'eau ou sur des substrats. Ce phytoplancton peut former des efflorescences par suite de prolifération d'une ou de quelques espèces dans des conditions hydro-climatiques favorables .il réagit à la pollution et peut être considéré comme un bon bio-indicateur de la dégradation de la qualité des eaux continentales (**Dufour et Durand 1982 ; Koffi et al., 2009**).

La prolifération des plantes aquatiques (algues, cyanobactéries et macrophytes) s'est amplifiée ces dernières décennies avec l'utilisation accrue de fertilisants chimiques en agriculture et par le développement de l'élevage intensif. Les effluents industriels et les eaux usées domestiques favorisent également le phénomène en zones urbaines et industrielles.

---

Les principaux paramètres indicateurs de l'état trophique sont les composés azotés, phosphorés et carbonés, mais de nombreux facteurs physico-chimiques tels que la température, le pH, la teneur en oxygène dissous doivent également être considérés (**Bourdin, 2004**).

Le développement des microorganismes dans les eaux naturelles est un phénomène normal, souhaitable même pour le bon fonctionnement de l'écosystème. On parlera cependant d'un déséquilibre lorsque ce développement est excessif, ce qui entraîne beaucoup de problèmes (eutrophisation, bactéries pathogènes...etc (**Berche et al., 1988**).

L'eutrophisation est un processus naturel et très lent, par lequel les plans d'eau reçoivent une grande quantité d'éléments nutritifs notamment du phosphore et de l'azote, ce qui stimule la croissance des algues et des plantes aquatiques, auxquels entraîne une dégradation des milieux aquatiques et une réduction de la biodiversité. Cette détérioration n'est évidemment pas sans conséquence sur la santé humaine, l'eau étant de moindre qualité. Elle est devenue aujourd'hui un problème d'environnement d'ampleur et généralisé (**Daouda, 2010**).

L'indice biotique correspond à une évaluation quantitative de la qualité des écosystèmes sur la base de l'abondance relative des espèces, de la présence /absence des espèces indicatrices ou en fonction de l'occurrence et de l'ampleur des changements observés chez les bio-indicateurs. L'indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) en sont des exemples.

L'objectif de cette étude, consiste à suivre la diversité des populations microalgales collectées aux niveaux des deux oueds (Rhumel et Endja) qui alimentent le barrage de Béni Haroun durant les deux années 2014 et 2015.

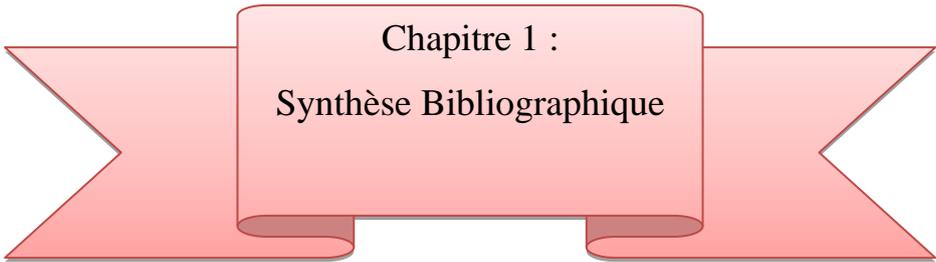
Le travail se structure autour de 4 chapitres :

Le premier chapitre fait le point bibliographique sur des connaissances concernant les cours d'eaux, la pollution et la qualité de ces derniers, l'eutrophisation et enfin, les organismes vivants des eaux douces et leurs rôles.

Le second présente la description du milieu d'étude.

Le troisième présente le matériel et les méthodes utilisées pour réaliser ce travail.

Le dernier est consacré aux différents résultats ; celui-ci, permet de les présenter ainsi que les discuter (résultats du milieu biotique et abiotique).

A decorative red ribbon graphic with a central rectangular box containing the chapter title.

Chapitre 1 :  
Synthèse Bibliographique

## 1.1. Les écosystèmes aquatiques

### 1.1.1. Définition d'un écosystème aquatique

Les écosystèmes aquatiques ont été définis par plusieurs composantes (**Laevastu et al., 1996**), la nature des organismes dominants : organismes planctoniques, les caractéristiques physiques, les lieux géographiques ou bien une/ou des combinaisons de ses composantes. Ainsi, la classification des écosystèmes aquatiques a été développée pour décrire de telles limites (**Gregr et Bodtker, 2007**).

Au sein des différents écosystèmes, plusieurs variables physiques, chimiques et biologiques sont prises en considération pour les caractériser. Pour les variables physiques, on distingue la profondeur, la température, la salinité, la pression de l'eau et la turbidité. En ce qui concerne les variables chimiques, on distingue la teneur en oxygène dissous et les éléments nutritifs. Les variables biologiques comprennent l'ensemble des êtres vivants. En fait, chaque combinaison de ces différentes variables crée un écosystème aquatique particulier caractérisé par une succession, une richesse et une diversité écologique bien déterminées (**Drira, 2009**).

Les écosystèmes aquatiques comprennent généralement le domaine marin, les estuaires, eaux douces, eaux salées, eaux saumâtres...etc.).

### 1.1.2. Fonctionnement d'un écosystème aquatique

Un écosystème aquatique est un ensemble d'organismes les producteurs, les consommateurs et les décomposeurs qui agissent réciproquement. Ils dépendent les uns des autres et de leur milieu. Il produit constamment de la matière vivante. Celle-ci est progressivement transformée en matière organique morte, qui est elle-même ensuite lentement minéralisée, en partie ou en totalité. Pendant la saison chaude des régions tempérées, le réchauffement par l'énergie lumineuse permet un réchauffement inégal de la colonne d'eau dans les retenues. Il s'installe alors une stratification thermique qui permet de distinguer trois zones : Épilimnion, Métalimnion et Hypolimnion (**Houli, 2014**).

### 1.1.3. Les cours d'eaux

Les cours d'eau sont des composantes naturelles du système hydrique terrestre. Ils concentrent les eaux de pluie et recueillent les eaux de sources (**Chagner, 2013**). Selon (**Bonnard et al., 2003**), les cours d'eau étant des écosystèmes, peuvent être décrits comme des systèmes unitaires et fonctionnels composés d'une biocénose regroupant l'ensemble des êtres vivants et un biotope correspondant au milieu dans lequel ils vivent.

Selon (**Baok, 2007**), les eaux lotiques qui regroupent tous les types des cours d'eau : sont des systèmes ouverts forts dépendants des systèmes voisins. Ils sont très influencés par l'environnement terrestre et sont peuplés par des communautés qui à tous les niveaux trophiques sont tributaires des matériaux allochtones transportés par le courant.

Un cours d'eau se compose d'une masse d'eau qui s'écoule dans un lit avec un débit régulier ou intermittent, y compris ceux qui ont été créés ou modifiés par une intervention humaine. Aussi c'est tout chenal dans lequel s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire. Il est un terme général pour désigner un fleuve, une rivière, un ruisseau, un torrent, un oued. Les chenaux peu sinueux ou anastomosés en tresses se développent dans les milieux de haute énergie, qui caractérisent le cours mineur des fleuves et rivières à pente marquée, et où s'effectuent des dépôts à dominante sableuse, parfois argilo-sableuse (**Michaud, 2010**).

#### 1.1.3.1. Caractéristiques et types de cours d'eau

##### 1.1.3.1.1. Les différents types de cours d'eau

Un cours d'eau peut porter divers noms en lien avec ses dimensions, et certaines autres caractéristiques physiques (**Collon, 2003**).

- **Fleuve** : cours d'eau important, long et au débit élevé, comptant de nombreux affluents et se jetant dans la mer (**Brunet et Coste, 2000**).
- **Rivière** : en hydrologie, ce terme désigne un cours d'eau moyennement important, à écoulement continu ou intermittent, suivant un tracé défini et se jetant dans un autre cours d'eau, un lac, une mer, une dépression ou un marais. En géographie physique, ce terme désigne un cours d'eau faiblement ou moyennement important, recevant de l'eau d'autres cours d'eau tributaires, et se jetant dans un cours d'eau de plus grande importance (**Melanson, 2006**).

- **Oued** : terme d'origine arabe désignant un cours d'eau temporaire dans les régions arides ou semi-arides. Son écoulement dépend des précipitations et il peut rester à sec pendant de très longues périodes (**Brunet et Coste, 2000**).
- **Estuaire** : partie aval d'un cours d'eau permanent débouchant sur une mer.
- **Ruisseau** : cours d'eau permanent ou intermittent, de petite dimension, qui recueille l'eau des sources et des fossés et l'achemine aux rivières (**Collon, 2003**).
- **Canal** : cours d'eau artificiel permettant l'écoulement de l'eau ou le lien entre des cours d'eau naturels ou des plans d'eau. Le canal est souvent une partie d'un cours d'eau naturel redressé et endigué (**Collon, 2003**).

## 1.2. Pollution des eaux

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique ou biologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et par ses activités. Elle perturbe les conditions de vie et l'équilibre du milieu aquatique et compromet les utilisations de l'eau [7].

Selon (**Gaujous, 1995**), la pollution résulte de l'introduction dans un milieu de substances conduisant à son altération. En ce qui nous concerne, les milieux considérés seront les milieux aquatiques (oueds, ou cours d'eau).

Actuellement, la pollution des eaux est devenue un phénomène universel qui menace gravement l'environnement et qui nécessite une lutte soutenue, car de nombreux produits agricoles et industriels sont de plus en plus responsables de l'apparition de cette forme de pollution.

### 1.2.1. La pollution d'un cours d'eau

Selon l'organisation mondiale de la santé (**OMS**) : Un cours d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état des eaux est directement ou indirectement modifié du fait de l'activité de l'homme, dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toute utilisation à laquelle elle pourrait servir à leur état naturel.

Cette définition inclut que les déversements des polluants peuvent modifier profondément les composantes physico-chimiques des milieux aquatiques récepteurs ainsi que les biocénoses peuplant ces milieux (**Boukezzoula, 2014**).

## 1.2.2. Les différents types de pollution des eaux

### 1.2.2.1. Pollution physique

On parle de pollution physique lorsque le milieu marin est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Il peut s'agir d'un rejet d'eau douce qui fera baisser la salinité d'un lieu, comme la centrale hydroélectrique de Saint-Chamas, au nord de l'étang de Berre, d'un rejet d'eau réchauffée ou refroidie (par une centrale électrique ou une usine de regazéification de gaz liquide), d'un rejet liquide ou solide de substances modifiant la turbidité du milieu (boue, limon...), d'une source de radioactivité... La plupart du temps, un rejet n'est jamais une source unique et les différents types de pollution sont mélangés et agissent les uns sur les autres (effet de synergie). Ainsi, un égout rejette des déchets organiques, des détergents dont certains s'accompagnent de métaux lourds (pollution chimique), des micro-organismes (pollution biologique), le tout dans de l'eau douce (pollution physique) (**Ledireach, 2019**).

### 1.2.2.2. Pollution chimique

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux, à savoir les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autres sels, ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses. Ainsi résulte de la pollution radioactive où la radioactivité des eaux naturelles est peut être d'origine naturelle ou artificielle (énergie nucléaire). Les polluants chimiques sont classés à l'heure actuelle en cinq catégories : les substances chimiques dites indésirables, les pesticides, les produits apparentés, les détergents et les colorants et autres éléments toxiques (**Benayache, 2014**).

Selon (**Bouhmar et Merah, 2007**), elle peut être due à :

- l'insuffisance de certaines stations d'épuration ;
- l'absence de réseaux d'assainissement dans certaines zones ;
- le lessivage des sols, mais aussi des chaussées et des toits par les pluies ;
- le rejet d'effluents par les industries.

**1.2.2.3. Pollution biologique**

Un grand nombre de micro-organismes peut proliférer dans l'eau qui sert l'habitat naturel ou comme une simple moyenne de transport pour ces microorganismes. L'importance de la pollution de l'eau dépend également des conditions d'hygiène, des populations, mais aussi des caractéristiques écologiques et épidémiologiques. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les champignons, on parle ainsi de la pollution bactérienne, viral ou parasitaire (**Thomaset et al., 1995**).

**1.3. Les principales sources de pollution d'eau****1.3. 1. Pollution atmosphérique**

En ce qui concerne l'eau de pluie, bien que longtemps considérée comme propre, l'eau d'origine pluviale est en fait relativement polluée. L'origine de cette pollution peut provenir des gaz ou solides en suspension rejetés dans l'atmosphère par les véhicules, les usines ou les centrales thermiques. Ces polluants (oxyde de carbone, dioxyde de soufre, poussière...) sont envoyés vers le sol à la moindre averse. Lorsqu'elle ruisselle, l'eau de pluie a un second effet nocif : elle transporte les hydrocarbures, les papiers, les plastiques et les débris végétaux accumulés sur la terre et les toitures. De plus, cette pollution est déversée sur de courtes périodes et peut atteindre des valeurs très élevées ce qui provoque un effet de choc sur le milieu biologique (**Håkanson, 2005**).

**1.3.2. Pollution urbaine**

Ce sont les eaux des habitations et des commerces qui entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité. Les eaux résiduaires urbaines peuvent être considérées comme la plus importante industrie en termes de masse de matériaux bruts à traiter. Le « tout -à- l'égout » est une expression significative ; elle exprime cette diversité. On trouve les excréments, les restes d'aliments, les déversements d'abattoirs, les déversements hospitaliers, les lessives, les détergents, les insecticides, les hydrocarbures, les déchets de la petite industrie et divers produits toxiques (**Debieche, 2002**).

### 1.3.3. Pollution industrielle

Les établissements industriels ont des productions très diverses (aliments, vêtements, pâte à papier, produits chimiques, etc.) et rejettent plusieurs types d'eaux usées, dont le volume et le degré de contamination sont très variables. On distingue les eaux de procédé, qui sont le plus souvent contaminées puisqu'elles entrent dans le processus de fabrication même, les eaux de refroidissement, plus ou moins contaminées, les eaux sanitaires et dans certains cas, les eaux pluviales (**Hébert et Légaré, 2000**).

Les caractéristiques des rejets varient d'une industrie à l'autre en plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micros polluants organiques des hydrocarbures.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un pré traitement de la part des industries avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, elles sont mêlées aux eaux domestiques que l'on ne présente plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution (**Benkaddour, 2015**).

### 1.3.4. Pollution agricole

L'agriculture a recours à des produits chimiques : pesticides, insecticides, désherbants, de structeurs divers de parasites des plantes, des engrais azotés (**Baok, 2007**). Ces produits chimiques sont particulièrement chargés en nitrates et phosphates qui provoquent l'eutrophisation des cours d'eau entraînant la prolifération des algues qui, lors de leur putréfaction, consomment l'oxygène dissous dans l'eau ce qui va perturber l'autoépuration (**Ezziane, 2007**).

Dans un cours d'eau en santé, les éléments nutritifs sont présents à de faibles concentrations et assurent une croissance normale des plantes aquatiques (macro-phytes) et des micro-algues (phytoplancton). Lorsque le phosphore devient trop abondant, il cause une croissance excessive des végétaux aquatiques. Ce processus d'enrichissement du milieu aquatique s'appelle « eutrophisation ». L'accroissement des populations de macrophytes et de phytoplancton ainsi que la formation de tapis d'algues peuvent provoquer une diminution de la qualité esthétique des cours d'eau, affecter le goût et l'odeur de l'eau et modifier complètement la composition de la faune aquatique présente (**MEF, 1994**).

## 1.4. Les conséquences de la pollution des eaux

### 1.4.1. Généralité sur l'eutrophisation

L'eutrophisation est définie par l'**OCDE** comme un « enrichissement des eaux en matières nutritives qui entraîne une série de changements symptomatiques, tels que l'accroissement de la production d'algues et de macrophytes, la dégradation de la qualité de l'eau et autres changements symptomatiques considérés comme indésirables et néfastes aux divers usages de l'eau » (**Daouda, 2010**).

Accumulation graduelle de débris organiques dans les eaux stagnantes et excès de nutriments (azote, phosphore en particulier), liée à l'activité des organismes vivants et des activités humaines, et à la décomposition massive de la matière organique morte, provoquant l'appauvrissement en oxygène de l'eau (Anoxie), la turbidité, et le développement d'espèces envahissantes [9].



**Figure 01** : Des algues vertes sur la plage (Nord Finistère, Bretagne-France) [5].

### 1.4.2. Caractérisation de l'eutrophisation

Le phénomène d'eutrophisation se caractérise pour les lacs et les cours d'eau lentic par des développements micro-algaux importants ainsi que de fortes variations de la teneur en oxygène et du potentiel hydrique (**Bourdin, 2004**).

### 1.4.2.1. La prolifération des végétaux

La prolifération végétale peut être classée en deux catégories ; celle qui concerne les algues et celle qui concerne les plantes aquatiques (**Bourdin, 2004**). Les différentes formes de proliférations végétales sont de divers facteurs, dont la gamme de concentration en phosphore (**Lacaze, 1996**).

Algues microscopiques en suspension dans l'eau, se développant selon un cycle saisonnier, elles donnent à l'eau une coloration verte soutenue. Il s'agit de la forme la plus souvent décrite, mais elle n'affecte que les plans d'eau et les cours d'eau lents. Très utiles dans le milieu aquatique, la présence de plantes supérieures (macrophytes) est un signe de bon état des cours d'eau. Il arrive cependant que certaines espèces à forte dynamique prolifèrent et deviennent une gêne. Les espèces les plus couramment rencontrées sont les renoncules, les myriophylles, les potamots, les callitriches ainsi que les lentilles d'eau, qui peuvent recouvrir entièrement la surface des eaux calmes (**Khellou, 2012**).

### 1.4.2.2. Les implications physico-chimiques de la prolifération végétale

D'après (**Bourdin, 2004**), les cellules végétales étant comparables à des usines biochimiques, les principaux effets d'une prolifération végétale sont les suivants :

- en phase diurne, la production d'oxygène peut atteindre des valeurs telles que cet élément devient toxique. Un film de bulles d'oxygène se dépose sur toutes les surfaces, dont l'épithélium branchial des poissons, provoquant leur mort par asphyxie ;
- en phase nocturne la respiration de cette importante biomasse peut entraîner une chute de la concentration en oxygène (10 à 20% de la teneur saturante) ;
- le pH suit la même variation proportionnelle à l'activité de la biomasse végétale.

### 1.4.2.3. Les effets de l'eutrophisation

D'après le site [3], les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la biodiversité et de la qualité de l'eau en tant que ressource. Elle a des effets négatifs sur le tourisme avec souvent comme conséquences visibles la perte de transparence, développement d'odeurs et envasement, qui sont des indices de problèmes :

- augmentation du volume d'algue.
- augmentation de la biomasse du zooplancton gélatineux.
- aégradation des qualités organoleptiques de l'eau (aspect, couleur, odeur, saveur).

- anvasement plus rapide, et apparition de vase putride.
- sombre et malodorante.
- développement de phytoplancton toxique.
- développement de pathogènes par diminution de la pénétration des UV qui ont un pouvoir désinfectant.
- diminution de l'indice biotique.
- diminution de la biodiversité (animale et végétale).
- diminution du rendement de la pêche (quoique l'effet puisse être contraire).
- parfois es algues peuvent boucher les prises d'eau, les filtres, entraver le fonctionnement d'écluses voire du moteur de petits bateaux pour les algues filamenteuses.

### **1.5. La qualité des eaux**

La qualité d'une eau est caractérisé par les diverses substances qu'elle contient, leur quantité et l'effet qu'elles ont sur l'écosystème et sur l'être humain c'est la concentration de ces différents éléments qui détermine la qualité d'une eau et permet de savoir si celle-ci convient à un usage particulier. Même l'eau des rivières et des lacs les moins influencés par les activités humaines n'est pas pure (**Benaziza et Amieur, 2007**).

La qualité des eaux de surface varie fortement suivant leurs origines. Selon le cas elles sont naturellement riches en matières en suspension et en matières organiques naturelles, acides peu minéralisées,...elles sont également vulnérables aux pollutions. De ce fait, les eaux de surface nécessitent des installations de traitement conséquentes comprenant généralement des opérations de chloration, coagulation, floculation, décantation/flottation, filtration, minéralisation. L'eau de surface peut aussi être filtrée sur de charbon actif. L'ozonisation est aussi une technique utilisée pour éliminer les micropolluants, les germes, les mauvais goûts, les couleurs et les odeurs (**kudrinee, 2006**).

#### **1.5.1. Paramètres de la qualité des eaux superficielles**

Pour apprécier la qualité des eaux de surface, la mesure de paramètres physico-chimiques ainsi que la présence ou l'absence d'organismes et de microorganismes aquatiques est une nécessité.

### 1.5.1.1. Paramètres physico-chimiques

#### 1.5.1.1.1. La température

Il est important de connaître avec précision la température d'une eau car elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous et donc sur la conductibilité électrique et le pH. Elle influence aussi la multiplication des micro-organismes, ainsi que leur métabolisme. Une température trop élevée favorise la croissance des microorganismes (Moussa, 2005 et OMS, 2006).

#### 1.5.1.1.2. Le Potentiel de l'hydrogène (pH)

Le pH, mesure de l'acidité d'une solution, est définie par l'expression :  $\text{pH} = -\log \text{H}^+$

Où ( $\text{H}^+$ ) est l'activité de l'ion hydrogène  $\text{H}^+$  dans la solution (Ramade, 1998). Cette mesure est très importante car elle conditionne les équilibres physico-chimiques. Le pH des eaux continentales varie beaucoup selon la nature du lit du bassin versant ; les eaux qui ne sont pas soumises aux rejets et qui sont assises sur une roche mère riche en bicarbonates ou carbonates alcalineux-terreux, présentent un pouvoir tampon élevé. Les variations de pH sont liées à des apports extérieurs d'acidité telle que les précipitations.

En eau douce, les milieux naturels sont généralement tamponnés pour un pH de 7 à 8 ; extrêmes à pH 5 à 6 dans le cas de zones granitiques, de tourbières et pH 8,5 dans le cas des zones calmes ou les bras morts. Le pH n'a pas une incidence écologique directe forte entre 5 et 9 (Gaujous, 1995).

#### 1.5.1.1.3. La conductivité électrique

La conductivité est la mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle varie en fonction de la présence d'ions, de leur concentration, de leur mobilité et de la température de l'échantillon. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique et colloïdale, qui conduit peu. Par conséquent, dans le cas des eaux usées fortement chargées en matière organique, la conductivité ne donnera pas forcément une idée immédiate de la charge du milieu. Dans les autres cas, elle permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation de l'eau et d'estimer le volume d'échantillon nécessaire pour certaines déterminations chimiques.

La mesure de la conductivité électrique est l'une des plus simples. Elle est importante pour le contrôle de la qualité des eaux résiduaires. Valeur inverse de la résistivité, paramètre très largement utilisé en hydrogéologie, la conductivité est en fonction de la concentration en espèces ionisés, principalement la matière minérale (**Gaagai, 2009**).

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau (**Lapegue et Ribstien, 2006**).

D'après (**Rodier, 1984**), il existe une relation entre la minéralisation et la conductivité :

- conductivité < 100  $\mu\text{s/cm}$  : minéralisation très faible ;
- 100 < conductivité < 200  $\mu\text{s/cm}$  : minéralisation faible ;
- 200 < conductivité < 333  $\mu\text{s/cm}$  : minéralisation moyenne ;
- 333 < conductivité < 666  $\mu\text{s/cm}$  : minéralisation moyenne accentuée ;
- 666 < conductivité < 1000  $\mu\text{s/cm}$  : minéralisation importante ;
- conductivité >1000  $\mu\text{s/cm}$  : minéralisation excessive.

#### 1.5.1.1.4. L'oxygène dissous ( $\text{O}_2\text{d}$ )

C'est la concentration d'oxygène gazeux qui se trouve à l'état dissous dans une eau. Elle est disponible et limitée par la solubilité de l'oxygène (maximum 9 mg/l à 20°C) qui décroît avec la température et la présence de polluants dans les cours d'eau. Une faible teneur en oxygène dissous est synonyme d'une forte charge polluante ou d'une température élevée de l'eau. Il est essentiel pour la respiration des organismes hétérotrophes, il est exprimé en mg/l et se mesure par la méthode de Winkler basée sur la fixation chimique de l'oxygène et son dosage colorimétrique ou par une sonde à oxygène (oxymétrie) (**Rodier et al., 2009**).

#### 1.5.2. Généralité sur la surveillance biologique

La surveillance biologique est reconnue, aux États-Unis et en Europe, comme une composante essentielle des programmes de surveillance de la qualité de l'eau (**Barbour et al., 1999 et WFD, 2003**). Ainsi, la surveillance biologique et la surveillance physicochimique des cours d'eau sont considérées comme des outils complémentaires. En général, la surveillance biologique mesure les effets des perturbations sur les communautés biologiques en place. La surveillance physicochimique mesure les agents stressants, en d'autres mots la contamination environnementale.

