



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abbès Laghrou -Khenchela-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : Écologie et Environnement

**Mémoire Présenté En Vue De L'obtention Du Diplôme  
De Master**

**Domaine** : Sciences De La Nature Et De La Vie

**Filière**: Sciences Ecologiques

**Option**: Protection Des Ecosystèmes

**Thème:**

**Bio-évaluation de la qualité des cours d'eau  
dans la région de Khenchela par les indices  
diatomiques**

**Présentée par:**

❖ LEDMI Chahrazed

**Devant le jury:**

Président	MAAMAR Hichem	MCB	Université de khenchela
Examinatrice	DJEMIL Randa	MCB	Université de khenchela
Rapporteur	BOUCHAMA Khaled	MAA	Université de khenchela

Date de soutenance: .....

Année universitaire : 2020/2021



# Dédicace

*Je dédie ce travail*

*A mes plus chers de ce que j'ai*

*A mon précieux trésor « Maman »*

*A mon cher diamant « papa »*

*Pour tout ce qu'ils ont fait pour que*

*j'arrive là où je suis*

*A la prunelle de mes yeux mon frère*

*pour leur soutien*

*A tous mes sœurs pour leur*

*encouragement et soutien*

*A tous mes petits-enfants de ma famille*

*A tout ma famille LEDMI*

*A tous mes amis et tous les*

*étudiants de la promotion de M2 PE*

*Chahrazed*



## *Remerciements*

*Je remercie mon dieu qui m'a éclairé sur  
la façon de faire ce travail et m'a donné la force,  
l'espoir et le courage de faire ce travail*

*J'adresse mes mots de remerciement,  
d'appréciation et de respect à mon encadreur  
Mr. BOUCHAMA Khaled, qui m'a comblé de ses  
conseils et de ses orientations et m'a aidé tout au  
long de la période de réalisation ce mémoire.*

*J'exprime également ma gratitude aux  
professeurs qui ont accepté de faire partie du jury  
pour discuter de ma mémoire.*

*Dr. MAAMAR Hichem qui m'a fait l'honneur de  
présider le jury*

*Mes remerciements aussi au Dr. DJEMIL  
Randa pour m'avoir fait l'honneur de juger ce  
travail*

*Mes chaleureux remerciements à tous mes  
enseignants du département d'écologie et  
environnement*

*Merci à tous*

## Résumé

Les cours d'eau et les oueds sont des écosystèmes complexes, et fragiles. La bioévaluation écologique de ces milieux est de plus en plus utilisée et intégrée dans des projets de réhabilitation et de protection.

Dans ce contexte, cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact environnemental de la pollution en mesurant les modifications induites sur la structure des communautés de diatomées périphytiques dans les eaux d'Oued Hanou « Tamza, khenchela » et Oued Hammam Essalihine « El hamma, khenchela ». Les diatomées sont des algues brunes (*Bacillariophyceae*) unicellulaire, considérés comme l'un des bio-indicateurs qualitatifs les plus importants des milieux aquatiques. Pour l'évaluation de la qualité biologique des eaux d'Oued Hanou et Oued Hammam Essalihine, cinq (05) indices diatomiques ont été testés : l'indice biologique diatomique (IBD), l'indice biologique de polluosensibilité (IPS) l'indice diatomique générique (IDG), l'indice de biodiversité de Shannon et Weaver, et à la fin l'indice de l'autoécologie de Van dam et *al.*, (1994) qui attribue à chaque espèce de diatomées, des valeurs écologiques par paramètres, créant ainsi différentes classes de qualité des eaux. Une analyse physico-chimique a été réalisée *in-situ* afin d'évaluer et de confronter les résultats avec celles de la bio-évaluation par les indices diatomiques.

L'analyse des résultats de cette étude ont montré que la qualité écologique et biologique des deux oueds est différente. Nous avons enregistré respectivement à oueds Oued Hanou et Oued Hammam Essalihine : indice de biodiversité Shannon et Weaver (2,76 et 2.96), IBD (11.2. et 9.4), IPS (15,1 et 14), IDG (17,2 et 15,5). Pareil pour les résultats de l'indice de l'autoécologie de Van dam et *al.*, (1994) qui donne des indicateurs sur le pH, salinité, sensibilité et la présence d'azote, l'oxygénation et la saprobité dans les eaux. Nos résultats