La surveillance de la qualité de l'eau basée exclusivement sur la mesure de la concentration de polluants dans l'eau ne permet pas de tirer des conclusions sur la santé de l'écosystème. Elle ne renseigne pas sur la qualité de l'habitat, n'évalue pas l'effet des polluants non mesurés ou présents à des seuils inférieurs aux limites de détection des méthodes analytiques, ni les effets synergiques, additifs et antagonistes des différents polluants sur les organismes vivants. Des mesures relatives aux êtres vivants sont souvent nécessaires. La surveillance biologique s'avère donc l'outil principal pour évaluer la santé biologique des milieux aquatiques (**USEPA, 2002**).

### 1.6. Généralité sur les organismes vivants des eaux douces

L'eau est la vie ; des millions des personnes, spécialement les enfants, meurent chaque année à cause de la mauvaise qualité de l'eau [8]. La qualité de l'eau dépende, et peut être même déterminée par la diversité des organismes existants de dans.

La chute et le déclin des niveaux de la biodiversité en eau douce est une question de plus d'intérêt académique, comme cela a été élucidé par (**Meester et Declerck, 2005**). Son document analyse la façon dont les scientifiques peuvent répondre aux besoins de la société, par la formulation des priorités en matière de recherche sur la biodiversité des écosystèmes aquatiques (eau douce) (**Koen et Hendrik, 2005**).

Les écosystèmes d'eau douce, qui occupe environ 0,8% de la surface terrestre renferment d'au moins 100.000 espèces connues, environ 6% de 1,8 million d'espèces décrites (**Allan et Castillo, 2007**). En outre les scientifiques ont su pendant des années que la couche mince de surface aquatique est abonde en vie. Les bactéries adhèrent au-dessous du film de surface, comme le faire quelques protozoaires unicellulaires qui s'attachent avec un appendice spécial. Avec les protozoaires, une couverture dense de vies de micro-algues à la couche de surface est attirée par la lumière du soleil et la concentration des nutriments trouvés là-bas (**Hardy, 1991**).

#### 1.6.1. Le phytoplancton

Le mot vient du grec « phyton » plante et « planktos » errant (**Groga, 2012**), est l'ensemble du plancton végétal photosynthétique qui dérive dans les systèmes aquatiques (**Person, 2010**). Le phytoplancton est constitué de l'ensemble des micro-organismes végétaux en suspension dans l'eau, capables d'élaborer par photosynthèse leur propre substance organique, à partir de l'énergie solaire, de l'eau, d'oxygène et des sels nutritifs. Le rôle joué par le phytoplancton dans le fonctionnement des écosystèmes lacustres.

De ce fait, les variations de la production biologique ont des conséquences majeures sur les flux de matières à l'intérieur de l'écosystème. Le plancton forme un ensemble d'organismes aquatiques qui se déplacent avec les mouvements de l'eau (généralement sans organe locomoteur) (**Drira, 2009**). Le phytoplancton ou le plancton végétal ; composé de diatomées, dinoflagellés et d'autres algues microscopiques forment la base de la chaîne alimentaire aquatique (**Odbmb, 2008**).

#### **1.6.1.1. Le cycle du phytoplancton**

Pour vivre, le plancton végétal a besoin d'eau, de lumière, de sels minéraux (nitrate, phosphore, silicate, potassium...), d'oligoéléments (magnésium, fer...) et de CO<sub>2</sub>. Ainsi, son existence est étroitement liée aux conditions régnant dans son milieu : température et turbidité (degré d'opacité) de l'eau, précipitations, ensoleillement, pollution, etc. À l'échelle d'une année, il présente donc une grande variabilité saisonnière.

En théorie, le phytoplancton se développe de préférence au printemps et à l'automne, lorsque les conditions sont optimales. Aujourd'hui, ce rythme annuel est de moins en moins respecté en raison de l'évolution du milieu (excès d'apports en nutriments, réchauffement climatique) et certaines espèces peuvent proliférer tout au long de l'année (**Mollo et Noury, 2013**).

#### **1.6.1.2. Définition des microalgues**

Les microalgues sont des microorganismes unicellulaires photosynthétiques qui utilisent la lumière du soleil comme source d'énergie pour fixer le dioxyde de carbone et elles contiennent la chlorophylle. Ces organismes constituent un groupe polyphylétique et très diversifié de procaryote (les algues bleues ou Cyanobactéries) et eucaryotes (où l'on retrouve les algues vertes, rouges et brunes). Le classement en divisions est basé sur diverses propriétés telles que la pigmentation, la nature chimique des produits de stockage issus de la photosynthèse, l'organisation des membranes photosynthétiques et d'autres caractéristiques morphologiques (**Person, 2010**).

Les microalgues, ou phytoplancton, ont généralement d'une taille de l'ordre du micron (**Diadié, 2009**). Ce sont définies comme des organismes unicellulaires ou pluricellulaires soit des Eucaryotes ou des Procaryotes (**Sialve et Steyer, 2013**).

Les microalgues caractérisées principalement par l'absence de racines et de feuilles mais possédant de la chlorophylle ainsi que d'autres pigments pour réaliser la photosynthèse (**Becerra, 2009**). Leur mécanisme photosynthétique est similaire à celui des plantes terrestres (**Sadi, 2012**).



**Figure 02:** Quelques microalgues [1].

### **1.6.1.3. Les propriétés biologiques générales des microalgues**

#### **1.6.1.4. Ecologie des microalgues**

Les microalgues occupent la plupart des niches écologiques, elles sont surtout présentes dans les environnements aquatiques, elles ont su également coloniser les sols et une vaste gamme de supports comme les rochers, les arbres ou encore les édifices architecturaux. Certaines microalgues se développent dans les eaux de fonte de la glace ou de la neige (**Sialve et Steyer, 2013**). Elles vivent dans des marais salants, dans des milieux acides ou fortement alcalins (**Cadoret et al., 2008**) et on les rencontre également dans les déserts arides à semi-arides. L'atmosphère constitue également un environnement dans lequel une diversité notable de microalgues eucaryotes et de cyanobactéries est signalée (**Sialve et Steyer, 2013**).

### 1.6.1.5 Composition des microalgues

D'après (**Guezen, 2014**), les microalgues ont une grande valeur biologique due à leurs richesses en :

- **fibres** : de 33 à 61%
- **calcium** : les microalgues sont une source abondante de ce minéral qui peut être jusqu'à 34% de la matière sèche.
- **vitamines** : surtout la vitamine B12 à des teneurs assez importantes contrairement aux plantes terrestres.
- **iode** : la teneur en iode des microalgues est exceptionnelle et peut atteindre jusqu'à 14296 mg/kg matière sèche.
- **protéines** : les phycobiliprotéines sont les principaux pigments des algues rouges (phycoérythrine) et bleues (phycocyanine), possèdent des propriétés antioxydantes utilisées dans les traitements de certains cancers et maladies inflammatoires liées au stress oxydatif.
- **polyphénols** : appelés phlorotannins chez les microalgues, ils sont présents surtout dans les phéophycées et montrent une activité antioxydante dans les tests in vitro.
- **caroténoïdes** : des puissants antioxydants, les algues brunes en sont riches en plus des fucoxanthine,  $\beta$ -carotène et violaxanthine. De nombreuses études ont démontré l'activité antioxydante des caroténoïdes et effets préventifs contre les pathologies.

### 1.6.1.6. Diversité et classification des microalgues

Les microalgues constituent un groupe extrêmement hétérogène rassemblé autour d'une cohérence physiologique : la photosynthèse oxygénique (**Andersen, 1992**). Cette famille rassemblerait de plusieurs centaines de milliers à plusieurs millions d'espèces selon les estimations, parmi lesquelles 47000 espèces sont décrites (**Andersen et al., 1997** et **Sharma et Rai, 2011**). Par comparaison, la diversité des plantes supérieures est de l'ordre de 400 000 espèces. La classification (Tab 1) de cette diversité est complexe et la taxonomie est sujette à de fréquents bouleversements du fait notamment de l'utilisation des techniques de phylogénie moléculaire.

**Tableau01** : Diversité des microalgues eucaryotes et procaryotes, marines et d'eau douce d'après (Jeffrey *et al.*, 1997 et Sharma et Rai, 2011)

Règne	Embranchement/Classe
Procaryotes	Cyanophytes
	Prochlorophytes
Eucaryotes	Bacillariophytes
	Charophytes
	Chlorophytes
	Chrysophytes
	Cryptophytes
	Dinophytes
	Euglenophytes
	Glaucophytes
	Haptophytes
	Phaeophytes
	Rhodophytes

#### 1.6.1.7. Reproduction chez les microalgues

Les modes de reproduction chez les microalgues peuvent être végétatives par la division d'une cellule seule ou d'une fragmentation d'une colonie, asexuée par la production de spore mobile, ou sexuelle par l'union de gamètes. Le mode végétatif et asexué permet la stabilité d'un génotype adapté dans une espèce d'une génération au suivant. Les deux modes fournissent les moyens rapides et économiques d'augmenter le nombre d'individus en limitant la variabilité génétique. Le mode sexuel implique plasmogamie (l'union de cellules), caryogamie (union de noyaux), association de chromosome et méioses, aboutissant à recombinaison génétique. La reproduction sexuée tient compte de la variation, mais est plus coûteuse, à cause de la perte des gamètes qui échouent à s'accoupler (Barsanti et Gualtieri, 2006).

##### 1.6.1.7.1. Facteurs de production

Selon (Dabbadie, 1992), les facteurs ayant un rôle important sur la production microalgale sont les suivants :

- l'éclairement qui peut aussi être artificiel. Une photopériode de 16 heures de jour est un minimum optimal ;

- la température dont l'optimum est de 18 à 24°C selon les espèces ;
- le pH qui doit être compris entre 8,2 et 8,7 ;
- les nutriments : l'azote et le phosphore doivent être apportés selon un ratio N : P de 6:1. D'autres éléments devront aussi être présents (potassium, magnésium, oligoéléments...) ;
- le CO<sub>2</sub> : principale source de carbone ;
- l'absence de consommateurs herbivores, tels que les rotifères pour les espèces d'algues de très petite taille et surtout les daphnies, car ces organismes filtreurs peuvent provoquer un effondrement de la culture.

#### 1.6.1.7.2. Applications des microalgues

Les applications de ces microalgues sont multiples, de l'alimentation humaine, l'alimentation animale, les cosmétiques, la pharmaceutique. Chaque espèce des microalgues a des propriétés qui lui sont propres et toutes les microalgues produites n'ont pas une application unique. Il est possible de regrouper les espèces en fonction de leurs principales utilisations (Filali, 2012).

##### A) Applications alimentaires

Certaines espèces des microalgues peuvent être consommées comme des légumes. Plusieurs processus de conservation des microalgues peuvent être utilisés : elles peuvent être séchées, congelées, mises en bocaux, salées ou servies fraîches, la consommation des microalgues est traditionnelle dans de nombreux pays asiatiques.

Les principales espèces consommées sont : *Undaria pinnatifida*, *Laminaria japonica* et *Porphyra sp.* Les japonais consomment actuellement 1,4 kg des microalgues (poids sec) par an et par habitant, les microalgues dans l'alimentation sont bénéfiques outre leurs propriétés épaississantes, gélifiantes ou stabilisantes, bien connues et largement utilisées par des industries agro-alimentaires, elles ont aussi des propriétés nutritionnelles intéressantes en alimentation humaine. L'eau de mer offre une composition remarquablement constante. Elle contient en solution tous les éléments nécessaires au maintien de la vie, éléments que les microalgues absorbent et concentrent dans leurs tissus (Becerra, 2009).

## B) Applications pharmaceutiques

Les extraits des microalgues sont également utilisés par le secteur pharmaceutique, les principes actifs extraits des microalgues sont utilisés comme anti-inflammatoire œsophagien, pour lutter contre l'embonpoint, pour leur effet laxatif ou encore pour les pansements, les microalgues peuvent être utilisées dans une amélioration du confort des diabétiques (**Gana, 2014**).

En effet certains polysaccharides issus des microalgues des côtes françaises peuvent moduler l'absorption intestinale du glucose et la réponse insulínique à l'alimentation. Par ailleurs, des oligosaccharides extraits des microalgues peuvent améliorer l'équilibre de la flore intestinale du colon, en favorisant la croissance des bactéries comme favorables pour la santé. Ces bactéries sont actuellement largement utilisées dans des préparations à base de lait peu caloriques, riches en vitamines et en minéraux (**Pulz et al., 2004**).

Les microalgues alimentaires sont source de polysaccharides divers, très différents de ceux provenant des végétaux terrestres. Ces polysaccharides représentent entre 30% et 70 % du poids sec des microalgues, selon l'espèce (**Gana, 2014**).

## C) Applications cosmétiques

Les microalgues utilisées par la filière cosmétique sont souvent les mêmes que celles utilisées pour les applications alimentaires. Cependant, les travaux de recherche mettent en évidence de nouvelles applications pour de nouvelles espèces. La filière cosmétique utilise les microalgues sous forme d'extraits de plantes, broyées (pour les gommages par exemple) ou en tant qu'agents de coloration. Étant donné que le marketing joue un rôle important dans l'industrie des cosmétiques, les microalgues sont souvent utilisées afin de véhiculer une image de produits naturels apportant les bienfaits de la mer (**Idealg, 2014**).

### 1.7. Agrofournitures et traitement de l'eau

En agriculture, les microalgues sont principalement utilisées comme engrais ou comme ingrédient dans la fabrication d'aliment pour le bétail. Concernant les engrais, les algues sont transformées en poudre, extraits liquides ou microbilles et sont épandues sur les terres. En effet, les microalgues favorisent la croissance des plantes, la résistance aux maladies et produisent des substances protectrices contre les agressions par les gastéropodes. Pour l'alimentation animale, les fuciales sont utilisées comme additifs alimentaires pour leurs qualités digestives. Elles sont transformées en farines mélangées à la nourriture (**Barsanti et Gualtieri, 2014**).

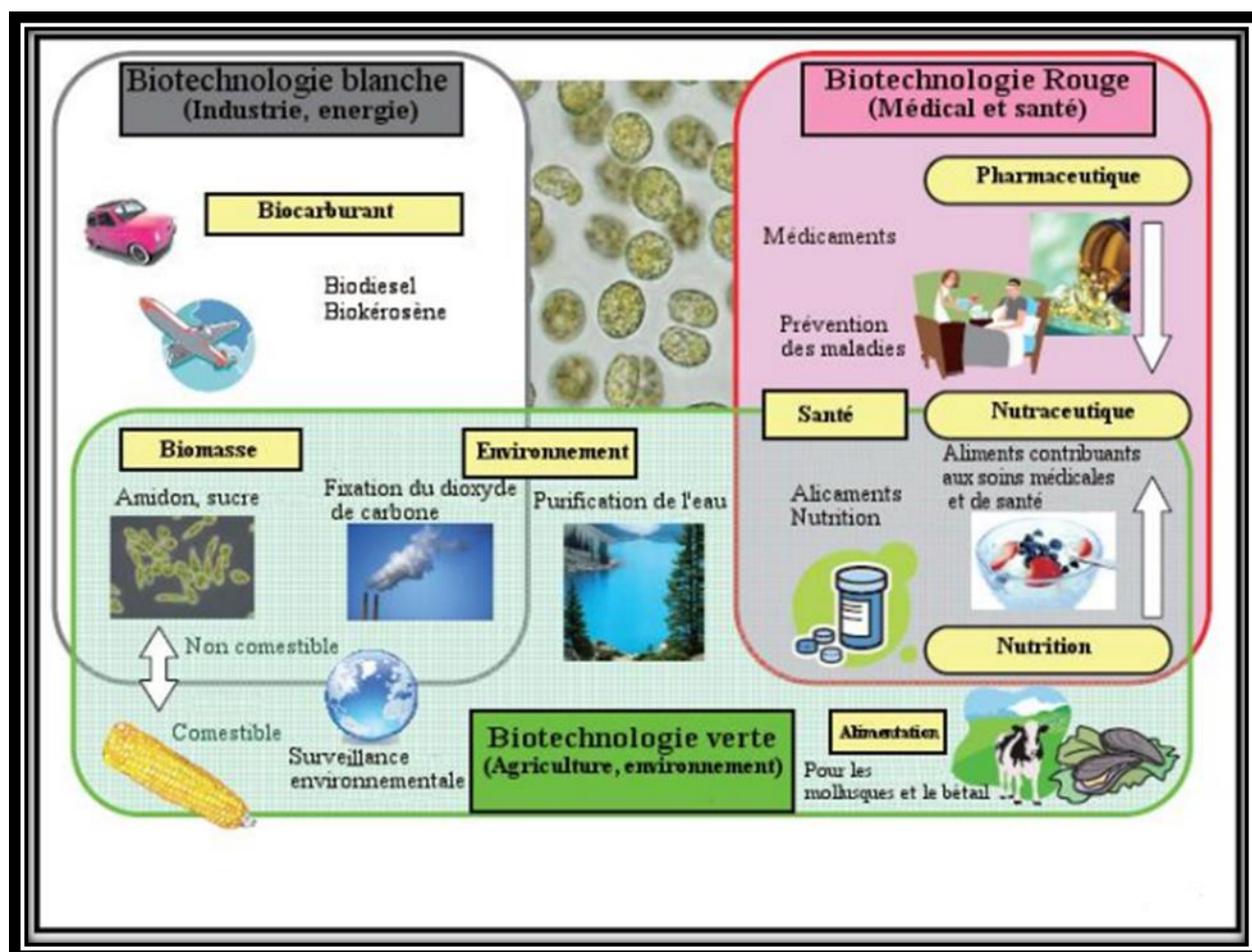


Figure 03 : Diversité du champ d'application de microalgues (Filali, 2012).

## 1.8. Risques des microalgues

### A) Risques sur la santé humaine

Certaines espèces phytoplanctoniques produisent des phycotoxines, qui sont accumulées par les organismes phytoplanctonophages « les mollusques bivalves, gastéropodes, crustacés, ainsi que certains poissons ». Ces organismes jouent le rôle de vecteurs sains. Ils ne sont pas affectés par ces toxines, mais sont toxiques pour les consommateurs secondaires dont l'homme. (Gailhard, 2003).

**B) Risque sur les organismes marins**

Le phytoplancton peut avoir des impacts directs sur les populations marines, car certaines espèces peuvent produire des toxines extracellulaires « directement libérées dans le milieu », pouvant provoquer de nombreuses mortalités chez les poissons exemple : *Karenia brevis* « Dinoflagellé » (Mortensen, 1985), ou encore chez les invertébrés marins, exemple : *Heterocapsa circularisquama* « Dinoflagellé » causant des mortalités massives d'huîtres perlières et autres bivalves (Matsuyama et al., 1996). Or les toxines, des lésions mécaniques peuvent également être engendrées comme le colmatage des branchies par la production de mucus ou l'altération des branchies par les excroissances « les épines » de certaines espèces phytoplanctoniques, exemple : *Chaetoceros sp* « Diatomées » (Gailhard, 2003).

**C) Risque sur le fonctionnement de l'écosystème**

Outre les intoxications et la mortalité des organismes évoqués précédemment, le phytoplancton est capable de provoquer un dysfonctionnement de l'écosystème (Chauvaud et al., 2000), due à une prolifération microalgale intense. Pour décrire cet événement, différents termes sont utilisés « bloom, marrées rouges, efflorescence, ... » (Smayda, 1997 b). L'ensemble de ces termes est aujourd'hui rassemblé sous l'appellation internationale HAB « Harmful Algal Bloom ». Bien que les HAB sont des phénomènes anciens, il semblerait qu'ils sont en augmentation tant en termes d'aires géographiques touchées que la diversité des microorganismes incriminés provoquant ainsi des dangers pour la santé publique et des pertes économiques importantes. (Amri, 2008).

**1.9. Le phytoplancton, indicateur de qualité biologique**

Qu'il s'agisse du phytoplancton, des macrophytes, des invertébrés ou des poissons, les indicateurs biologiques (bio-indicateurs) sont basés sur le même principe. La variété des taxons présents dans un prélèvement, leur assemblage, la présence ou l'absence de groupes sensibles (aux pollutions par exemple), donnent une indication sur la qualité des milieux (Solheim et al., 2005).

Ainsi, (**Blandin, 1986**) a donné au terme bio-indicateur la définition suivante : « un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

A cet effet, (**Reynolds et al., 2002**) ont publié une description détaillée de 31 assemblages phytoplanctoniques qui peuvent être vus comme des groupes fonctionnels, c'est à dire des groupes d'espèces avec une sensibilité plus ou moins grande pour différentes combinaisons de propriétés physiques, chimiques et biologiques internes au lac (profondeur de la zone de mélange, lumière, température, P, N, Si, CO<sub>2</sub> et pression de prédation).

Le phytoplancton, qui est donc fortement influencé par les changements environnementaux (**Padisak et al., 2006; Salsamo et al., 2006 et Anneville et al., 2008**), est considéré comme étant la première communauté biologique à répondre à l'eutrophisation, spécialement dans les lacs (**Solheim et al., 2005**). Ainsi, ce compartiment biologique a été proposé puis imposé par la (**DCE, 2000**), comme élément de qualité biologique pour les lacs et est identifié aujourd'hui comme un bio-indicateur potentiel puisque répondant aux changements trophiques des masses d'eau.

### 1.9.1. Indice de diversité de Shannon Weaver (H')

L'indice de Shannon (**Shannon, 1948**) aussi appelé indice de Shannon-Weaver ou Shannon-Wiener, ou simplement entropie est dérivé de la théorie de l'information.

L'évaluation de la diversité spécifique nous permet de caractériser la structure d'un écosystème et indiquer l'état de maturité d'un peuplement (**Travers, 1971**). En effet, plus cet indice est élevé, plus que le peuplement est stable, c'est-à-dire qu'il n'est pas soumis à l'action des facteurs abiotique ou un facteur de pollution (**Omori et Ikeda, 1984**). (**Legendre et Legendre, 1979**) et (**Harris et al., 2000**) définissent la diversité spécifique comme une mesure de la composition en espèces d'un écosystème, en tenant compte de la distribution de leurs abondances relatives. L'indice de diversité (H') est faible lorsque les individus rencontrés appartiennent tous à une seule espèce ou bien quand toutes les espèces sont représentées par un seul individu ; donc H' est plus sensible aux espèces rares (**Krebs, 1999**).

L'indice de Shannon-Wiener est le plus couramment utilisé et est recommandé par différents auteurs (**Gray et al., 1992**). Il est donné par la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log p_i$$

Où :

$p_i$  = abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce :  $p_i = n_i/N$  ;

S = nombre total d'espèces ;

$n_i$  = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon ;

N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

L'indice de Shannon convient bien à l'étude comparative des peuplements parce qu'il est relativement indépendant de la taille de l'échantillon (**Ramade, 2003**). Bien que l'indice de Shannon varie directement en fonction du nombre d'espèces, les espèces rares présentent un poids beaucoup plus faible que les plus communes. (**Dajoz, 2002 ; Ramade, 2003 et Frontier et al., 2004**).

L'indice de Shannon Wiener a également été utilisé pour étudier les changements temporels de la diversité liés à l'augmentation ou la réduction d'une pollution. (**Pearson et Rosenberg, 1978**).

### 1.9.2 L'indice d'équitabilité (E)

L'indice d'équitabilité (E) correspond au rapport de la diversité atteinte ( $H'$ ) et la diversité maximale ( $H'_{max}$ ) pouvant être obtenue avec le même nombre de taxons (**Frontier et Pichod-Viale, 1993**). En fait, L'indice d'équitabilité permet de comparer la diversité mesurée à la diversité théorique maximale (**Puetro et Rico, 1997**).

L'estimation de l'équitabilité (diversité relative) se heurte évidemment à la difficulté d'évaluer le nombre total réel d'espèces d'une communauté; on mesurera dès lors ce descripteur en prenant comme référence le nombre d'espèces présentes dans l'échantillon et on obtient ainsi l'équitabilité de l'échantillon (**Frontier, 1983**). Afin de pouvoir comparer la diversité de deux peuplements qui renferment des nombres d'espèces différentes, on calcule l'équitabilité (E).

$$E = H' / H_{max}$$

$H'_{max} = \log S$  (S= nombre total d'espèces)

L'indice d'équitabilité permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces) (Dajoz, 2002).

Ces deux indices restent dépendants de la taille des échantillons et dépendant du type d'habitat. Leur valeur est relativement basse dans les eaux de transition comme les lagunes, deltas ou estuaires, même lorsqu'ils ne sont pas perturbés. Il reste ainsi difficile d'en faire un descripteur de l'état d'un milieu à moins de déterminer au préalable des valeurs seuil pour chaque type d'habitat et pour une surface échantillonnée donnée, ainsi que l'ont proposé (Simboura et Zenetos, 2002) (Tab 2).

**Tableau 2 :** Exemple de classification de la pollution à partir de la valeur de  $H'$ , dans les habitats sableux/vaseux (d'après Simboura et Zenetos, 2002).

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

La détermination des paramètres de dominance permet d'appréhender la structure taxonomique des peuplements. Pour estimer la dominance d'une espèce donnée on peut recourir à l'indice de dominance de Simpson (D). Il est calculé par la formule suivante :

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S n_i(n_i-1) + N}$$

$N$  est le nombre d'individus de l'espèce  $i$  ;  $N$  est le nombre totale des individus capturés et  $S$  est la richesse spécifique totale.

**Krebs (1994)**, structure les espèces en quatre classes :

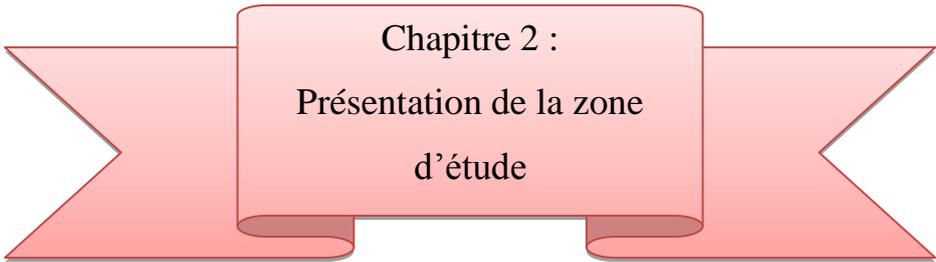
-espèces eudominantes : si l'abondance relative de ces espèces est supérieure à 7,6 %

-espèces dominante : lorsque l'abondance relative de ces espèces est comprise entre 5,1 et 7,5%

- espèces subdominates : lorsque l'abondance relative de ces espèces est comprise entre 2,6 et 5%

- espèces résidentes : lorsque l'abondance relative de ces espèces est comprise entre 1,1 et 2,5%

- espèces subrésidentes : lorsque la fréquence relative de ces espèces est comprise entre 0,0 et 1%.

A decorative red ribbon graphic with a central rectangular box containing text. The ribbon has a slight 3D effect with a darker red shadow on the bottom edge.

Chapitre 2 :  
Présentation de la zone  
d'étude

### 2.1. Présentation et description du bassin versant Kébir-Rhumel

D'après (Grobec, 2019), un bassin versant est une unité territoriale correspondant à l'ensemble du territoire qui alimente un cours d'eau en eau. Les limites du territoire d'un bassin versant sont appelées les lignes de partage des eaux et sont constituées des sommets qui séparent les directions d'écoulement des eaux de ruissellement. La direction d'écoulement des eaux dans un bassin versant implique que ces eaux se dirigeront vers un exutoire commun (cours d'eau, lac, fleuve, océan). Les eaux souterraines, au même titre que les eaux de surface, font partie intégrante du bassin versant.

Dans un bassin versant, l'écoulement des eaux se fait de l'amont vers l'aval au travers d'un réseau hydrographique (réseau de drainage) d'ordre plus ou moins important. Il comprend un cours d'eau récepteur (cours d'eau principal) et ses tributaires (cours d'eau qui se jette dans un cours d'eau de plus grande importance ou dans un lac). Chaque bassin versant est composé de plusieurs sous-bassins versants qui, à leur tour, sont également composés de sous-bassins versants.

On retrouve à l'intérieur d'un bassin versant des caractéristiques qui lui sont propres, soit : Hydrographie et hydrologie, géomorphologie et reliefs, pédologie et géologie, utilisation et couverture des sols, écologie, etc (Grobec, 2019).

### 2.2. Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour

Selon (Melghit, 2010), l'Oued Kébir-Rhumel, est un cours d'eau très important dans l'Est algérien. Il a contribué au façonnement du ravin Constantinois qui est célèbre dans toute l'Algérie par son pittoresque. L'oued Rhumel s'écoule sur une distance d'environ 208 Km et son bassin versant déborde largement les limites géographiques du Constantinois. En conséquence, le calcul de la superficie du bassin versant Kébir-Rhumel diffère souvent d'un opérateur à un autre ; elle est de l'ordre de 8795 km<sup>2</sup>, cependant selon les données de l'ANRH elle est de 8815 km<sup>2</sup>.

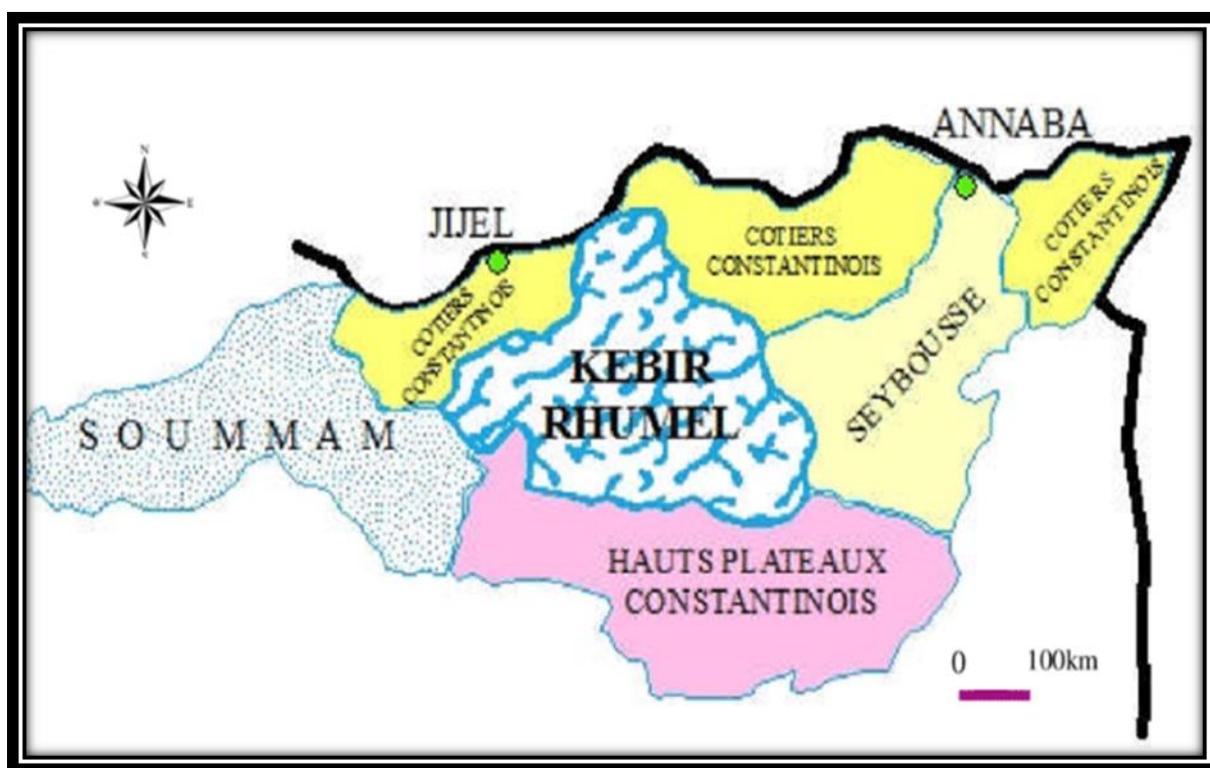
### 2.3. Situation géographique du bassin

Le bassin versant Kébir-Rhumel centré à 36° de latitude Nord et à 7° de longitude Est est l'un des plus importants et grands bassins d'Algérie, s'étendant sur une superficie de 8815 Km<sup>2</sup>, il se compose de 7 sous-bassins hydrographiques et possède une façade maritime d'environ 7 Km<sup>2</sup> (ABH, 2009).

Le bassin de l'Oued Kébir est situé en grande partie sur le versant méridional du bombement tellien. Il représente à ce titre une zone intermédiaire entre le domaine tellien à très forte influence méditerranéenne au nord et le domaine des hautes plaines à forte influence continentale au Sud. Cette entité hydrographique est composée de quatre sous bassins versant (**Kerdoud, 2006**).

Le bassin est limité:

- au Nord par les deux bassins côtiers Constantinois Ouest et Centre ;
- au Sud, le bassin des hauts plateaux constantinois ;
- à l'Ouest les bassins de l'algérois-Hodna -Soummam et à l'Est le bassin de la Seybouse.



**Figure 04** : Situation géographique du bassin versant Kébir-Rhumel [4].

#### 2.4. Principaux Oueds alimentant le barrage Béni Haroun

Le barrage de Béni-Haroun est situé à l'aval de la confluence de Oued Rhumel et Oued Endja; à une quarantaine de Kilomètres au Nord de Constantine et une distance équivalente par rapport à l'embouchure de oued Kébir (Mer Méditerranée). Sa mise en eau a commencé en Août 2003 (**ANBT, 2018**).

La digue du barrage, construite en béton compacté se dresse sur une hauteur de 107 m au-dessus du lit de l'oued Kébir. La retenue du barrage de Béni-Haroun permet d'emmagasiner  $963 \text{ hm}^3$  d'eau; avec un volume utile de  $732 \text{ hm}^3$  entre les cotes 172 et 200 m.

Le barrage de Béni Haroun permet de régulariser un apport annuel d'eau de  $435 \text{ hm}^3$ . Le rapport entre la capacité de la retenue et sa surface donne une lame d'eau moyenne de 24 m (Mebarki, 2009).

#### 2.4.1. Oued Rhumel

Un bassin est défini comme une entité topographique et hydrologique dans laquelle se produisent des entrées d'eau (sous forme de précipitation et des apports souterrains issus d'autres bassins où l'écoulement s'effectue suivant un système de pentes et de drains naturels en direction de l'exutoire ou embouchure du cours d'eau collecteur (Mebarki, 2005 et Melghit, 2009).

L'oued Rhumel drainant une superficie de  $5315 \text{ km}^2$ , prend sa source vers 1160 m dans les marges méridionale du Tell, au Nord-Ouest de Belaâ (à  $125 \text{ km}$  d'El-Eulma). Il traverse les hautes plaines constantinoises, avec une orientation Sud-Ouest jusqu'à Constantine. Là, il change brusquement de direction et tourne presque à angle droit pour couler en oblique vers le Nord-Ouest et confluer avec Oued Endja aux environs de Sidi Merouan (Mebarki, 1982 et Afri-Mehennaoui, 1998).

Le bassin du Rhumel est la jonction de quatre sous bassins :

- l'oued Rhumel-Amont  $1230 \text{ km}^2$ ;
- l'oued Rhumel-Seguen  $1150 \text{ km}^2$ ;
- l'oued Rhumel-Boumerzoug  $1832 \text{ km}^2$ ;
- l'oued Rhumel-Smendou  $1832 \text{ km}^2$ .

Il augmente son débit de Sud au Nord, il est limité par le bassin du Kébir au Nord, et par le bassin des hauts plateaux Sétifiens au Sud, à l'est par le bassin versant Seybouse et à l'Ouest par le bassin de l'oued Endja. Il est centré entre  $36^\circ$  de latitude Nord et de  $7^\circ$  de longitude Est, l'altitude moyenne du bassin Rhumel est de l'ordre de  $806 \text{ m}$  (Mebarki, 1982). Long de  $123 \text{ km}$ , le Rhumel reçoit successivement de l'amont à l'aval les oueds Dekri, Seguen, Boumerzoug, Smendou et El Ktone.

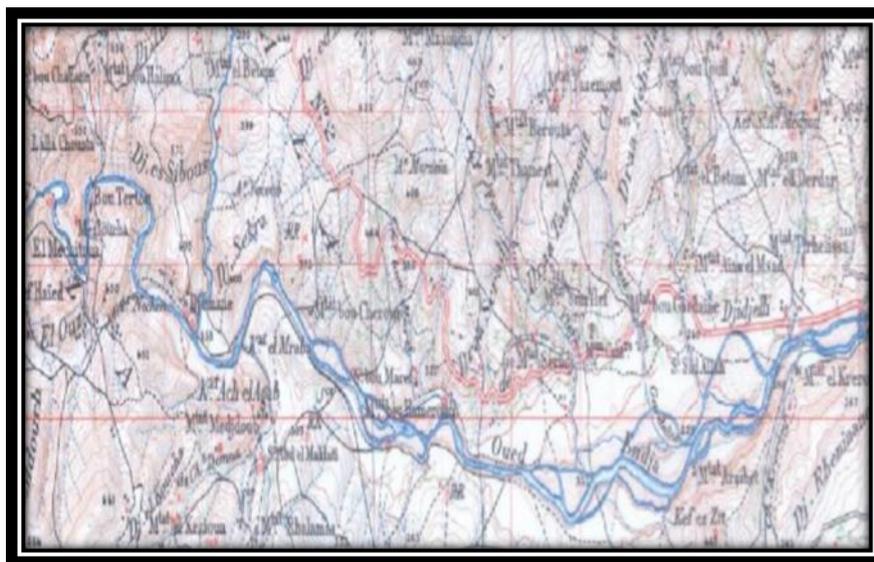
### 2.4.2. Oued Endja

D'un linéaire de 15 Km, il naît à la confluence de l'oued El Kébir et de l'oued Redjas. Son lit possède une forme lithologique très intéressante du point de vu hydrogéologique ce qui explique le réseau hydrologique dense du barrage Béni-Haroun (**Melghit, 2009**).

L'oued Endja est formé à l'amont par la confluence de l'oued Dehamcha et de l'Oued Menaâ. Le premier prend sa source au seuil des hautes plaines au Nord d'El Eulma alors que le second prend sa source aux environs d'Ain El Kebira dans les massifs de la petite Kabylie.

A l'instar de la haute vallée du Rhumel, il suit une direction SO-NE, mais cette fois à travers les reliefs montagneux du Tell, parallèlement à la chaîne numidique qui le borde au Nord.

Durant son par cours, l'oued Endja ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rivegauche, mais sur sa rive droite, il collecte les eaux des oueds Rarama (ou Djemila) ainsi que ceux de Bou Selah, de Redjas et d'El Melah (**Sahli, 2012**).



**Figure05** : Carte topographique représente le trajet d'oued Endja  
(Agence Hydraulique de Mila).

### 2.5. Climatologie

Le climat de la région est de type méditerranéen semi-aride au Sud et sub-humide au Nord de Constantine. Il est caractérisé par une forte variabilité inter-mensuelle et interannuelle de la pluie avec une nette décroissance de pluviosité du Nord (450mm<sup>3</sup>/an en moyenne) au Sud (320 mm<sup>3</sup>/an en moyenne) (**Belaidi et Mecheri, 2009**).

La saison humide s'étalant sur 8 mois avec une pluviométrie annuelle. Elle varie entre 350 mm et 700 mm et une température minimale de 3° C à 4° C le mois de Janvier. Par contre la saison sèche à enregistrée des températures maximales de l'ordre 42°C au mois de Juillet. Les vents dominant sont du secteur Nord-Ouest et sont généralement suivi par des pluies ; en hiver les vents du Nord et du Est sont peu fréquents due aux obstacles (reliefs) (**Hadissi, 2010**).

### 2.5.1. Précipitations

Les précipitations constituent évidemment, le paramètre climatique essentiel. Leur intensité, leur continuité et leur périodicité sont l'origine même de l'écoulement, de sa localisation et de sa violence. Dans certaines régions, où le régime des écoulements est fortement lié aux précipitations (**Kerdoud, 2006**).

Le bassin versant Kébir – Rhumel rassemble sur toute sa superficie vingt-deux stations pluviométriques qui se répartit comme suit (Tab.3).

**Tableau3** : Stations pluviométriques sur le bassin du Kébir – Rhumel (**ABH, 1999**).

Sous-bassins	Nombre de station pluviométriques
oued Dehamcha-KébirAmont	4
oued KébirAmont-Endja	1
oued Kébir Amont	5
oued Rhumel-Seguen	3
oued Boumerzoug	3
oued Rhumel-Smendou	2
oued Kébir-Maritime	4

Le bassin versant Kébir-Rhumel présente des pluies d'automne ; d'hiver et de printemps, elles sont à la fois faibles et irrégulières (**Melghit, 2009**).

### **2.5.2. Température**

Le bassin du Kébir-Rhumel doit à sa position un climat méditerranéen avec des hivers doux, des étés chauds et secs mais loin d'être désertique (**Atrouz et Lefilef, 2014**).

### **2.5.3. Vent**

Le vent est un facteur climatique très important, car il joue un rôle fondamental dans le transport, la propagation et la dissémination des polluants de différentes tailles vu ses caractéristiques de direction et de force. Les vents soufflant sur le bassin du Kébir-Rhumel sont ceux du Nord-Est qui apportent les pluies et qui sont souvent secs et froids (**Melghit, 2009**).

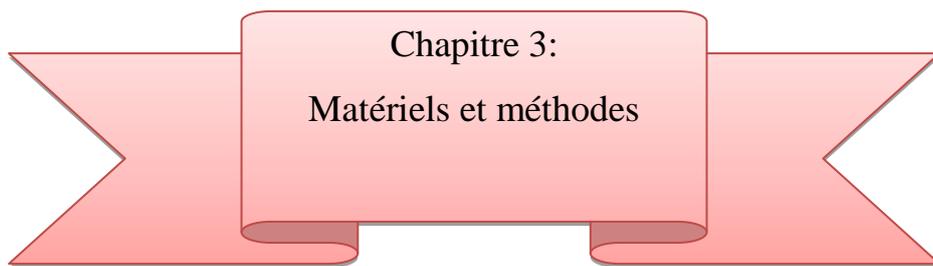
## **2.6. Les sources de contamination**

### **2.6.1. L'agriculture**

Le bassin du l'oued el Kébir se caractérise par une agriculture mixte traditionnelle (irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion), tout dépend du type de culture. La superficie actuellement irriguée dans le bassin est de 2679 hectares consommant un volume annuel de 27,65 hm<sup>3</sup>. Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraichères et l'arboriculture. Les engrais les plus utilisés en agriculture au niveau du bassin du Kébir-Rhumel sont les ammonitrates (33%) et les superphosphates (45%). Ces derniers, augmentent sans doute les rendements, mais contribuent surtout par leur utilisation excessive à la pollution des sols, des sédiments et des cours d'eau où les concentrations en nitrates, phosphates et leurs dérivés sont le plus souvent élevées (**Melghit, 2010**).

### **2.6.2. L'industrie**

Aux alentours du bassin versant Kébir-Rhumel, le tissu industriel est sur tout concentré autour des grandes agglomérations (Constantine, El Khroub, Chelghoum Laid, Hamma Bouziane, Mila,...). Plusieurs industries sont alimentées par leurs propres forages, ou leurs propres puits. Il n'a pas été possible d'accéder à toutes les installations, et les renseignements recueillis traduisent un volume global alloué à ces installations de 13.679 m<sup>3</sup>/j soit 4.99 hm<sup>3</sup>/an (**ABH, 1999**).

A decorative red ribbon graphic with a central rectangular box containing the chapter title.

**Chapitre 3:**  
**Matériels et méthodes**

### 3.1. Choix et localisation des sites de prélèvement

Les stations d'échantillonnage ont été choisies de manière à nous permettre de répondre à l'objectif de notre étude. Ainsi en nous référant à de précédents travaux.

Pour chaque oueds, deux stations (amont et aval) ont été retenues selon l'accessibilité et de façon à intégrer le mieux possible l'influence de certaines zones à forte pression anthropique et/ou industrielle (agglomération, industries, mines, agriculture...).

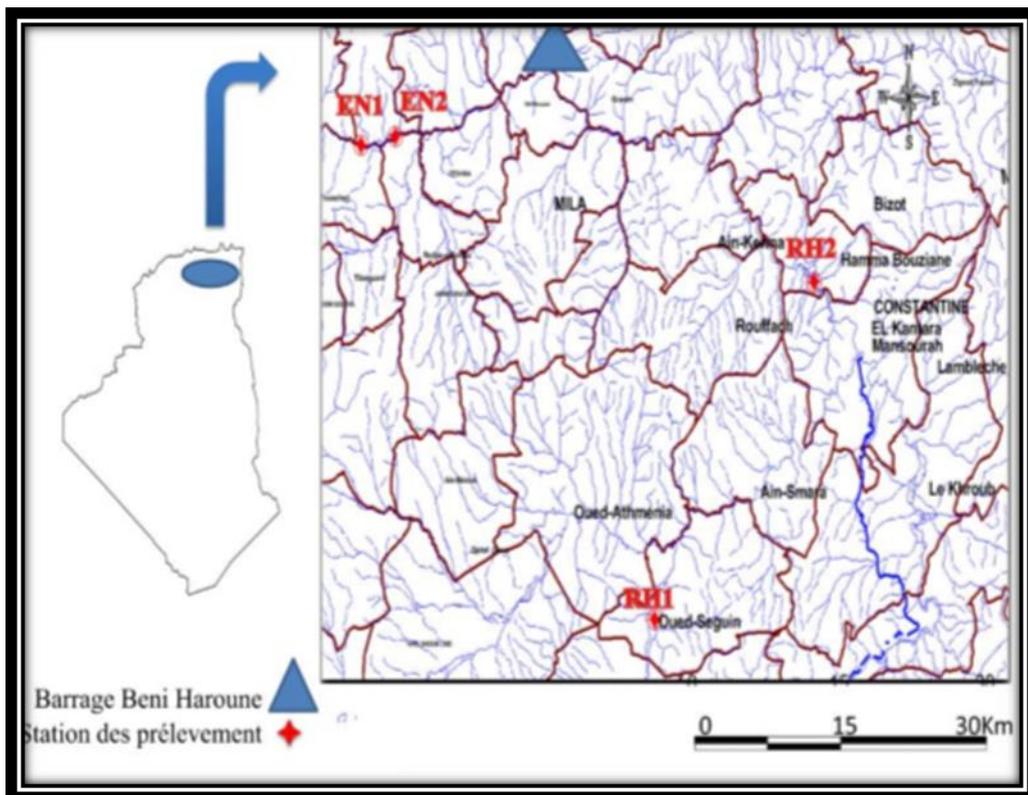


Figure 06 : Localisation des stations de prélèvement.

#### ❖ Au niveau d'Oued Endja

##### ➤ Station 1(En1)

Cette station est située en amont d'Oued Endja au lieu-dit Saradj commune de Boughardaiane. Elle est caractérisée par une forte activité agricole (culture maraichère), et d'élevage. Le lit de l'Oued est rocheux avec une présence de végétation à dominance du (*R'tam* : *Retama retam*) (36°29'23 "N, 6°03'1"E).



**Figure 07** : Station1 (Endja amont)

➤ **Station 2(En2)**

Située en aval d'oued Endja près du pont en direction d'Arras et Baïnnane au lieu dit Taghlisa commune de Boughardaiane. Cette station est caractérisée par la présence d'agglomération ( $36^{\circ}29'45''N$ ,  $6^{\circ}05'33''E$ ).



**Figure 08** : Station 2(Endja aval).

**❖ Au niveau d'oued Rhumel****➤ Station 3 (Rh1)**

Située en amont d'oued Rhumel à environ 25 Km de Constantine. Cette station est située en aval de la confluence Rhumel-Seguen. Sous le pont en direction de Teléghma et oued Seguen. Elle traduit la qualité de l'eau avant qu'elle ne soit polluée par la ville de Constantine et ses proximités ( $36^{\circ}10'36''N$ ,  $6^{\circ}23'21''E$ ).



**Figure 09** : Station 3 (Rhumel amont)

**➤ Station 4 (Rh2)**

Située en aval d'oued Rhumel, au niveau de la route de Constantine-Hamma Bouziane, sous le pont d'El-Menia. Cette station permet d'évaluer la qualité des eaux d'oued Rhumel alimentée par les rejets diffus ainsi que les eaux de ruissellement. Elle traduit l'impact d'une agglomération importante sur la qualité physico-chimique des eaux ( $36^{\circ}23'56''N$ ,  $6^{\circ}34'15''E$ ).



**Figure 10 :** Station 4(Rhumel aval)

### 3.2 .Collecte de données et paramètres étudiés

#### 3.2.1. Dates de réalisation des prélèvements

Ce travail est basé sur la collecte de données d'un ensemble de paramètres physico chimiques et biologiques pour quelques campagnes réalisées durant la période allant d'Octobre 2014 à Décembre 2016 dans quatre stations en amont et en aval des deux principaux Oueds qui alimentent le barrage de Béni Haroun. Le tableau ci-dessous résume les dates de la réalisation des prélèvements.

**Tableau 4:** Prélèvement réalisés par date durant les mois des années 2014 et 2015.

	St1 Endja amont	St2 Endja aval	St3 Rhumel amont	St4 Rhumel aval
Prélèvement 1	Avril 2014	Avril 2014	Avril 2014	Avril 2014
Prélèvement 2	Octobre 2014	Octobre 2014	non réalisée	non réalisée
Prélèvement 3	Janvier 2015	Janvier 2015	Janvier 2015	Janvier 2015
Prélèvement 4	Mars 2015	Mars 2015	Mars 2015	Mars 2015
Prélèvement 5	Novembre 2015	Novembre 2015	Novembre 2015	Novembre 2015
Prélèvement 6	Décembre 2015	Décembre 2015	Décembre 2015	Décembre 2015

### 3.2.2. Paramètres étudiés

#### 3.2.1. Paramètres abiotiques

Ces facteurs peuvent être périodiques ou apériodiques, c'est-à-dire marquer leur influence de façon régulière ou de façon aléatoire. Les phénomènes abiotiques sont à la base de la biologie. Les facteurs abiotiques, bien qu'ils occupent généralement une place secondaire, peuvent avoir un impact significatif sur l'évolution des biocénoses [2]. En réalité, les facteurs abiotiques eux-mêmes sont modifiés dans l'environnement d'un organisme par la présence d'autres organismes : pour les animaux, en particulier, presque tous les facteurs abiotiques du milieu sont triés, filtrés, modifiés par la végétation, qui constitue pour la faune à la fois la source de nourriture (ainsi que d'oxygène) et l'abri [6].

##### 3.2.1.1. Température

Les valeurs de la température de l'eau de surface collectées durant les mois de prélèvement depuis les travaux déjà réalisés dans les stations d'étude sont illustrées dans le tableau qui suit.

**Tableau 5:** Données des valeurs de la température de l'eau en degré Celsius durant les mois de prélèvement dans les stations d'étude.

	Avril 2014	Octobre 2014	Janvier 2015	Mars 2015	Novembre 2015	Décembre 2015
En1	20	22,2	16,3	17,2	17,3	9,9
En2	18,4	20,5	12,9	17,3	18,5	12,7
Rh1	23,5	/	22,5	14,5	12	12,1
Rh2	23,2	/	16,4	14,1	14,8	12,9

##### 3.2.1.2 pH

Les valeurs du pH de l'eau de surface collectées durant les mois de prélèvement depuis les travaux déjà réalisés dans les stations d'étude sont illustrées dans le tableau qui suit.

**Tableau 6:** Données des valeurs du pH de l'eau durant les mois de prélèvement dans les stations d'étude.

	Avril 2014	Octobre2014	Janvier 2015	Mars 2015	Novembre 2015	Décembre 2015
En1	8,83	8,35	8,49	7,034	7,7	6,55
En2	8,65	8,38	8,44	7,036	8,71	7,16
Rh1	6,64	7,71	7,94	7,002	8,25	7,55
Rh2	6,39	7,63	8,052	6,986	7,99	7,87

### 3.2.1.3. Oxygène dissous (O<sub>2</sub>d)

Les valeurs de l'oxygène dissous de l'eau de surface collectées durant les mois de prélèvement depuis les travaux déjà réalisés dans les stations d'étude sont illustrées dans le tableau qui suit.

**Tableau 7:** Données des valeurs de l'oxygène dissous de l'eau en mg/l durant les mois de prélèvement dans les stations d'étude.

	Avril 2014	Octobre 2014	Janvier 2015	Mars 2015	Novembre 2015	Décembre 2015
En1	40	10,13	10,54	9,21	13,77	9,42
En2	23,5	9,66	9,4	9,54	17,63	9,34
Rh1	10,5	10,64	9,56	6,89	8,11	7,41
Rh2	7,3	9,06	6,22	8,88	7,14	7,49

### 3.2.1.4 Conductivité électrique (CE)

Les valeurs de la conductivité électrique de l'eau de surface collectées durant les mois de prélèvement depuis les travaux déjà réalisés dans les stations d'étude sont illustrées dans le tableau qui suit.

**Tableau 8 :** Données des valeurs de la conductivité électrique de l'eau en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durant les mois de prélèvement dans les stations d'étude.

	Avril 2014	Octobre 2014	Janvier 2015	Mars 2015	Novembre 2015	Décembre 2015
En1	1044	2480	2420	1053	1818	2390
En2	1097	2370	2340	974	1765	1639
Rh1	1733	618	1945	2070	2140	1920
Rh2	1507	1744	1698	1673	1648	1286

### 3.2.2. Paramètres biotiques

Les facteurs biotiques sont déterminés par la présence, à côté d'un organisme, d'organismes de la même espèce ou d'espèces différentes, qui exercent sur lui une concurrence, une compétition, une prédation, un parasitisme, et en subissent à leur tour l'influence. D'autres facteurs biotiques dépendent de la physiologie de l'organisme considéré (taux de croissance, d'alimentation, de reproduction ; durée de la vie ; capacités métaboliques diverses ; rythmes endogènes d'activité ; possibilités de déplacement). En réalité, les facteurs abiotiques eux-mêmes sont modifiés dans l'environnement d'un organisme par la présence d'autres organismes : pour les animaux, en particulier, presque tous les facteurs abiotiques du milieu sont triés, filtrés, modifiés par la végétation, qui constitue pour la faune à la fois la source de nourriture (ainsi que d'oxygène) et l'abri [6].

#### 3.2.2.1. Diversité et densité

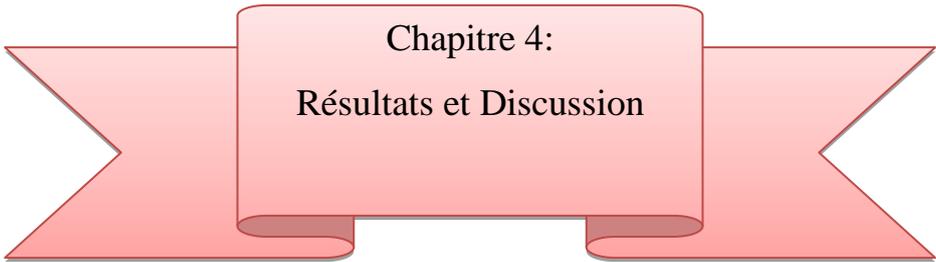
La diversité a été analysée à partir de la richesse spécifique (R), de l'indice de diversité de Shannon (1949) et de l'équitabilité de Pielou (1966).

L'indice de diversité de Shannon (H) a pour formule :

$H = - \sum P_i \log_2 P_i$  où  $P_i = (n_i / N)$  est la fréquence relative des individus de l'espèce (i).

L'équitabilité de Pielou (E) a pour formule :

$E = H / \log_2 R$  où H représente l'indice de Shannon, et  $\log_2 R$  est la valeur théorique de la diversité maximale pouvant être atteinte dans chaque groupement et R est la richesse spécifique. (Toko, 2013).

A decorative red ribbon graphic with a central rectangular box containing the chapter title.

**Chapitre 4:**  
**Résultats et Discussion**

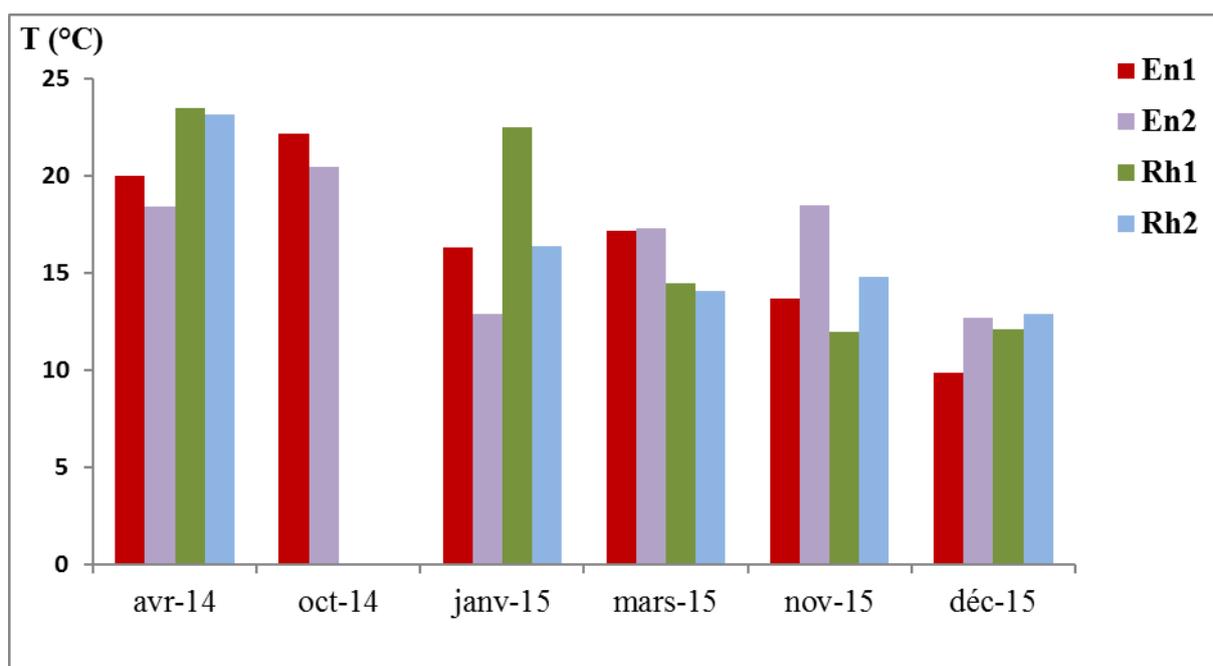
#### 4.1. Résultat des mesures physico-chimiques

Dans cette partie nous présenterons, les données collectées des travaux précédents de quatre paramètres physicochimiques obtenus pendant les années 2014 et 2015 au niveau de quatre stations des deux grands Oueds alimentant le barrage de Béni-Haroun.

##### 4.1.1. La Température

La température est un facteur écologique de première importance qui a une grande influence sur les propriétés physico-chimiques des écosystèmes aquatiques (**Ramade, 1993**).

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur (**OMS, 1994**), par contre une température inférieure à 10°C, ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux ; d'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air (**Rodier, 2005**).



**Figure 11** : Variations spatio-temporelles de la température des eaux d'oued Endja et celles du Rhumel durant les mois de prélèvement des années 2014 et 2015.

Dans les stations d'oued Endja : les valeurs de la température de l'eau sont variables d'une station à une autre durant les mois d'observation. L'évolution de la température de l'eau est divergente dont les valeurs extrêmes révélées sont 22,2 °C au mois d'Octobre de l'année 2014 à la station amont et 20,5 °C à celle de l'aval, alors que les plus basses 9,9 et 12,7°C sont enregistrés le mois de Décembre respectivement en amont et aval.

Dans celles du Rhumel : les valeurs de la température de l'eau les plus élevées sont enregistrées au mois d'Avril de l'année 2014 (23,5 °C) en amont de l'oued alors que la valeur 23,2°C en aval, alors que les plus basses 12 et 13 °C sont respectivement enregistrées en amont et aval pour le mois de Décembre de l'année 2015.

Généralement et durant la période d'étude, la température relevée au niveau des stations amont et aval des deux oueds varie entre 9,9 °C et 23,5 °C. Les valeurs thermiques ont varié d'un minima (9,9°C) pour le mois de Décembre de l'année 2015 en amont d'oued Endja à un maxima (23°C) au mois d'Avril en amont d'oued Rhumel pour la même année. Entre ces deux valeurs extrêmes, une variation spatio-temporelle de la température est bien observée.

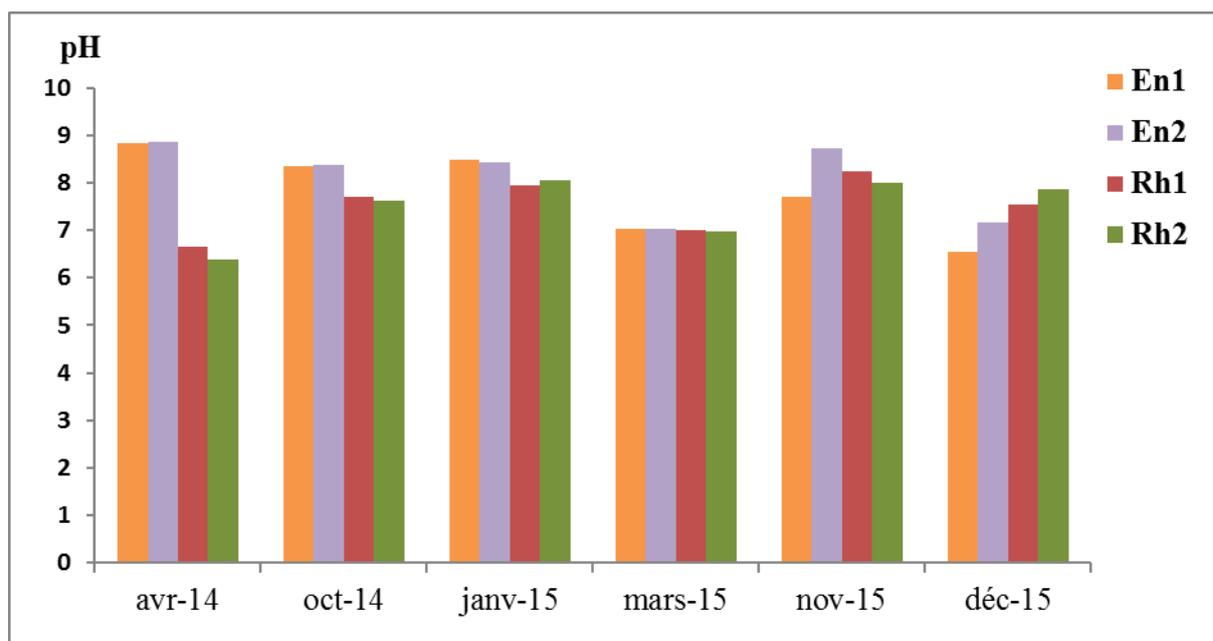
Selon la grille d'appréciation de la qualité générale de l'eau utilisée en France depuis 1979 (**Masson, 1988**) (Tab 9), les eaux d'Oued Rhumel sont de qualité normale à moyenne (classe 1A- 2). Par contre les eaux d'Oued Endja sont de qualité normale à bonne (Classes 1A- 1B).

**Tableau9** : Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température  
(**Masson, 1988**).

Température	Qualité	Classe
≤ 20°C	Normale	1A
20°C - 22°C	Bonne	1B
22°C - 25°C	Moyenne	2
25°C - 30°C	Médiocre	3
≥ 30°C	Mauvaise	4

#### 4.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre qui mesure le degré d'acidité ou d'alcalinité des écosystèmes aquatiques. Un pH compris entre 6 et 9 permet un développement à peu près correct de la faune et de la flore aquatique (**Sahli, 2012**).



**Figure 12 :** Variations spatio-temporelles du pH des eaux d’oued Endja et celles du Rhumel durant les mois de prélèvement des années 2014 et 2015.

Dans les stations d’oued Endja : le pH des eaux est faiblement alcalin. Il varie entre **6.55** et **8.83** la valeur la plus élevée est relevée au mois d’Avril de l’année 2014 et la plus faible est enregistrée au mois de décembre de l’année qui suit dans la même station. aval et la valeur moyenne **7.69**.

Dans celles du Rhumel : Le pH des eaux est moins alcalin que celui d’oued Endja. Les valeurs varient entre **6.39** et **8.25**. La plus élevée est relevée au mois de Novembre de l’année 2015 en amont et la plus faible est enregistrée au mois d’Avril de l’année 2014 pour la station avale.

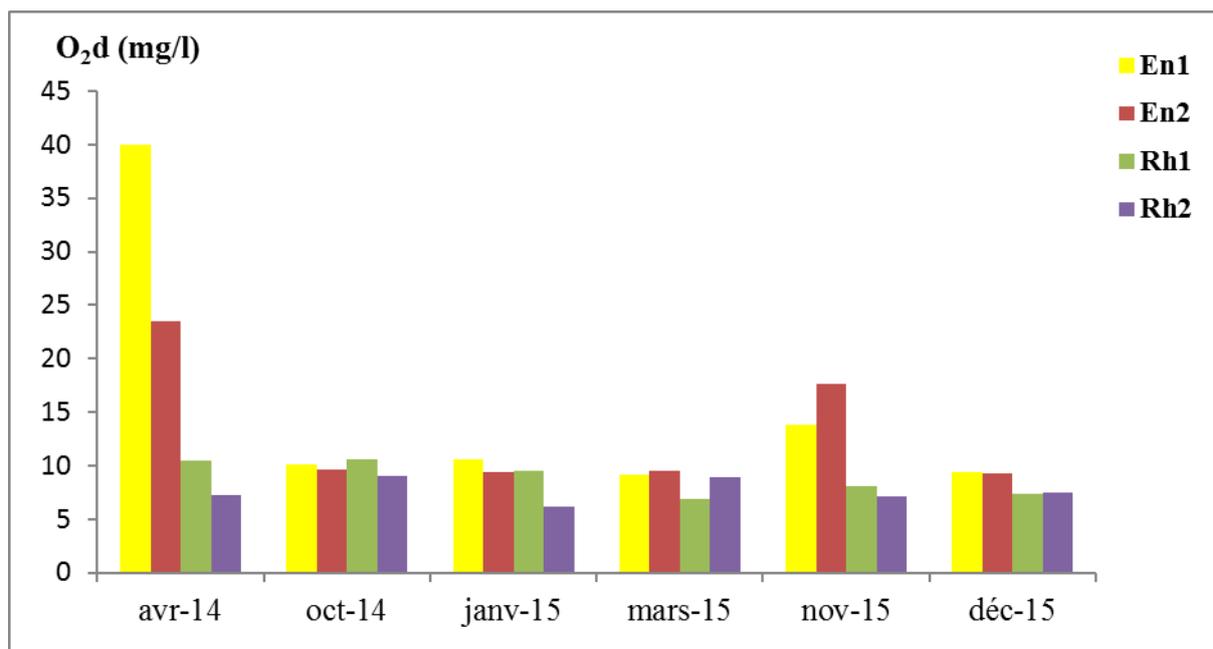
Le pH des eaux naturelles varie normalement en fonction du système bicarbonates-carbonates : en général, une augmentation du pH entraîne la précipitation des cations métalliques sous forme d’hydroxydes ou d’oxydes métalliques insolubles (**Nambatingar, 2011 in Kherief Nacereddine, 2019**). D’après la grille d’aptitude à la biologie en fonction du pH (**SEQ-Eau, 1999**), les eaux de nos stations sont bonnes à très bonnes (Tab10).

**Tableau 10.** Grille d’aptitude à la biologie en fonction du pH (**SEQ-Eau, 1999**)

Qualité	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
pH	8	8,5	9	9,5	> 9,5

### 4.1.3. Oxygène dissous (O<sub>2</sub>d)

L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments (IBGE, 2005).



**Figure 13** : Variations spatio-temporelles de l'oxygène dissous des eaux d'oued Endja et celles du Rhumel durant les mois de prélèvement des années 2014 et 2015.

Le résultat présent, des teneurs d'oxygène qui varient irrégulièrement d'une station à l'autre et d'un mois à l'autre. Ces derniers sont compris entre 40 et 6,22 (mg/l).

Dans les stations d'oued Endja : la valeur maximum de l'oxygène dissous est enregistrée en mois d'Avril de l'année 2014 (40 mg/l) en amont, alors que la valeur minimale (9,34 mg/l) dans la station avale au mois de Décembre de l'année 2015. Ceci est probablement lié à l'activité photosynthétique qui débute le mois de mars à Avril selon les conditions météorologiques de chaque année années (Kherief Nacereddine, 2019).

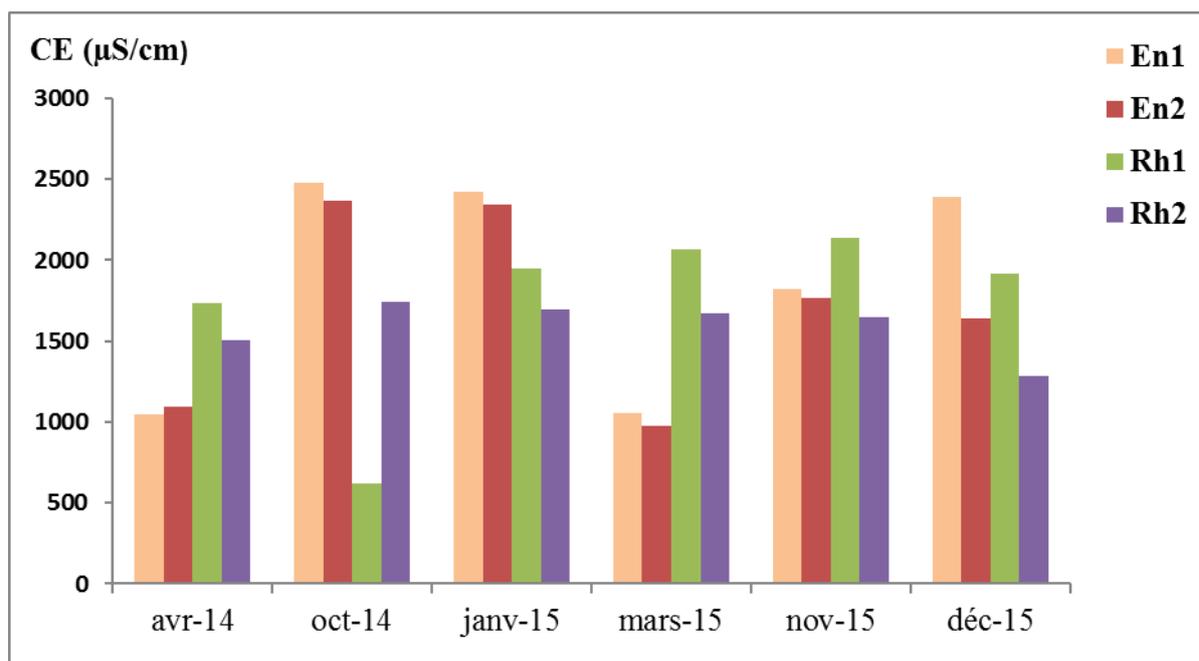
D'après nos résultats, la station avale est dans la norme décrite par l'OMS (5-7mg/l) alors que celle de l'amont présente une forme de saturation. Des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en oxygène indiquent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense (Kherief Nacereddine et al., 2018).

Dans celles du Rhumel: une diminution dans la quantité d'oxygène dissous, en amont au mois d'Octobre de l'année 2014 (10,64 mg/l), et de (6,22 mg/l) en aval au mois Janvier de l'année 2015.

La présence d'oxygène dissous dans l'eau est indispensable au développement de la vie animale (en particulier pour les poissons) que végétale (la photosynthèse). D'après les résultats obtenus des deux années, les eaux d'oued Rhumel sont plus polluées que celle de d'oued Endja.

#### 4.1.4. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit une salinité élevée (Rodier *et al.*, 2005). Ainsi, la conductivité d'une eau est un indicateur de changement de la composition en matériaux et leur concentration globale. Elle est proportionnelle à la quantité de sels ionisables dissous (Nisbet et Verneau, 1970).



**Figure 14** : Variations spatio-temporelles de la conductivité électrique des eaux d'oued Endja et celles du Rhumel durant les mois de prélèvement des années 2014 et 2015.

Les valeurs de la conductivité (Fig14) indiquent une minéralisation très élevée dépassant 1000  $\mu\text{S/cm}$  dans la plus part des relevés. Un pic de 2480  $\mu\text{S/cm}$  est enregistré en octobre 2014 à la station amont d'oued Endja révélant, selon (Rodier *et al.*, 2009), une minéralisation excessive. En revanche deux relevés ont enregistrés des valeurs plus basses : (618  $\mu\text{S/cm}$ ) en

mois d'octobre de l'année 2014 dans la station amont du Rhumel et (9741 $\mu$ S/cm) en mois d'Octobre de la année2015 à la station amont d'oued Endja.

**Tableau 11** : Grille de la qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Masson, 1988).

Conductivité électrique ( $\mu$ S/cm)	Qualité	Classe
CE < 400	Bonne	1A
400 < CE > 750	Bonne	1B
750 < CE > 1500	Passable	2
1500 < CE > 3000	Médiocre	3

En comparant nos résultats par ceux de la grille de la qualité des eaux de rivières (Masson, 1988), nous pouvons dire queles eaux des deux cours d'eau sont de qualité médiocre (Classe 3) (Tab.11).

## 4.2. Analyse biotique

### 4. 2.1. Analyse qualitative

#### 4.2.1.1. Inventaire et variation spatiale de la composition phytoplanctonique

D'après le résultat de recensement présenté sur le (Tab12) : les 34 espèces déterminées dans la zone d'étude (oued Rhumel et Endja), appartiennent à 24 familles : les familles les plus abondantes sont : Bacillariaceae et Naviculaceaeavec 3 espèces, suite par la famille de Chlorellaceae, Oedogoniaceae, Cryptomonadaceae, Oscillatoriaceae, Fragilariaceae, Surirellaceae, avec 2 espèces et les autres familles avec 1 seule espèce.

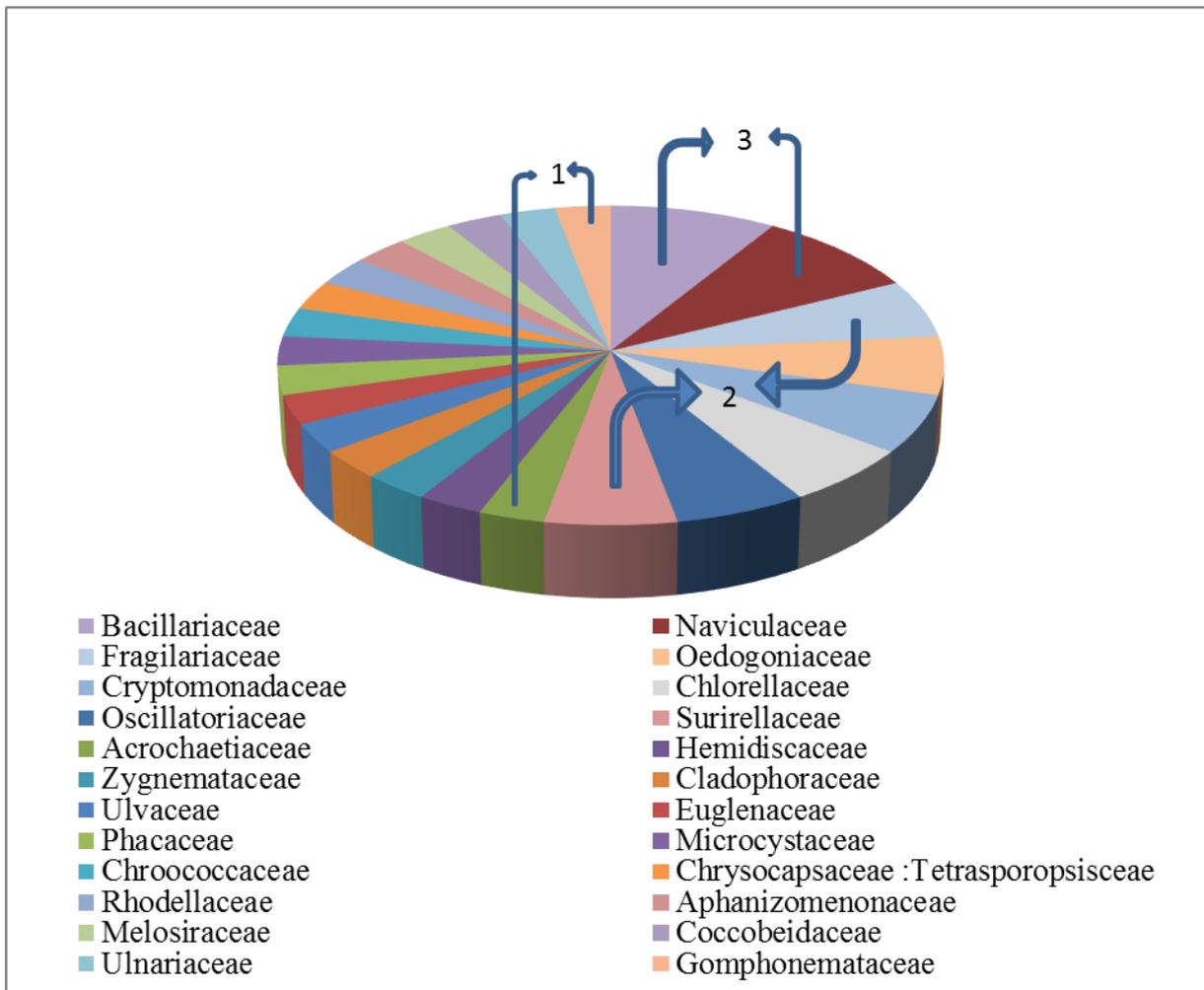
L'inventaire phytoplanctonique, révèle la présence des Oscillatoriaceae et Chroococcaceae caractérisées par des espèces qui développent des toxines ce qui explique l'état de pollution de ces eaux.

**Tableau 12 :** Inventaire d'algues par famille des eaux d'oued Rhumel et d'Endja durant les deux années 2014 et 2015.

Famille	Genre et espèce	Caractère	
<b>Chlorellaceae</b>	<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Chlorella sp</i>	Unicellulaire ou Pluricellulaire	
<b>Cladophoraceae</b>	<i>Cladophora slide</i>		
<b>Ulvaceae</b>	<i>Enteromorpha flexuosa</i>		
<b>Oedogoniaceae</b>	<i>Oedogonuin sp</i> <i>Bulbochaeta sp</i>		
<b>Cryptomonadaceae</b>	<i>Cryptomonas ovata</i> <i>Cryptomonas sp</i>	Unicellulaire	
<b>Euglenaceae</b>	<i>Eugléna sp</i>	Algues microscopiques	
<b>Phacaceae</b>	<i>Lepocinclis texta.</i>		
<b>Microcystaceae</b>	<i>Microcystis aeruginosa</i>		
<b>Chroococcaceae</b>	<i>Chroococcus sp</i>		
<b>Oscillatoriaceae</b>	<i>Oscillatoria limosa</i> <i>Oscillatoria sp</i>		
<b>Chrysocapsaceae : Tetrasporopsisceae</b>	<i>Tetrasporopsis perforata</i>		
<b>Rhodellaceae</b>	<i>Rhodella reticulata</i>		
<b>Aphanizomenonaceae</b>	<i>Anabaenopsis circularis</i>		
<b>Melosiraceae</b>	<i>Melosira varians</i>		
<b>Cocconeidaceae</b>	<i>Cocconeis placentula</i>		
<b>Ulnariaceae</b>	<i>Ulnaria ulna</i>		Algues microscopiques
<b>Gomphonemataceae</b>	<i>Gomphonema truncatum</i>		
<b>Surirellaceae</b>	<i>Surirella fastuosa</i>		
	<i>Surirella tenera</i>		
<b>Bacillariaceae</b>	<i>Nitzschia fonticola</i>		
	<i>Nitzschia palea</i>		
	<i>Tryblionella constricta</i>		
<b>Naviculaceae</b>	<i>Navicula lanceolata</i>		
	<i>Navicula palea</i>		
	<i>Navicula sp</i>		
<b>Fragilariaceae</b>	<i>Fragilaria capucina</i>	Algues microscopiques	
	<i>Fragilaria pinnata</i>		
<b>Acrochaetiaceae</b>	<i>Audouniella sp</i>		
<b>Hemidiscaceae</b>	<i>Actinocyclus octonarius</i>		
<b>Zygnemataceae</b>	<i>Mougeotia sp</i>		

4.2.1.2. Richesse phytoplanctonique totale

D’après l’analyse qualitative des eaux, nous avons pu identifier 24 familles phytoplanctoniques au cours des deux années (Fig.15). Il s’agit d’une abondance particulière partagée entre les Bacillariaceae et les Naviculaceae au premier rang suivis par les Fragilariaceae, Oedogoniaceae, Cryptomonadaceae, Chlorellaceae, Oscillatoriaceae et les Surirellaceae, alors que le reste des familles viennent au dernier rang.



**Figure 15 :** Contribution des familles d’algues dans la richesse phytoplanctonique des eaux de oued Endja et du Rhumel

#### 4.2.1.3. Inventaire et variation spatiale de la composition diatomique durant les deux années 2014 et 2015

L'inventaire diatomique dans le temps et dans l'espace a révélé que la station la plus riche est celle de l'aval d'oued Endja avec 94 taxon appartenant à 27 famille, suivie par la station amont d'oued Rhumel par 93 taxon appartenant à 28 famille, ensuite la station amont d'oued Endja avec 88 taxon appartenant à 28 famille et à la fin, la station aval d'oued Rhumel avec 31 famille qui regroupe 85 genre et espèces .

La famille la plus dominante c'est celle de Bacillariaceae avec la présence de 41 taxons entre genre et espèce, suivie par la famille Gomphonemataceae avec 23 taxons, la famille de Naviculaceae et Cymbellaceae avec 18 espèces. Les Achnanthidiaceae avec 15 espèces, et les autres familles varient entre 1 et 9 genres et espèce.

**Tableau 13 :** Inventaire diatomique des eaux des stations d'étude (Rhumel et Endja) durant les deux années 2014 et 2015.

Unités systématiques		oued Endja		oued Rhumel	
Famille	Genre et espèce	En1	En2	Rh1	Rh2
Fragilariaceae	<i>Fragilaria ulna</i>		+	+	
	<i>Fragilaria capucina</i>	+	+	+	+
	<i>Fragilaria faxiculata</i>			+	
	<i>Fragilaria sp</i>		+		+
	<i>Fragilaria exigua</i>	+	+		+
	<i>Fragilaria capucina var</i>				+
	<i>Fragilaria pinata</i>				+
	<i>Fragilaria ungeriana</i>				+
	<i>Fragilaria brevistriata</i>			+	
	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	+	+	+	+
	<i>Punctastriata lancettula</i>	+			
	<i>Synedra genus</i>			+	+
<i>Neofragilaria virescens</i>			+	+	
Cocconeidaceae	<i>Cocconeis pediculus</i>	+	+	+	
	<i>Cocconeis placentula</i>			+	+
	<i>Achnanthidium minutissimum</i>	+		+	
	<i>Achnanthes sp</i>		+		+
	<i>Achnanthes Pseudohungrica</i>	+			
	<i>Achnanthes exigua</i>		+		
	<i>Achnanthidium rivulare</i>		+	+	
	<i>Psammothidium bioretii</i>	+		+	

<b>Achnanthidiaceae</b>	<i>Eucoconies flexella</i>	+	+		
	<i>Kolbesia suchlandtii</i>	+	+		+
	<i>Achnanthidium eutrophilum</i>	+	+		
	<i>Achnanthidium deflexum</i>	+			
	<i>Eucoconeis alpestris</i>	+			
	<i>Planothidium apiculatum</i>		+		
	<i>Planthidium granum</i>	+			
	<i>Planthidium rostratum</i>		+		
	<i>Planothidium robustius</i>	+			
<b>Stauroneidaceae</b>	<i>Stauroneis sp</i>		+	+	
	<i>Fistulifera saprophila</i>	+	+		+
	<i>Stauroneis phoenicenteron</i>			+	
	<i>Craticula sp</i>				+
	<i>Craticula cuspidata</i>			+	
	<i>Craticula ambigua</i>		+	+	
	<i>Craticula molestiformis</i>			+	
	<i>Staurosira construens</i>			+	
	<i>Craticula cuspidata</i>		+	+	
<b>Naviculaceae</b>	<i>Craticula cuspidata</i>		+	+	+
	<i>Frustulia weinboldii</i>			+	
	<i>Navicula cospidata</i>		+		+
	<i>Navicula lanceolata</i>	+	+	+	
	<i>Navicula genus</i>		+	+	+
	<i>Navicula sp</i>	+	+	+	
	<i>Navicula gregaria</i>	+	+	+	+
	<i>Navicula radiosa</i>	+	+		
	<i>Navicula minima</i>		+		+
	<i>Navicula acicularis</i>		+		+
	<i>Navicula sensulata</i>		+		
	<i>Navicula pelagia</i>			+	+
	<i>Navicula cryptocephala</i>			+	+
	<i>Navicula capitatoradiata</i>			+	+
	<i>Navicula veneta</i>			+	+
	<i>Navicula riediana</i>			+	
	<i>Caloneis amphisbaena</i>		+		+
	<i>Mastogloia calcarea</i>	+	+		
<b>Catenulaceae</b>	<i>Amphora bioculata</i>		+		
	<i>Amphora ovalis</i>			+	
	<i>Amphora sp</i>			+	+
	<i>Cymbella cistula</i>	+			
	<i>Cymbella caespitosa</i>	+			
	<i>Encyonema caespitosum</i>		+	+	+
	<i>Encyonopsis microcephala</i>	+			

<b>Cymbellaceae</b>	<i>Encyonopsis subminuta</i>	+			
	<i>Placoneis placentula</i>	+			
	<i>Cymbella subleptoceros</i>				+
	<i>Encyonopsis cesatii</i>			+	
	<i>Encyonema silesiacum</i>				+
	<i>Cymbopleura laponica</i>			+	
	<i>Cymbella neocistula</i>				+
	<i>Cymbella compacta</i>				+
	<i>Cymbella sp</i>				+
	<i>Cymbella excisa var</i>				+
	<i>Cymbella timuda</i>				+
	<i>Cymbella subtruncata</i>				+
	<b>Cymbellaceae</b>	<i>Encyonema neogracile</i>			
<i>Placoneis placentula</i>				+	+
<b>Gomphonemataceae</b>	<i>Gomphonema gracile</i>	+	+		
	<i>Gomphonema micropus</i>	+	+		+
	<i>Gomphonema sphaerophorum</i>	+	+	+	+
	<i>Gomphonema venusta</i>	+			
	<i>Geissleria thingvallae</i>	+	+		
	<i>Gomphonema constrictum</i>		+		
	<i>Gomphonema sp</i>	+	+	+	
	<i>Gomphonema truncatum</i>	+	+	+	
	<i>Gomphonema minuta</i>	+			
	<i>Gomphonema parvulum</i>	+	+	+	+
	<i>Gomphonema pseudoaugur</i>			+	
	<i>Gomphonema minutum</i>			+	
	<i>Gomphonitzschia urgeri</i>		+		
	<i>Gomphonema affine</i>	+		+	
	<i>Gomphonema augur</i>			+	+
	<i>Gomphonema innocens</i>	+		+	+
	<i>Gomphonema-cymbelliclinum</i>	+			+
	<i>Gomphonema intricatum</i>			+	+
	<i>Gomphonema acuminatum</i>		+	+	
	<i>Gomphonema angustatum</i>			+	+
<i>Gomphonema americobtusatum</i>	+	+	+		
<i>Gomphonema laticollum</i>	+				
<i>Gomphonema herculeana</i>		+			
	<i>Nitzschia agnita</i>		+		
	<i>Nitzschia filiformis</i>		+		
	<i>Nitzschia fonticola</i>	+	+	+	+
	<i>Nitzschia frusulum</i>	+	+		
	<i>Nitzschia perminuta</i>	+	+		+
	<i>Nitzschia pusilla</i>	+	+		

<b>Bacillariaceae</b>	<i>Nitzschia tubicola</i>	+		+	
	<i>Nitzschia tryblionella</i>	+		+	+
	<i>Nitzschia sp</i>	+	+	+	
	<i>Bacillaria paxillifera</i>		+		
	<i>Tryblionella calida</i>	+		+	+
	<i>Tryblionella constricta</i>	+		+	
	<i>Tryblionella gracilis</i>	+			
	<i>Bacillaria sp</i>		+	+	+
	<i>Nitzschia acicularis</i>		+		
	<i>Nitzschia brebissonii</i>		+		
	<i>Nitzschia genus</i>	+	+	+	
<b>Bacillariaceae</b>	<i>Nitzschia palea</i>	+	+	+	+
	<i>Nitzschia scabra</i>		+		
	<i>Nitzschia sp</i>		+		+
	<i>Nitzschia linearis</i>	+			
	<i>Nitzschia gracilis</i>		+		
	<i>Nitzschia arctica</i>	+			
	<i>Nitzschia heufleriana</i>	+	+	+	
	<i>Nitzschia nana</i>			+	
	<i>Nitzschia archibaldii</i>			+	
	<i>Nitzschia capitellata</i>	+		+	+
	<i>Nitzschia recta</i>	+		+	
	<i>Nitzschia hungarica</i>	+		+	+
	<i>Nitzschia intermedia</i>	+		+	
	<i>Nitzschia siliqua</i>			+	
	<i>Nitzschia dubia</i>	+		+	
	<i>Nitzschia elegantula</i>	+		+	
	<i>Nitzschia sociabilis</i>	+			
	<i>Nitzschia inconspicua</i>		+		
	<i>Nitzschia sociabilis</i>	+			
	<i>Nitzschia communis</i>		+		
	<i>Nitzschia palea var</i>		+	+	+
	<i>Nitzschia desertorum</i>		+		
	<i>Nitzschia radricula</i>		+		
<i>Stenopterobia densestriata</i>	+				
<b>Surirellaceae</b>	<i>Surirella ovata</i>		+		
	<i>Surirella fastuosa</i>	+	+		
	<i>Surirella ovalis</i>		+		
	<i>Cymatopleura solea</i>	+			+
	<i>Stenopterobia delicatissima</i>	+	+	+	
	<i>Surirella ovalis</i>		+	+	+
	<i>Surirella brebissonii</i>	+	+		
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	+			+	

Stephanodiscaceae	<i>Melosira varians</i>				+
	<i>Stephanodiscus parvus</i>		+		+
Diploneidaceae	<i>Diploneis oculata</i>		+		
Chroococcaceae	<i>Chroococcus sp</i>	+	+	+	+
	<i>Chroococcus turgidus</i>			+	+
Oscillatoriaceae	<i>Oxillatoria sp</i>		+	+	+
Chaetophoraceae	<i>Stigeoclonium sp</i>			+	
Microsporaceae	<i>Microspora sp</i>		+	+	
Zygnematophyceae	<i>Zygnema sp</i>			+	
Vaucheriaceae	<i>Tribonima sp</i>		+	+	
Rhodellaceae	<i>Chroodactylon sp</i>			+	
Entomoneidaceae	<i>Entomoneis sulcata</i>	+			
Brachysiraceae	<i>Nupela impexiformis</i>		+		
Triceratiaceae	<i>Lampriscus shadboltianum</i>	+			
Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira eccentrica</i>		+		
	<i>Thalassiosira oestrupii</i>		+		
Merismopediaceae	<i>Merismopedia sp</i>		+		
Coelosphaeriaceae	<i>Coelomoron sp</i>	+			
Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus obtusus</i>	+			
Cryptomonadaceae	<i>Cryptomonas ovata</i>	+			+
Acrochaetiaceae	<i>Audouinella sp</i>			+	
Hygroiideae	<i>Actinella species</i>				+
Pinnulariaceae	<i>Diatomella parva</i>				+
Diadesmidaceae	<i>Diadesmis confervacea</i>			+	
Skeletonemaceae	<i>Detonula pumila</i>				+
Neidiaceae	<i>Neidium densestriatum</i>				+
Melosiraceae	<i>Melosira varians</i>				+
Nostocaceae	<i>Anabaenopsis airicularis</i>			+	
Zegnemataceae	<i>Mougeotia sp</i>				+
Tabellariaceae	<i>Diatoma vulgaris</i>		+		
Microcystaceae	<i>Gloeocapsa sp</i>	+		+	+
Chlorellaceae	<i>Chlorella sp</i>			+	+
	<i>Chlorella vulgaris</i>	+	+	+	
Desmidiaceae	<i>Cosmarium sp</i>		+		
	<i>Cosmarium vexatum</i>	+			
	<i>Staurastrum sp</i>	+			
Ulnariaceae	<i>Ulnaria ulna</i>	+	+		+
	<i>Ulnaria contracta</i>		+		
Anomooneidaceae	<i>Adlafia sp</i>	+	+		
Achnanthaceae	<i>Achnanthes sp</i>	+			+
	<i>Lemnicola hungarica</i>			+	+
	<i>Psammothidium bioretii</i>				+
	<i>Planothidium lanceolatum</i>			+	+

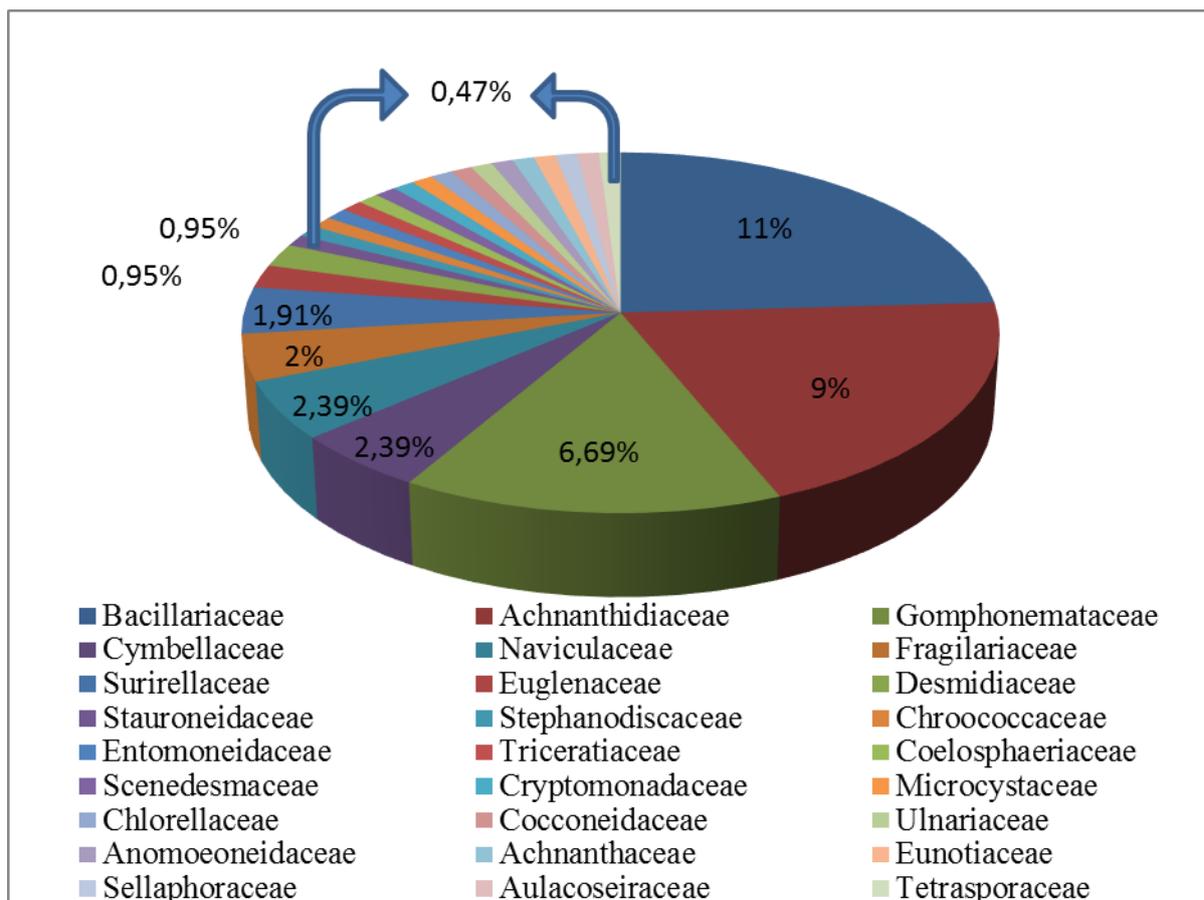
<b>Eunotiaceae</b>	<i>Eunotia subarcuatoides</i>	+			
	<i>Eunotia incisa</i>			+	+
<b>Sellaphoraceae</b>	<i>Fallacia monoculata</i>		+		
	<i>Fallacia pygmaea</i>	+			+
	<i>Sellaphora pupula</i>			+	+
<b>Aulacoseiraceae</b>	<i>Aulacoseira granulate</i>			+	
	<i>Aulacoseira italica</i>	+			
<b>Tetrasporaceae</b>	<i>Tetraspora sp</i>	+			
<b>Chrysocapsaceae : Tetrasporopsisceae</b>	<i>Tetrasporopsis perforata</i>				+
<b>Chaetophoraceae</b>	<i>Bulbochaete sp</i>				+
<b>Chaetophoraceae</b>	<i>Pleurococcus sp</i>		+		
<b>Euglenaceae</b>	<i>Eugléna sp</i>	+		+	+
	<i>Phacus sp</i>	+			+
<b>Cavinulaceae</b>	<i>Cavinula sp</i>		+	+	
	<i>Cavinula cocconeiformies</i>		+	+	+
<b>Pseudodanabaenaceae</b>	<i>Spirulina subtilissima</i>		+		+
<b>Total 52</b>	<b>209</b>	<b>88</b>	<b>94</b>	<b>93</b>	<b>85</b>

#### ❖ Richesse phytoplanctonique d'oued Endja

##### ➤ Endja amont

Dans cette station, 18 familles ont été identifiées. La famille la plus dominante c'est celle des Bacillariaceae avec un pourcentage de 11 %, suivie par la famille des Achnanthesiaceae avec 9%, les Gomphonemataceae avec 6,69 %, les Cymbellaceae et Naviculaceae avec 2,39%, les Fragilariaceae avec 2% , les Surirellaceae avec 1,91 %, les Euglenaceae et Desmidiaceae avec 0,95%. Au dernier classement avec un pourcentage de 0,47% viennent les familles : des Stauroneidaceae, Stephanodiscaceae, Chroococcaceae, Entomoneidaceae, Triceratiaceae, Coelosphaeriaceae, Scenedesmaceae, Cryptomonadaceae et Microcystaceae.

La station est marquée par la présence de *Fistulifera Saprophila* indicatrices des milieux riches en matières organiques.



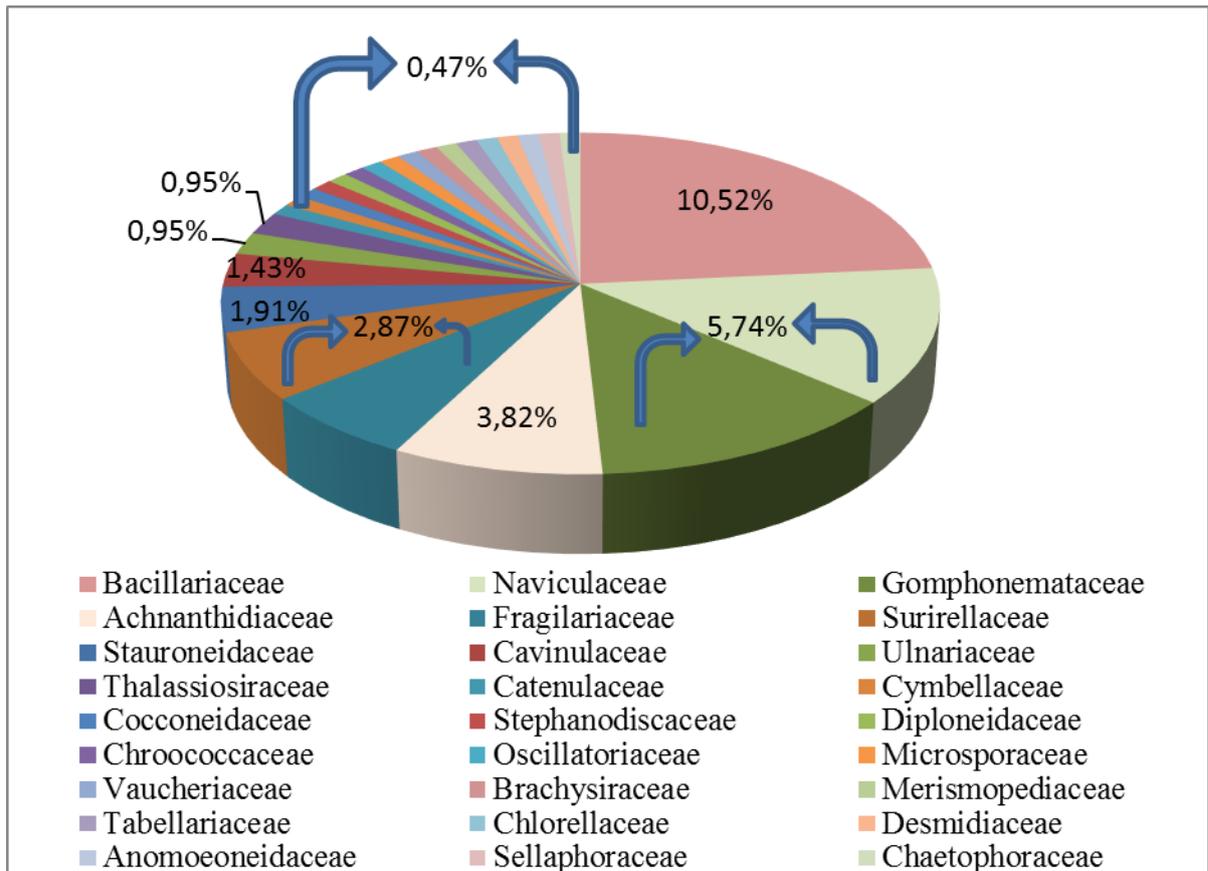
**Figure 16 :** Contribution des familles diatomiques dans la richesse phytoplanctonique des eaux d’oued Endja amont.

➤ **Endja aval**

La (Fig17), montre que cette station est caractérisée par un mélange d’algue diatomique, elle en globe au total 24 famille. La famille la plus abondante c’est celle des Bacillariaceae avec un pourcentage de 10,52 %, Les famille des Naviculaceae et Gomphonemataceae avec 5,74%,suivie par les Achnanthidiaceae avec 3,82%, les Fragilariaceae et surirellaceae avec 2,87%, la Stauroneidaceae avec 1,91%, la Cavinulaceae avec 1,43%, les Ulnariaceae et thalassiosiraceae avec 0,95% et dans la dernière position les autres familles avec 0,47% pour chaque famille.

Elle est caractérisée aussi par la présence des espèces indicatrices tell que :

- *Pseudostaurosira brevistriata*, qui tolère également un certain niveau de trophée ;
- La présence de *Nitzschia frustilum*, caractéristique des affectionne d’oxygénation.



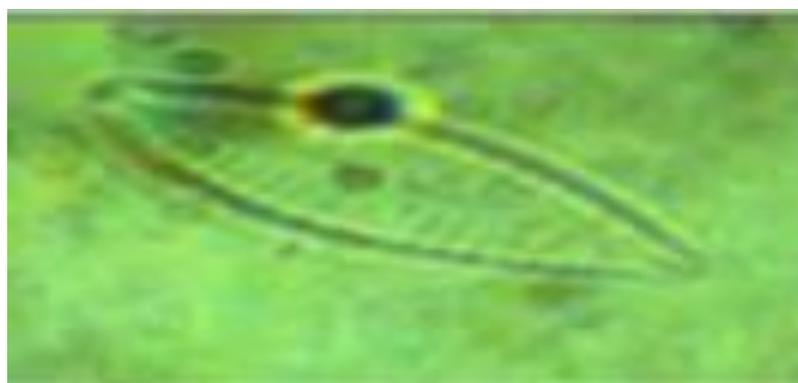
**Figure 17 :** Contribution des familles diatomiques dans la richesse phytoplanctonique des eaux d’oued Endja aval.



**Figure 18:** *Pseudostaurosira brevistriata*.



**Figure 19:** *Navicula* sp.



**Figure 20:** *Gomphonema* sp.



**Figure 21 :** *Nitsch frusulum*.



**Figure 22:** *Ulnaria ulna* .



**Figure 23 :** *Nitzsch fonticola*.

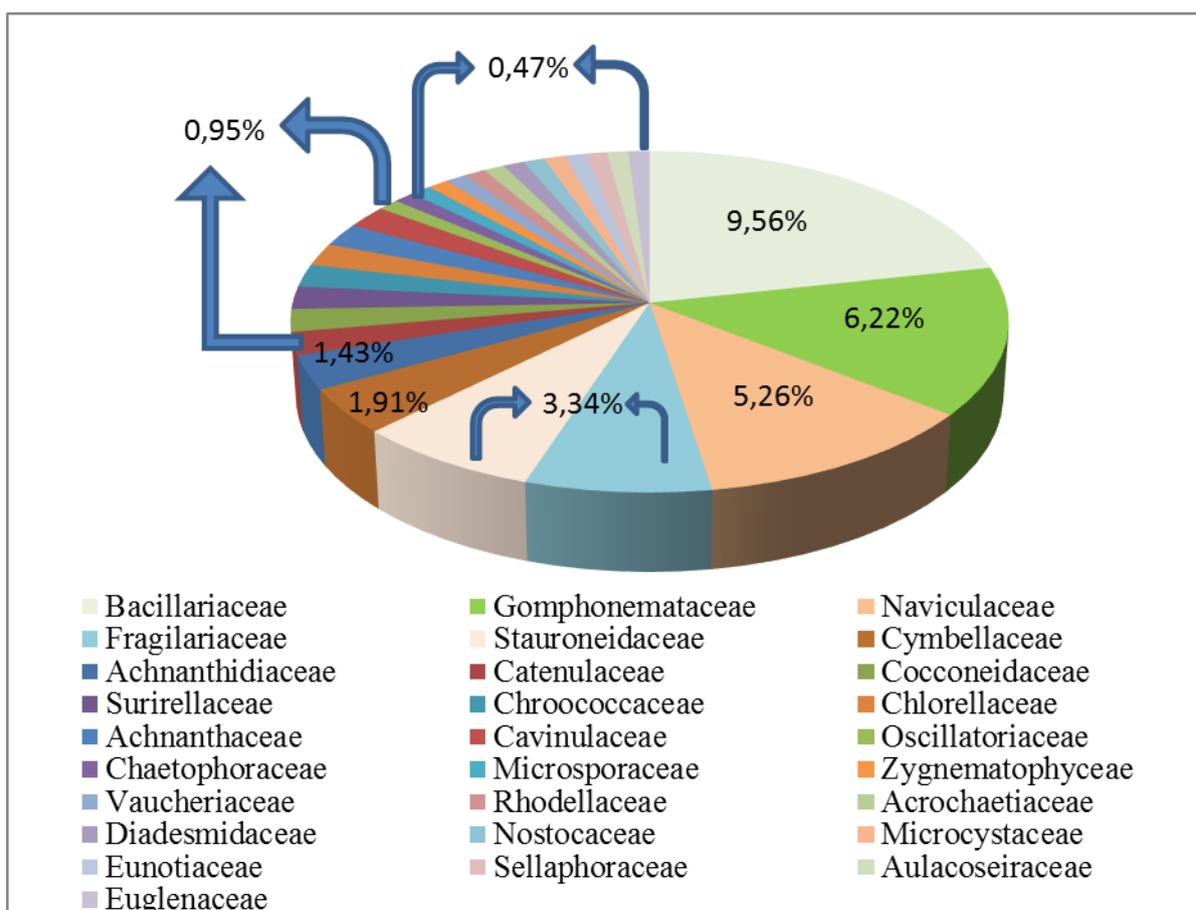
#### ❖ Richesse phytoplanctonique d'oued Rhumel

##### ➤ Rhumel amont

Pour la station amont, l'analyse diatomique, montre la présence de 21 familles au total, la famille la plus dominante est celle des Bacillariaceae et les Gomphonemataceae respectivement avec le pourcentage 9,56 et 6,22%, les Naviculaceae, avec 5,26 %, Fragilariaceae et Stauroneidaceae avec 3,34%, le pourcentage de 1,91% est présenté par les Cymbellaceae, et les autres familles varient entre 1,43 et 0,47%.

Dans cette station il ya des espèces tolérantes à différents niveaux de pollution et plus fréquentes dans les eaux peu chargées en matières organiques et moyennement eutrophies telle que *Nitzschia fonticola*.

Les genres *Oxilatoria* sont bien connus par leur prolifération potentiellement toxique en eau douce (Huynh et Serdia, 2011).

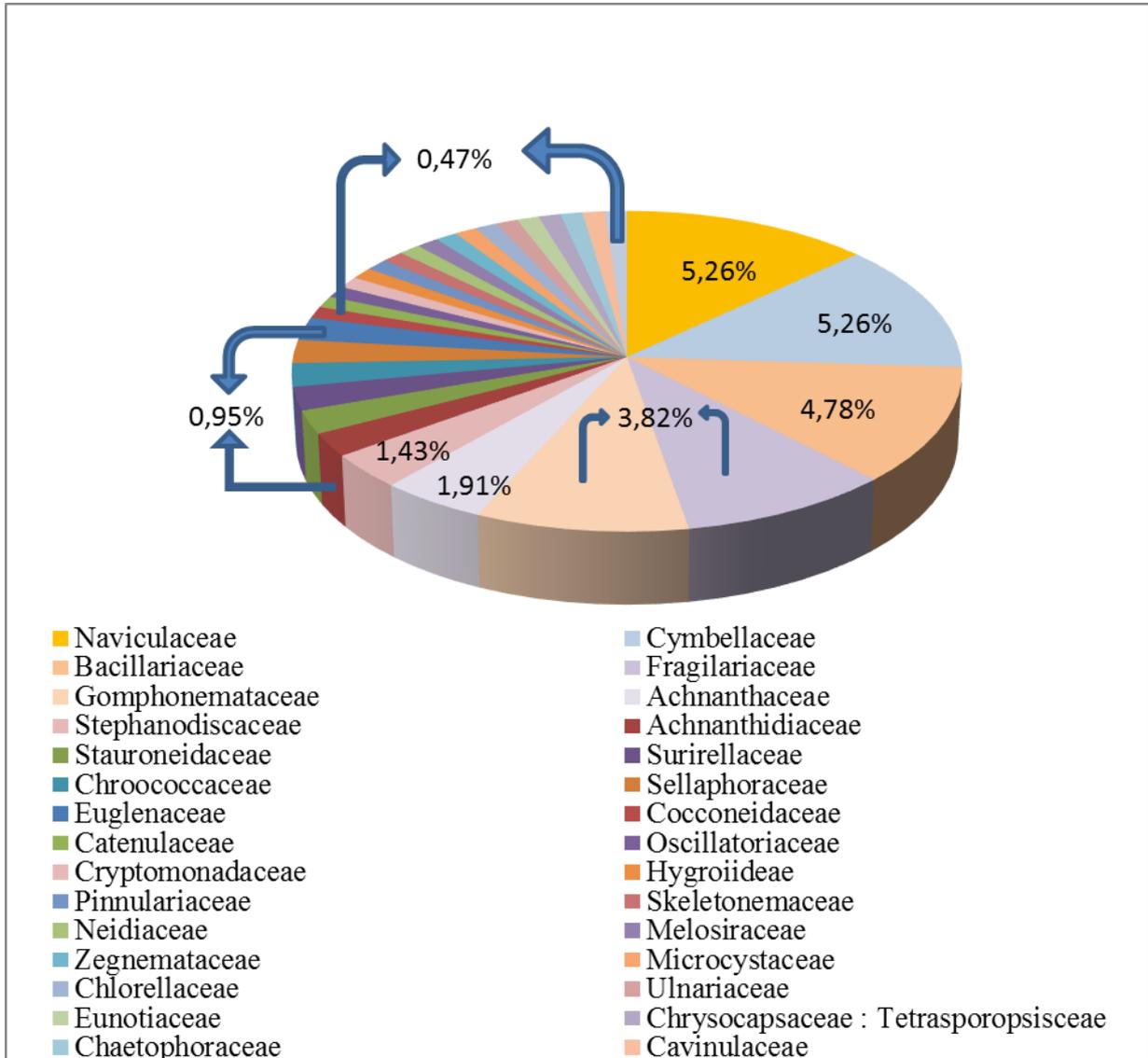


**Figure 24 :** Contribution des familles diatomiques dans la richesse phytoplanctonique des eaux d’Oued Rhumel amont.

➤ **Rhumel aval**

Dans cette station, 30 familles ont été identifiées., les Naviculaceae et Cymbellaceae viennent en première position avec le plus grand pourcentage 5,26 %, le pourcentage 4,78% est donné par les Bacillariaceae, suivi par les deux familles de Fragilariaceae et Gomphonemataceae (3,82%), ensuite 1,91% pour les Achnantheaceae, 1,43% pour les Stauroneidaceae, alors que les autres familles avec des pourcentages les plus bas, variant entre (0,47-0,95%).

*Navicula gregaria*, qui tolère également la matière organique et indique une pollution moyenne. Elle est en général un bon indicateur d'eutrophisation.



**Figure 25 :** Contribution des familles diatomiques dans la richesse phytoplanktonique des eaux d'oued Rhumel aval.



Figure 26 : *Oscillatoria* sp.

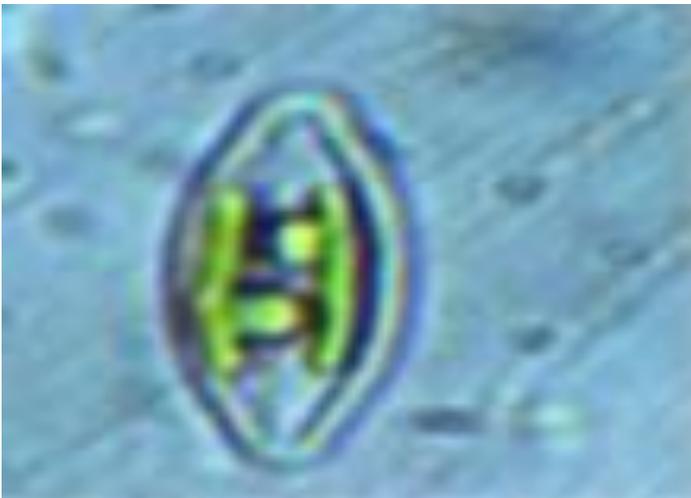


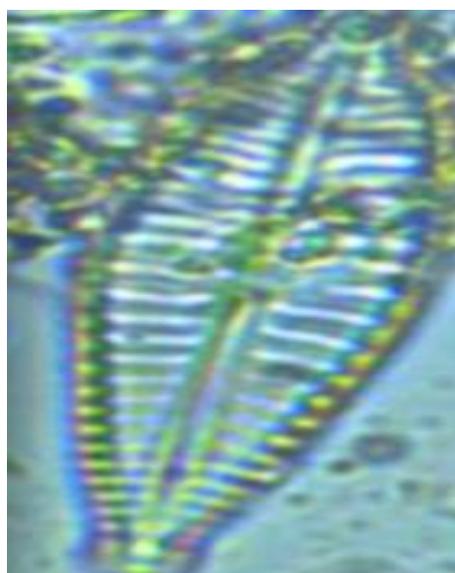
Figure 27 : *Navicula* genus.



Figure 28 : *Navicula veneta*.



**Figure 29:** *Navicula gregaria*.



**Figure 30 :** *Gomphonema sphaerophorum*.



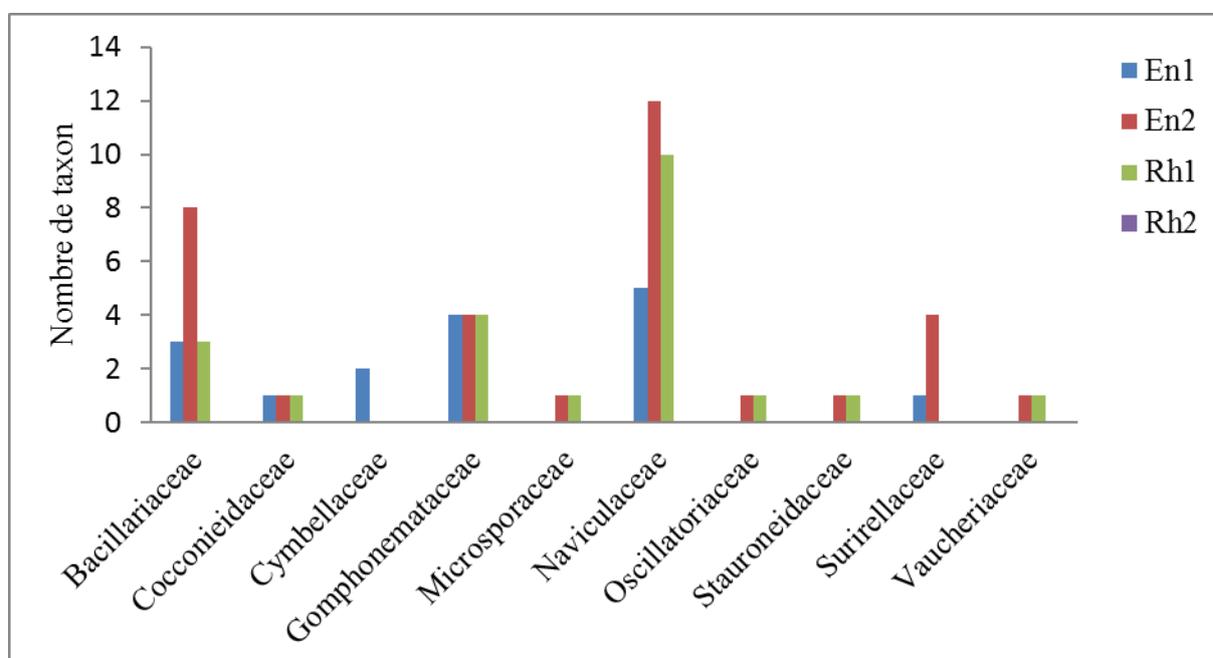
**Figure 31 :** *Nitzsch palea*.

## 4.2.2. Diversité phytoplanctonique

### 4.2.2.1. Diversité phytoplanctonique de l'année 2014

Selon la (Fig 32), présentant la variabilité des diversités stationnelles durant les prélèvements réalisées au cours de l'année 2014.

L'année 2014, comptabilise 10 familles phytoplanctoniques: Bacillariaceae, Cocconieidaceae, Cymbellaceae, Gomphonemataceae, Microsporaceae, Naviculaceae, Oscillatoriaceae, Stauroneidaceae, Surirellaceae et Vaucheriaceae. Dans les stations étudiées, les Naviculaceae ont enregistré la plus forte diversité phytoplanctonique respectivement avec 12 et 5 taxons, suivis par les Bacillariaceae, les Gomphonemataceae et les Surirellaceae.



**Figure 32 :** Variabilité spatio-temporelle de la diversité phytoplanctonique durant les prélèvements de l'année 2014.

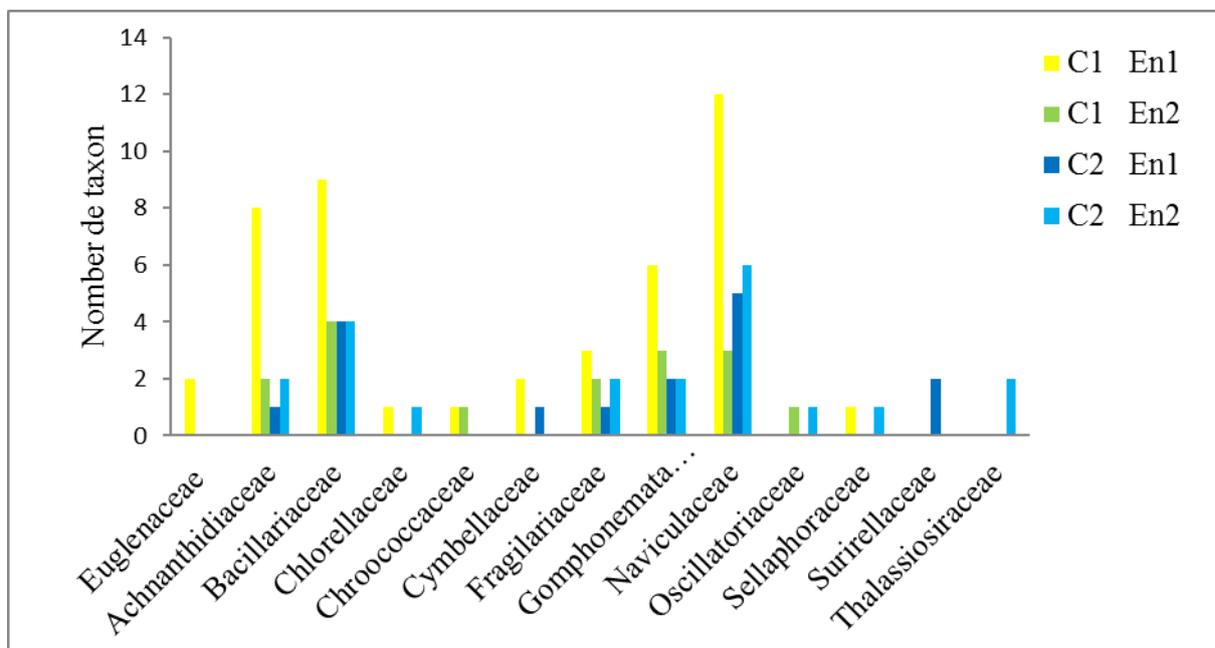
### 4.2.2.2. Diversité phytoplanctonique de l'année 2015

- **Au niveau d'oued Endja**

Selon la (Fig 33), présentant la variabilité des diversités stationnelles durant les 4 prélèvements réalisées au cours de l'année 2015 à oued Endja.

L'année 2015, comptabilise 13 familles phytoplanctoniques au total : Euglenaceae, Achnanthesiaceae, Bacillariaceae, Chlorellaceae, Chroococcaceae, Cymbellaceae, Fragilariaceae,

Gomphonemataceae, Naviculaceae, Oscillatoriaceae, Sellaphoraceae, Surirellaceae et Thalassiosiraceae. Pendant les 2 campagnes réalisées pour chaque station, les Naviculaceae ont enregistré la plus forte diversité phytoplanctonique respectivement avec 12 et 6 taxons sans oublier de mentionné l'apparition occasionnelle de quelques familles qui contribuent fort dans la diversité stationnelle.

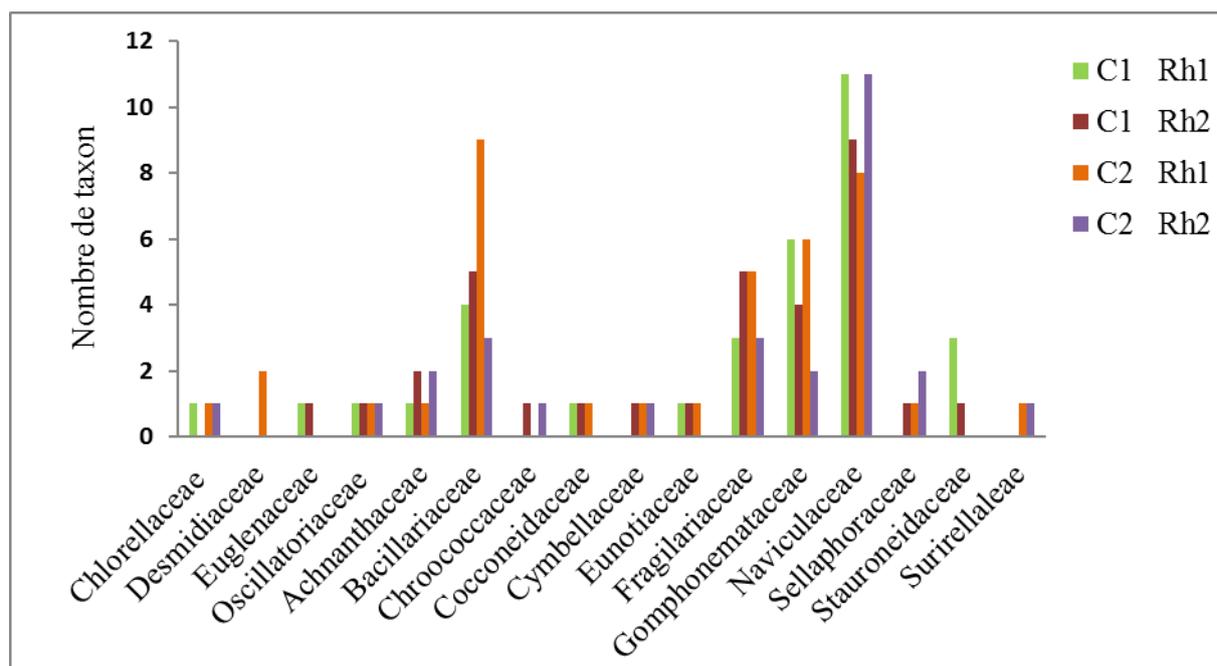


**Figure 33 :** Variabilité spatio-temporelle de la diversité phytoplanctonique d'oued Endja durant les prélèvements du 2015.

- **Au niveau d'oued Rhumel**

Selon la (Fig 34), présentant la variabilité des diversités stationnelles durant les 4 stations de prélèvement réalisées au cours de l'année 2015 à oued Rhumel.

Cette station, comptabilise 16 familles phytoplanctoniques au total durant l'année 2015 : Chlorellaceae, Euglenaceae, Eunotiaceae, Bacillariaceae, Chroococcaceae, Cymbellaceae, Fragilariaceae, Gomphonemataceae, Naviculaceae, Oscillatoriaceae, Sellaphoraceae, Surirellaceae, Cocconeidaceae, Desmidiaceae, Chroococcaceae et Stauroneidaceae. Egalement à oued Endja, le Rumel a montré que la famille des Naviculaceae a enregistré la plus forte diversité phytoplanctonique.

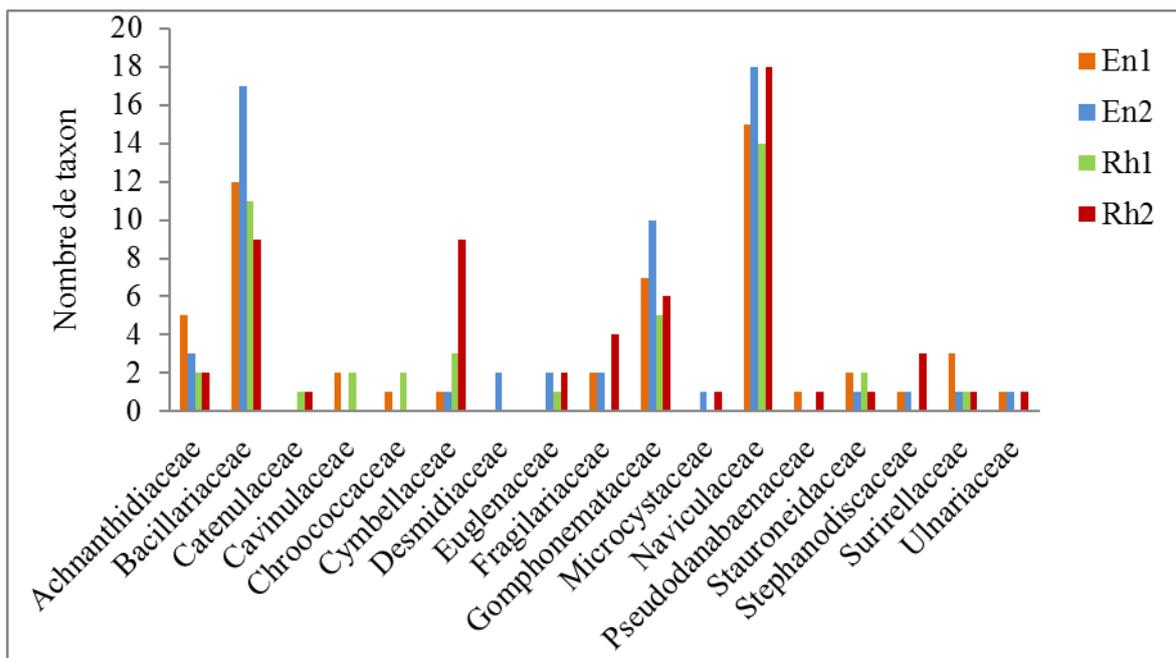


**Figure 34 :** Variabilité spatio-temporelle de la diversité phytoplanctonique d’oued Rhumel durant l’année 2015.

#### 4.2.2.3. Diversité phytoplanctonique totale des eaux d’oued Endja et celui du Rhumel pour l’année 2015.

Selon la (Fig 35), présentant la variabilité des diversités stationnelles durant les 4 stations de prélèvement réalisées au cours de l’année 2015.

Pour l’année 2015, nous avons comptabilisé 17 familles phytoplanctoniques : Euglenaceae, Achnanthidiaceae, Bacillariaceae, Cymbellaceae, Fragilariaceae, Gomphonemataceae, Naviculaceae, Stephanodiscaceae, Ulnariaceae, Surirellaceae, Desmidiaceae, Catenulaceae, Cavinulaceae, Microcystaceae, Pseudoannbaenaceae, Chroococcaceae et Stauroneidaceae. Dans les 4 stations les Naviculaceae ont enregistré la plus forte diversité phytoplanctonique respectivement avec 18 et 14 taxons avec l’apparition occasionnelle de quelques familles.



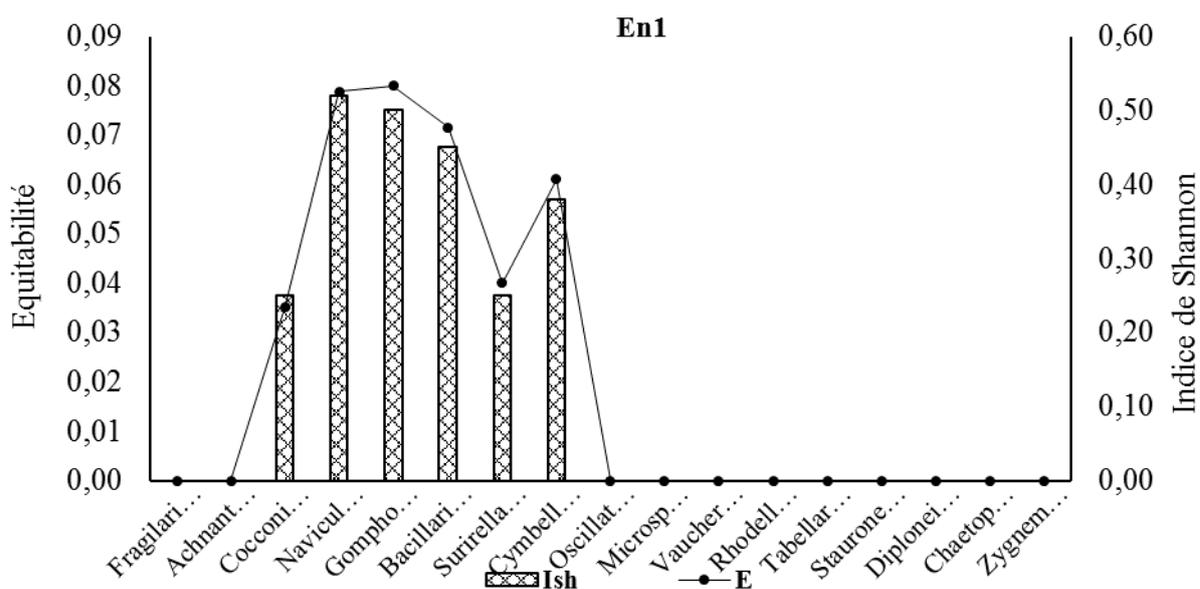
**Figure 35 :** Variabilité spatio-temporelle totale de la diversité phytoplanctonique durant les prélèvements de l’année 2015.

**4. 2.3. Analyse quantitaf**

La variabilité des indices de diversité et d’équitabilité varient d’une station à l’autre comme suit :

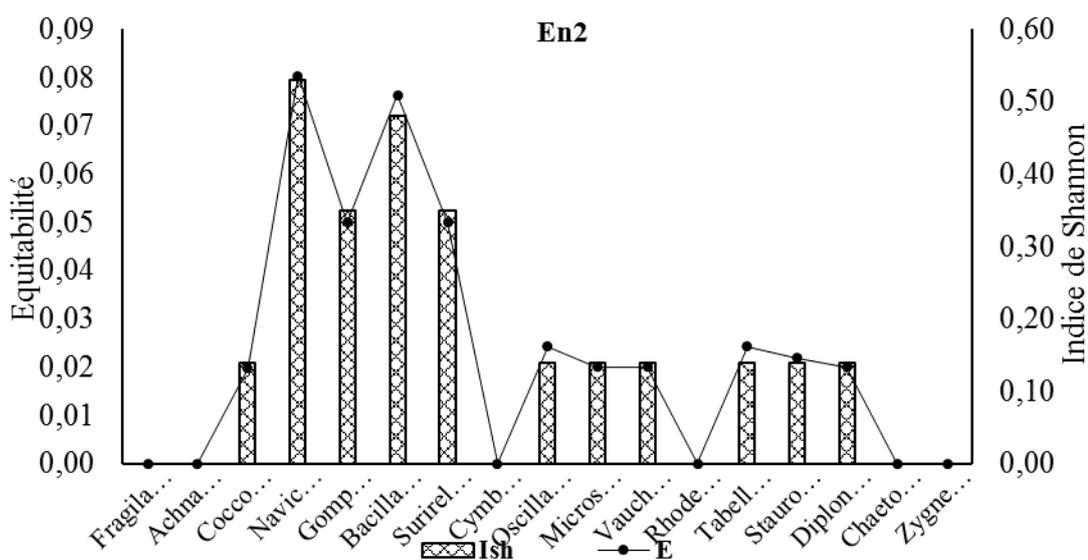
**4.2.3.1. Diversité et équitabilité pour l’année 2014**

- **La station 1 (En1)**, enregistre les indices de diversité et d’équitabilité les plus élevés pour les familles : Naviculaceae, Gomphonemataceae et Bacillariaceae respectivement (Ish = 0,52 ; E = 0,09, Ish = 0,50 ; E = 0,09 et Ish = 0,45 ; E = 0,08) durant le prélèvement du mois d’avril.



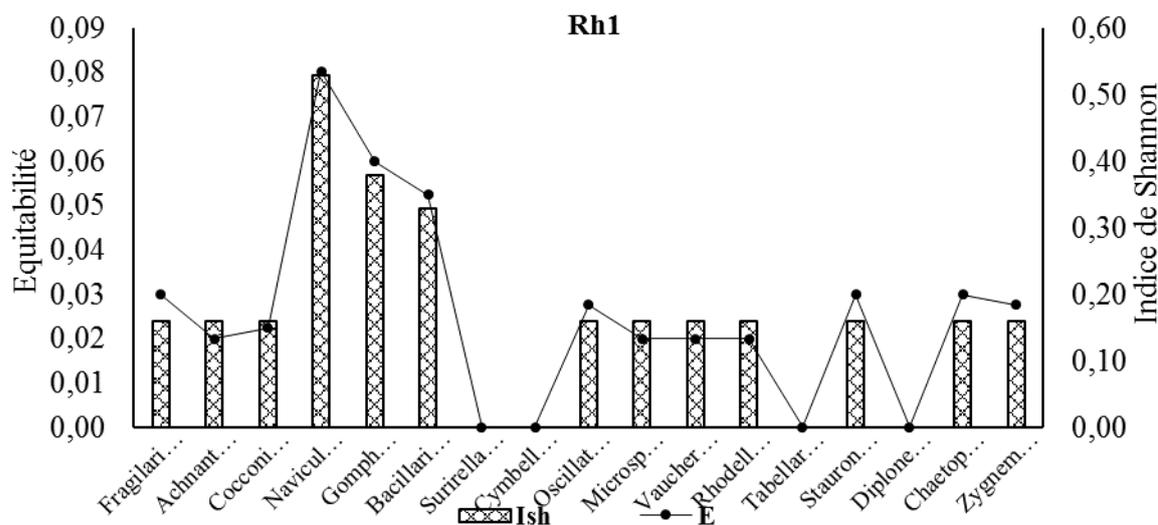
**Figure 36** : Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Endja amont durant l'année 2014.

- **La station 2 (En2)**, présente des indices de diversité et d'équitabilité plus importantes chez la famille des Naviculaceae (Ish = 0,53 ; E = 0,09) et les Bacillariaceae (Ish = 0,48 ; E = 0,07) avec une diversité non négligeable de Gomphonemataceae et Surirellaceae présentant les mêmes indices (Ish = 0,35 ; E = 0,06).



**Figure 37** : Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Endja aval durant l'année 2014.

-La station 3 (Rh3), est comptée parmi les stations les plus diversifiées comparativement avec d'autres stations spécialement le mois d'avril de l'année 2014. Les indices les plus élevés sont enregistrés chez les familles Naviculaceae (Ish = 0,53 ; E = 0,09), Gomphonemataceae (Ish = 0,38 ; E = 0,06) et Bacillariaceae (Ish = 0,33 ; E = 0,06).

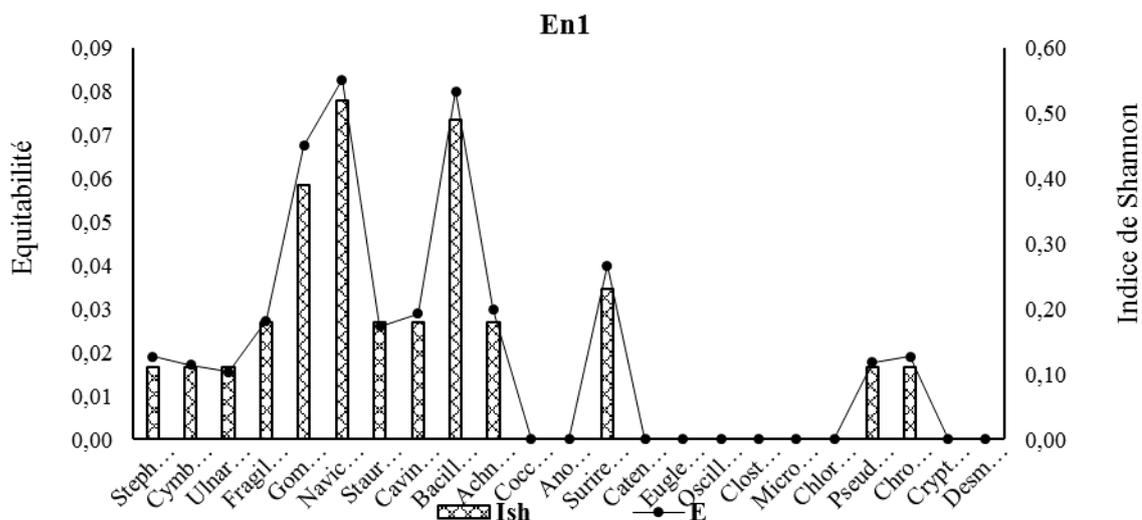


**Figure 38 :** Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Rhumel amont durant l'année 2014.

Les évolutions des indices de Shannon et d'équitabilité varient de façon différente telle que la station 2 située en aval d'oued Endja et qui est la plus diversifiée en la comparant aux autres stations, ce qui suggère que les espèces phytoplanctoniques peuvent répondre différemment aux conditions du milieu (Kherief Nacereddine, 2019).

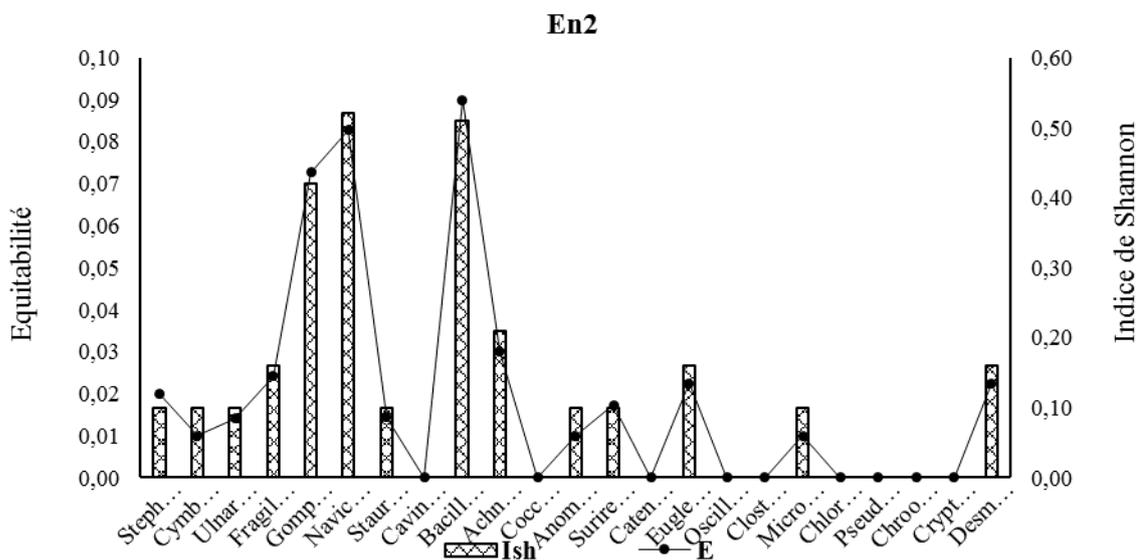
#### 4.2.3.2 Diversité et équitabilité pour l'année 2015

- la station 1 (En1), enregistre les indices les plus élevés les familles Naviculaceae (Ish = 0,51 ; E = 0,08) et progressivement Bacillariaceae (Ish = 0,48 ; E = 0,07) et Gomphonemataceae (Ish = 0,38 ; E = 0,07).



**Figure 39 :** Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Endja amont durant l'année 2015.

- la station 2 et 3 (En2 et Rh1), enregistre les indices de Shannon les plus élevés en la famille Naviculaceae (Ish = 0,52) et l'indice d'équitabilité en Bacillariaceae (E = 0,08 ; E = 0,07) en respectivement des stations.



**Figure 40 :** Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Endja aval durant l'année 2015.

- la station 4 (Rh2), est comptée parmi les stations les plus diversifiées comparativement avec d'autres stations .Les indices les plus élevées de la famille Naviculaceae (Ish = 0,52 ; E = 0,09), avec une diversité non négligeable de Cymbellaceae et Bacillariaceae de même indice de Shannon (Ish = 0,40).

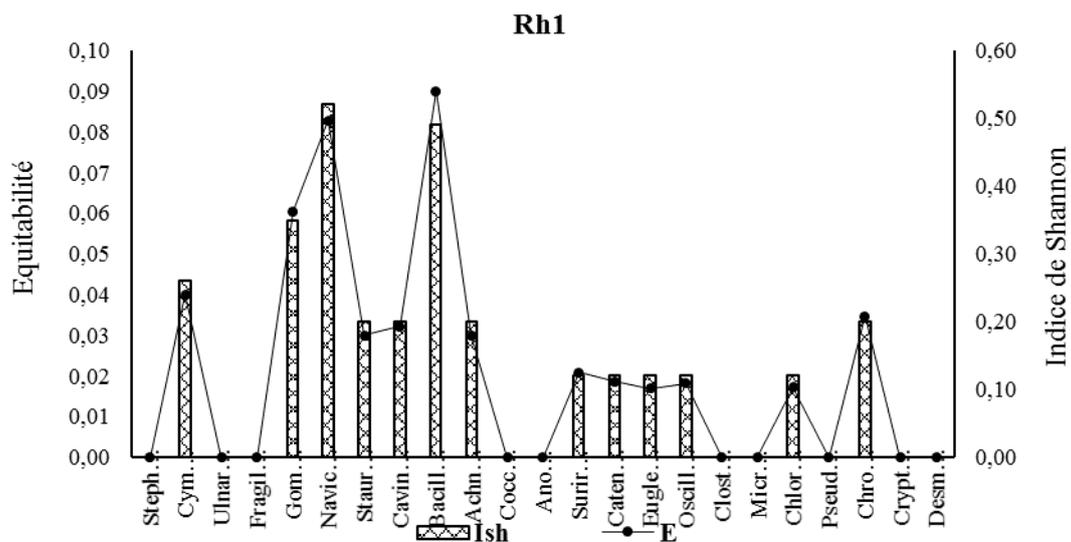


Figure 41 : Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'oued Rhumel amont durant l'année 2015.

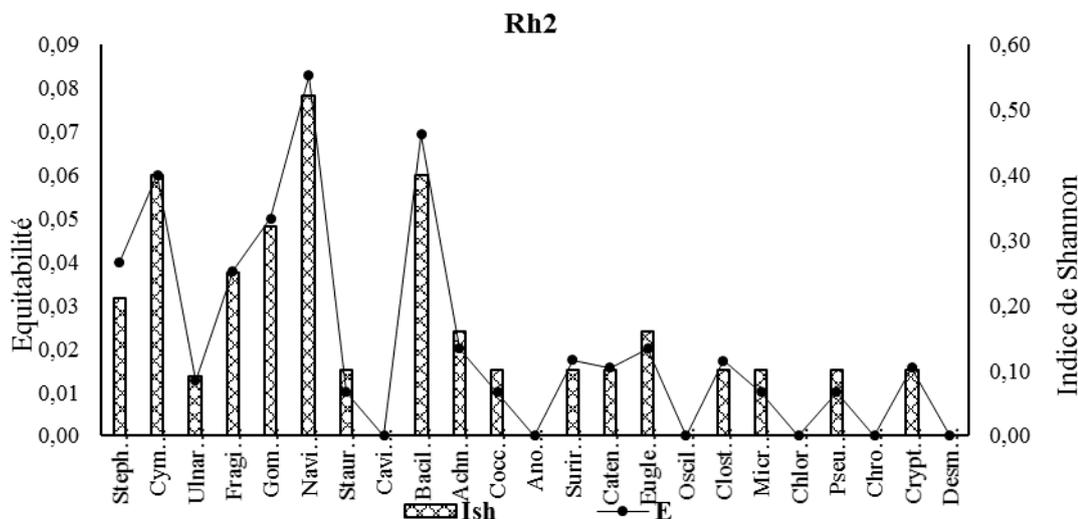
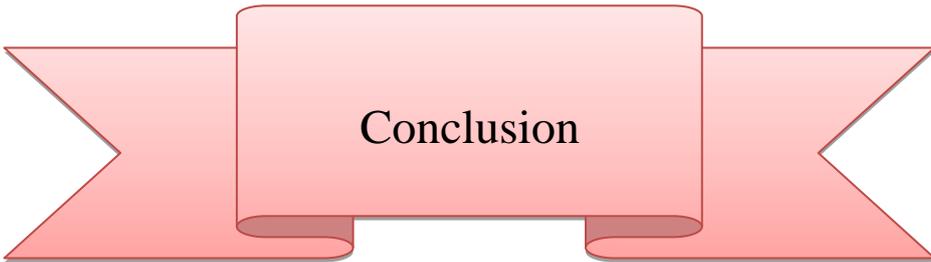


Figure 42 : Indice de diversité de Shannon (Ish) et d'équitabilité (E) à la station d'Oued Rhumel aval durant l'année 2015.

Les évolutions des indices de Shannon et d'équitabilité varient de façon différente telle que la station 2 qui est située en aval d'Oued Endjaet la station 4 qui est située en aval d'Oued Rhumel est la plus diversifiée par les phytoplanctoniques par rapport aux autres stations, ce qui suggère que les espèces phytoplanctoniques peuvent répondre différemment aux conditions du milieu.



## Conclusion

L'utilisation de variables biologiques progressivement imposée comme moyen d'apprécier la qualité globale des eaux des écosystèmes aquatiques présentent une complémentarité par rapport aux variables physico- chimiques.

Dans ce contexte, 4 paramètres physiques ont été mesurés associés à une analyse qualitative et quantitative du peuplement phytoplanctonique. Pour réaliser ce travail, nous avons travaillé sur des données collectées durant les années 2014 et 2015.

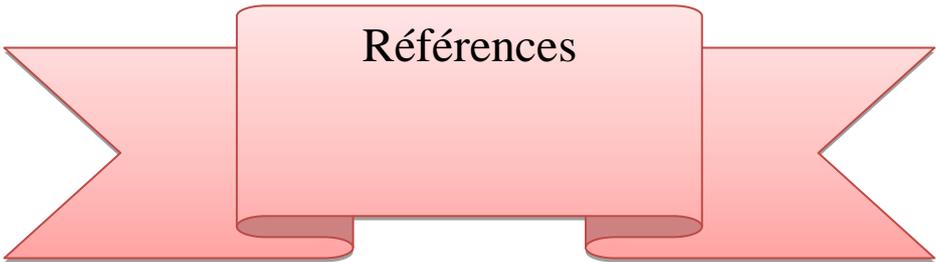
Sur le plan physico-chimique. Les variations de la température de l'eau se réchauffe de l'amont vers l'aval. Le pH de l'eau demeure plutôt alcalin. Les valeurs les plus alcalines sont attribuées à oued Endja. Cette alcalinité favorise la productivité du phytoplancton. Les valeurs de l'oxygène dissous montrent que l'eau des deux oueds est bien oxygénée. Les valeurs de la conductivité indiquent une minéralisation très élevée révélant, une minéralisation excessive.

L'inventaire phytoplanctonique a révélé la présence de 34 espèces appartenant à 24 familles. Oued Rhumel présente une richesse phytoplanctonique plus élevée que celle d'oued Endja.

L'analyse des diatomées montre, une richesse floristique importante sur l'ensemble des stations étudiées. Au total, 209 unités systématiques, réparties en 52 familles. Les taxons, les plus abondants sont : *Navicula*, *Nitzschia* et *Gomphonema*.

- le genre *Navicula* caractérise un milieu très sévèrement contaminé par la matière organique. La famille des Naviculaceae caractérise les milieux eutrophes
- le genre *Nitzschia* préfère des eaux très fortement minéralisées montrant des signes dystrophiques et est très tolérante à la pollution organique ;
- et l'espèce *Nitzschia palea* est considérée comme l'une des meilleures indicatrices de la pollution ;
- le genre *Gomphonema* reflète un certain niveau de pollution organique de l'eau.

Les indices de Shannon et d'équitabilité atteignent les valeurs les plus élevées chez les familles des Bacillariaceae et des Naviculaceae.



## Références

## Références bibliographiques

### A

- ABH., 1999.** Agence du bassin hydrographique Constantinois- SeybousseMellegue. Cahiers de l'A.B.H.- C.S.M. n°02.
- A.B.H.-C.S.M 2009 .**Les cahiers de l'AgenceN°12, Qualité des eaux superficielles dans les bassins du Kebir-Rhumel, de la Seybousse et de la Medjerda- Mellegue 2004-2007, Agence de bassin hydrographique Constantinoise- Seybousse- Mellegue, Constantine.
- ANBT., 2018.** Agence Nationale des Barrages et transferts. Mila
- Afnor., 2000.** Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD)-Norme NF T90-354, p63.
- Afri-Mehennaoui, F.Z., 1998.** Contribution à l'étude physico-chimique et biologie de l'Oued Kébir-Rhumel et de ses principaux affluents. Thèse de Magister en Ecologie. Université de Constantine, 238 p.
- Amri S.,2008.** Dynamique mensuelle du phytoplancton dans le lac Oubeira et le lac Noir « Parc National EL-Kala ».thèse Magister Microbiologie Moléculaire. Université Badji Mokhtar-Annaba.94p.
- Andersen R.A., 1992.** Diversity of eukaryotalgae. Biodiversity and Conservation, 1(4), 267–292.
- Anneville O., Kaiblinger C., Tadonlélé R.D., Druart J.C et Dokulil M.T., 2008.** Contribution of Long-Term Monitoring to the European Water Framework Directive Implementation. Proceedings of Taal 2007 : The 12th World Lake Conference. Sengupta, M. et Dalwani, R. (eds). pp 1122-1131.
- AssunçãoP., Jaén-Molina R., Caujapé-CastellsJ., JaraA., Carmona L., FreijanesK., Mendoza H., 2011.**Phylogenetic position of *Dunaliellaacidophila* (Chlorophyceae) based on ITS and rbcLsequences. Journal of AppliedPhycology, 24(4), 635–639.
- Atrouz F., Lefilef A., 2014.** Evaluation de la qualité des eaux de l'oued Rhumel (paramètres physico-chimiques et biologiques).Mémoire Préparé En vue de l'Obtention du Diplôme de Master. Centre Universitaire de Mila. Institut des Sciences et de la Technologie.Département de Science de la Nature et de la Vie.

### B

- Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder et J. B. Stribling., 1999.**RapidBioassessmentProtocols for Use in Wadeable Rivers: Periphyton, BenthicMacroinvertebrates, and Fish, 2e édition, Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA841-B-99-002, 11 chapitres, 4 annexes, [<http://www.epa.gov/owow/monitoring/rbp/wp61pdf/rbp.pdf>].
- Barsantil., GualtieriP.,2006.**AlgaeAnatomy, Biochemistry, and Biotechnology. editonerLLC . Taylor & Francis. 320p.

- Barsantil, Gualtieri P., 2014.** Algae Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. editonmsd LLC . Taylor & Francis. 320p.
- Becerracelis G., 2009.** Proposition de stratégies de commande pour la culture de microalgues dans un photo bioréacteur continu. Thèse doctorat Génie des Procédés. École centrale Paris. 266p.
- Belhadj M-Z., 2006.** Etude de la pollution du barrage de ZIT EMBA (ALGERIE). Magistère en hydraulique. Option: Mobilisation des ressources hydriques. Université Labida Mohamed Tahar dite el hadj lakhdar-Batna, p33.
- Belaidi C., Mecheri H- A., 2009.** Evaluation du niveau de contamination par les éléments traces métalliques (Cr, Cd, et Pb) du compartiment sédimentaire de l'oued Rhumel (de l'amont de Belaa jusqu'à l'amont du barrage Béni Haroun). Mémoire Ingénieur d'Etat en Ecologie et environnement : Pathologie des écosystèmes. Université Mentouri Constantine.
- Benaziza A., Ameer N ; 2007.** Mémoire de fin d'étude, Etude spatiotemporelle de la qualité physico – chimique des eaux de l'oued djenjen, université de Jijel facultés des sciences p : 12.
- Berche, P., Gaillard, J-L., et Simouet, M., 1988.** Bactériologie, Les Bactéries Des Infections Humaines. Flammarion Médecine Sciences. 660p.
- Blandin P., 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. Bulletin d'écologie, 17 : 215-307.
- Bontoux M., 1983.** Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. CEBEDOC édition. Lavoisier, p7.
- Bonnard R., Laffont M., et Pimpec P., 2003.** Notion d'hydro-écologie et de qualité biologique des eaux courants. Ingenierie n°33. 13p.
- Boukezzoula M., 2014.** Contribution à l'étude de l'impact des paramètres physicochimiques sur la biomasse algale dans les deux Oueds qui alimentent le barrage Beni Haroun. Mémoire Préparé En vue de l'Obtention du Diplôme de Master. Centre Universitaire de Mila. Institut des Sciences et de la Technologie. Département de Science de la Nature et de la Vie.
- Bourdin L., 2004.** Polluants et Pollution. Caractérisation et suivi de l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau lenticules en France, une ouverture européenne. Les synthèses techniques de L'Office International de l'Eau. p14.
- Bouzaini M., 2000.** L'eau de la pénurie maladie. Ed. IBN-KHALDOUN., Oran: 59-64. Bureau d'étude et de réalisation des ouvrages U.R.T.O, PADV de Hassi ben abdellah Phase 1: rapport d'orientation: p1-4
- Boudjelal., Djoudi H., 2008.** pollution de l'oued boussellem par les eaux usées urbaines et industrielle et impact de leur utilisation dans l'irrigation. Thèses ing, thèse des écosystèmes universitaires, Stif : p 6-13.
- Brunet J.F., Coste B., 2000.** Bibliographie préliminaire à la gestion de drainage minier acide de Rosia Poieni (Roumanie). Rapport BRGM/50626 - FR, 116p.

## C

- Cadoret J.-P., Bardor M., Lerouge P., Cabiglieri M., Henriquez V., Carlier A., 2008.** Les microalgues Usines cellulaires productrices de molécules commerciales recombinantes. MEDECINE/SCIENCES.vol.24 :375-381.
- C. E. Shannon C. E., 1948.** « A Mathematical Theory of Communication ». In : The Bell System Technical Journal 27, p. 379–423, 623– 656; C. E. Shannon et W. Weaver (1963). The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press.
- Chaguer M., 2013.** Analyse et Spéciation des Métaux dans un Oued en zone Minière Cas de l'Oued Essouk. Thèse Présentée en vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat es science en chimie.
- Chauvaud L., Jean F., Ragueneau O., et Thouzeau G., 2000.** Long-term variation of the Bay of Brest ecosystem benthic–Pelagic coupling revisited. Mar. Ecol. Prog. Ser. 200: 35-48.
- Collon P., (2003).** Evolution de la qualité de l'eau dans les mines abandonnées du bassin ferrifère lorrain. De l'expérimentation en laboratoire à la modélisation in situ, Thèse de Doctorat, Institut Polytechnique de Lorraine, 247p.

## D

- Dabbadie L., 1992.** Cultures intensives de microalgues sur lisier de PORC: Performances, contraintes, utilisation des biomasses. Diplôme d'agronomie approfondie. école nationale supérieure agronomique de Montpellier. France. 123p.
- Dajoz R., 2002.** Les Coléoptères Carabidés et Ténébrionidés : Ecologie et Biologie. Ed. Lavoisier Tec & Doc., Londres, Paris, New York, 522 p.
- Daouda M., 2010.** Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du Lac Noköue (Bénin), Thèse de Doctorat de l'université Limoges, 177p.
- DZ, 2009.** Dictionary of Zoology site internet
- Dufour P and Durand J.R. (1982).** La production végétale des lagunes de Côte d'Ivoire. Rev Biol Trop 15 (3): 209-230. Directive cadre de l'eau ; directive européenne du 23 décembre 2000
- Drira Z., 2009.** Contribution à la compréhension du fonctionnement du golfe de Gabés : Etude des caractéristiques dynamiques et structurales des communautés phyto zooplanctoniques en relation avec la variabilité environnementale et les caractéristiques hydrographiques des zones côtières et océaniques. Thèse présentée à la faculté des sciences de Sfax pour obtenir le grade de Docteur de l'université de Sfax. Docteur de l'université de France comite. pp14, 15.

## E

- Evarard M., Powell A., 2002.** Rivers as living systems. Aq. Cons. Mar. Freshwat. Ecosystem, 12: 329 – 337.

## F

**Filali R., 2012.** Estimation et commande robustes de culture de microalgues pour la valorisation biologique de CO<sub>2</sub>. thèse doctorat Sciences et Technologies de l'Information des télécommunications et des Systèmes, AUTOMATIQUE. HAL.221p

**Frontier S., 1983.** Stratégies d'échantillonnage en écologie. Ed. Masson, Paris, 494 p.

**Frontier S., Pichod-Viale D., 1993.** Ecosystèmes. Structure, Fonctionnement, Evolution. Masson, Paris.

**Frontier S., Pichod-Viale D., Leprêtre A., Davoult D. et Luczak Ch., 2004.** Ecosystèmes. Structure, Fonctionnement, Evolution. Ed. Dunod, Paris, 549 p.

## G

**Gaagai A., 2009.** Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de BABAR sur Oued EL ARAB région Est de l'ALGERIE. Mémoire de magistère en hydraulique, Université de BATNA, 108p.

**Gailhard I., 2003.** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations microalgales côtières observées par le « Réseau de surveillance du Phytoplancton et des phycotoxines » (REPHY). Thèse de Doctorat. Université de la Méditerranée (Aix-Marseille II). P : 1,14.

**Gana N., 2014.** Détermination de certains paramètres biochimiques urinaires chez le rat wistar recevant un régime cafeteria supplémenté en algues vertes. Mémoire Mastère physiopathologie cellulaire. Université Abou Bekr Belkadi Tlemcen. 41p.

**Gray J.S., McIntyre A.D., et Stirn J., 1992.** Manuel des méthodes de recherche sur l'environnement aquatique. Onzième partie. Evaluation biologique de la pollution marine, eu égard en particulier au benthos. FAO Document technique sur les pêches, N° 324, 53.

**Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire. Ed. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 220 p.

**Guezzen A., 2014.** Étude de la variation saisonnière de l'activité antimicrobienne des extraits bruts de l'algue brune *Cystoeira stricta* de la côte ouest algérienne, Évaluation de la capacité antioxydante totale. Mémoire Mastre en Biologie aliment université Abou Bekr belkaid-Tlemcen. 67p.

**Gregr E.J., et Bodtker KM., 2007.** Adaptive classification of marine ecosystems: Identify biologically meaningful regions in the marine environment. Deep-Sea Research I 54 : 385-402.

**Grobec., 2019.** Les bassins versants de Bécancour <http://www.grobec.org/definition.php>

## H

**Hadissi A., 2010.** Qualité biologique organoleptique d'eau produite par la station de traitement d'Ain tin et distribuée à oued Endja. Instit Ellaarbi ben mehidi Mila. 55p.

**Harris, R.P., Wiebe, P.H., Lenz, J., Skjodal, H.R & Huntley, M., 2000.** Zooplankton methodology manual. London : Academic Press, San Diego.

**Houli S., 2014.** Eutrophisation des barrages. Département de la Formation continue, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique Abdellah Arbaoui.

**Honjo T., 1996.** Biological and environmental aspects of noxious Dinoflagellate red tides by *Heterocapsa circularisquama* in the west Japan. In: Yasumoto T., Oshima Y. & Fukuyo (eds). Harmful and toxic algal bloom. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. P : 247-250.

**Huynh M L., Serdia N., 2011.** Identification des algues. Guide de laboratoire. Agriculture et Agroalimentaire Canada. 48p.

## I

**Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des données de l'Environnement. Novembre 2005.** qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre générale.

**Idealg., 2014.** Etude de la consommation des algues alimentaires en France. aGROCAMPUS OUEST. France. 71p.

## K

**Kerdoud S., 2006.** Le bassin versant de Beni Haroun eau et pollution. Présenté pour l'obtention du Diplôme de magister ; Université Mentouri- Constantine. 7-31 p.

**Khellou M., 2012.** Flux de l'azote et du phosphore minéraux à l'embouchure d'oued Seybouse. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister « Ecole Doctorale ». En biologie et écologie végétale. Université Badji Mokhtar. Annaba. 65 p .

**Kherief Nacereddine S., 2019.** Etude de l'évolution de la qualité écologique des eaux et inventaire de la micro flore aquatique du barrage de Béni-Haroun. Université des Frères Mentouri Constantine 1. 192p.

**Kherief Nacereddine S., Djeddi H., Benayache N. Y & Afri-Mehennaoui F. Z., 2018.** Dynamique des éléments nutritifs et du phytoplancton dans le barrage Béni Haroun dans l'est algérien. European Scientific Journal. Vol.14, No.12 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.

**Koffi, K., Philippe, D.K., Marcel, K.A., Maryse, A.N., Kagoyire, K.A. and Adingra, A.A. (2009).** Seasonal Distribution of Phytoplankton in Grand-Lahou Lagoon (Côte d'Ivoire). Eur J Sci Res 26: 329-341.

**Koller E., 2004.** Traitement des pollutions industrielles: Eau. Air. Sols. Boues. Ed. Dunod, 424p.

**Krebs C.J., 1999.** Ecological methodology. Menlo Park, Canada. Addison-Wesley Longman.

**Krebs C.J., 1994.** Ecology : The experimental analysis of distribution and abundance. Addison Wesley Educational publishers, U.K., 235 p.

**Kudrinebelalia., Z 2006.** Etude et traitement de l'eau du BARRAGE DJORF-ELTOR de la wilaya Bechar par filtration sur sables. Mémoire de Magister en Eau et environnement. Université Hassiba Benbouaali de chlef

## L

**Lacaze, J.C., 1996.** L'eutrophisation des eaux marines et continentales. Ed. Ellipses. 192p.

- Laevastu T., Alverson D.L. et Marasco R.J., 1996.** Exploitable Marine Ecosystems: Their Behaviour and Management. Fishing News Books, Cambridge, M A.
- Lapegue P., et Ribstein P., 2006 .** La qualité et les analyses d'eaux : Action contre la Faim Espagne en Mali. Master 2 en Sciences de l'Univers, Environnement, écologie. Université Pierre et Marie Curie, Ecole des Mines de paris & Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forets, pp22-23.
- Ledireach L., 2019.** Aires marines protégées Usage et fréquentation, impact de l'homme. <https://gisposidonie.osupytheas.fr/?author=2>
- Legendre L. et Legendre P., 1979.** Ecologie numérique ,le traitement multiple des données écologique. Ed Masson. Les presses de l'université de Quebec, 197 pp.

## M

- Margesin R., Miteva V., 2011.** Diversity and ecology of psychrophilic microorganisms. Research in microbiology, 162(3), 346–61.
- Matsuyama Y., Uchida T., Nagai K., Ishimura M., Nishimura A., Yamaguchi M. et Mortensen A.M., 1985.** Massive fish mortalities in the Faroe Islands caused by a *Gonyaulax excavata* red tide. In: Anderson D.M, White A.W & Baden D.G (eds). Toxic Dinoflagellates. Elsevier. New York. P: 165-170.
- Mebarki A., 1982.** Le bassin du Kébir - Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse de doctorat de 3eme cycle. Nancy II, 304 p.
- Mébarki A., 2005.** Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse d'état. Université Mentouri-Constantine, 306 p.
- Mebarki A., 2009 .** Ressources en eau et aménagement en Algérie- Les bassins hydrographiques de l'est. OPU Alger
- Melanson M., 2006.** Analyse d'un système de traitement passif pour le site de la mine Eustis; centre universitaire de formation en environnement, université de Sherbrooke, Québec canada, 69p.
- melghit M., 2009.** qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments eau / sédiments de l'oued rhumel, et des barrages hammam grouz et béni haroun. mémoire de magister. université mentouri, constantine, 132p.
- Melghit M., 2010.** Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau / Sédiments de l'Oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Béni Haroun. Mémoire de Magistère. Université Mentouri de Constantine. p16-21.
- Michaud C., 2010.** Notion de cours d'eau. 45p.
- Mollo P., et Noury A., 2013.** Le Manuel du Plancton. Éd Charles Léopold Mayer. Paris. 101p.
- Monod T., 1989.** Méharées géographie. France loisire. 233p.
- Moussa M. D. H ., 2005.** Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. 119p.

## N

**Nisbet M., Verneaux J., 1970.** Composantes chimiques des eaux courantes; discussion et proposition de classe en tant que base d'interprétation des analyses chimiques. Ann. Limnologie. Tome 6, pp. 161-190.

## O

**Odbomb ., 2008.** In The Oxford Dictionary of Biochemistry and Molecular Biology

**Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ., 1989.** Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants. 3<sup>ème</sup> rapport du comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires, rapport technique n°776 de l'OMS. Genève (Suisse). 156p.

**Omori M., et Ikeda T., 1984.** Methods in Marine Zooplankton Ecology, John Wiley and Sons, New York, 325 pp.

**OMS., 1994.** Protection et amélioration de la qualité de l'eau. 2<sup>ème</sup> édition. Volume 1. Genève: 18 p.

**OMS., 2009.** La guerre de l'eau - The water conflict - La guerre de l'eau. [www.fsa.ulaval.ca/personnel/vernag/eh/f/cause/eau.htm/](http://www.fsa.ulaval.ca/personnel/vernag/eh/f/cause/eau.htm/) Mise à jour du: 02-04-2010. Consulté le 05-06-2010.

## P

**Padisák J., Borics G., Grigorszky I., et Soróczki-Pinter E., 2006.** Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive the assemblage index. *Hydrobiologia*. 553 : 1-14.

**Pearson T. H., et Rosenberg R., 1978.** Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanographic Marine Biology Annual Review*, 16, 230-306.

**Person., Julie. 2010.** LIVRE TURQUOISE Algues, filières du futur. s.l. Adebitech, Romainville, 2010. p. 182.

**Pietro A., et Rico M., 1997.** Edaphic variability and floristic structure on Mediterranean grassland slopes. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 11 : 9-22.

**Pulz O., Gross W., 2004.** Valuable products from biotechnology of microalgae. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 65(6), 635-48.

## R

**Ramade F., 1993.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ed. Science International. Paris, 822 p.

**RAMADE F., 1998.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Ed. Science internationale, Paris, 786p.

**Ramade F., 2003.** Élément d'écologie fondamentale. Ed. Dunod, Paris, 690 p.

**Reynolds C.S., Huszar V., Kruk C., Naselli-flores L., et Melo S., 2002.** Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*. 24 417-428.

**Rodier J., 1984.** Analyse de l'eau : Eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 7<sup>ème</sup> édition DUNOD Paris, 1353p.

- Rodier J., 2005.** L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduares, Eau de mer. 8eme édition: Dunod, Paris.
- Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. et Rodi L., 2005.** L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8ème Ed. Dunod. 1383 p.
- Rodier J., 2009.** Analyse de l'eau ; Eaux naturelles, Eaux résiduares, Eau de mer. Ed. Dunod bordas, Paris, 9ème édition, 1526 pp
- Rodier J., Bazin C., Broutin J., Champsaur H., et Rodi L., 2005.** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduares. Eau de mer. 8ème Ed. Dunod. Paris, 1383 pp.

## S

- Sacchi et Testard., 1971.** Ecologie animale (organismes et milieu). Edition Doin, p480.
- Sahli L., 2012.** Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bioessais. Thèse de doctorat. Université Mentouri de Constantine. pp30-36.
- Salsamo N., Morabito G., Buzzi F., Garibaldi L., Simona M., et Mosello R., 2006.** Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps. *Hydrobiologia*. 563 : 167-187.
- Sharma Naveen Kumar., Rai A.K., 2011.** Biodiversity and biogeography of microalgae : progress and pitfalls, 15, 1–15.
- SIALVE B ., STEYER J-P., 2013.** Les microalgues, promesses et défis. *Innovations agronomiques*. vol.26.(25-30) :25-39.
- Simboura N., et Zenetos A., 2002.** Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new biotic index. *Mediterranean Marine Science*, 3(2), 77-111.
- Smayda T.J., 1997 b.** What is bloom? A commentary. *Limnol. Oceanogr.* 42 (5,supp 2): 1132-1136.
- Solheim A.L., 2005.** Reference Conditions of European Lakes. Indicators and methods for the Water Framework Directive Assessment of Reference conditions. Version 5. REBECCA Working Group. 105 pp.

## T

- Travers M., 1971.** Lemicoplancton du golfe de Marseille. Etudes quantitatives, structurales et synécologique : variations spatio-temporelles. Thèse de Doctorat, Université Aix Marseille, 595pp.
- Thomas O., 1995.** Métrologie des eaux résiduares. Edition CEBEDOC sprl, pp5356.
- TokoImorou I., 2013.** Effets des facteurs abiotiques sur la répartition spatiale des groupements végétaux dans la zone de transition soudano-guinéenne du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(6): 2178-2192

## U

**U.S. Environmental Protection Agency ., 2002.** Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C. EPA 440-4-89-001.

## W

**WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (WFD),, 2003.** Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential, Water Framework Directive Common Implementation Strategy Working Group 2, A Ecological Status (ECOSTAT), 28 p. et 2 annexes, [<http://cwss.www.de/workshops/wfd/Ecological-Classification-Guidance.pdf>].

## Webographie

[1] [http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire I20 13/images/microalgues.jpg.](http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/I2013/images/microalgues.jpg)"

[2] <https://www.aquaportail.com/definition-471-abiotique.html> consulté le 25/06/2019

[3] [http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html.](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html)

[4] [https://www.google.com/search?q=image+de++Situation+géographique+du+bassin+Kèbir+Rhumel&tbm.](https://www.google.com/search?q=image+de++Situation+géographique+du+bassin+Kèbir+Rhumel&tbm)

[5] <http://www.vliz.be/projects/iseca/fr/2012-10-23-07-54-45/qu-est-ce-que-l-eutrophisation.html>

[6] <https://www.universalis.fr/encyclopedie/milieu-ecologie/2-facteurs-biotiques-et-facteurs-abiotiques/>

[7] [www.aide.be/epuration/pollution-des-eaux](http://www.aide.be/epuration/pollution-des-eaux)

[8] <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2008/pr46/fr/u>

[9] [http://www.nord.gouv.fr/content/download/26739/201316/file/DIAPORAMA\\_COURS-EAU.pdf](http://www.nord.gouv.fr/content/download/26739/201316/file/DIAPORAMA_COURS-EAU.pdf)

<b>Nom : Boudenne et Belaaifa</b> <b>Prénom : Siham et Rahma</b>	<b>Date de soutenance : Juillet 2019</b>
<b>Titre : Dynamique de la population microalgale dans les oueds qui alimentent le barrage de Béni-Haroun</b>	
<b>Diplôme de Master en Biologie Appliqué et Environnement</b> <b>Option : protection des écosystèmes</b>	
<p style="text-align: center;"><b>Résumé</b></p> <p>Cette étude est une contribution à l'évaluation de l'impact des paramètres physico-chimiques sur l'évolution de la diversité algale dans deux oueds qui alimentent le barrage de Béni Harroun.</p> <p>Ce travail a été basé sur la collecte des données de 4 paramètres physico-chimiques à savoir, la température, le potentiel d'hydrogène, la conductivité électrique et l'oxygène dissous ainsi que des paramètres biologiques (diversité, richesse et indices de diversité et d'équitabilité) sur une période de deux ans en amont et en aval de deux oueds (Endja et Rhumel).</p> <p>Les mesures physiques ont montré, des eaux faiblement alcalines, se réchauffent de l'amont en aval, bien oxygénées avec une minéralisation excessive.</p> <p>L'analyse biotique, a montré qu'oued Rhumel est plus riche en diatomées qu'oued Endja.</p> <p>L'identification du phytoplancton a révélé une diversité très importante présentée par 209 taxons au total.</p> <p>Les diatomées, sont les plus abondants. Les genres <i>Navicula</i>, <i>Nitzschia</i> et <i>Gomphonema</i> se montrent avec les fréquences les plus élevées. Beaucoup d'espèces indicatrices de la qualité des eaux ont été observées dans les 4 stations.</p> <p>Pour les diatomées, qui sont d'excellentes bio indicateurs de la qualité des eaux, le résultat, montre que la présence <i>Nitzschia palea</i> et <i>Gomphonema pseudoaugur</i>, indiquent une qualité médiocre des deux oueds, ce qui peut être suivi par le risque de prolifération d'algue dans l'avenir.</p>	
<b>Mots clés :</b> Pollution des eaux, Phytoplancton, Diatomées, Paramètres physico-chimiques, prolifération indice.	
<b>Promoteur : Melle. KHERIEF N Saliha.</b>	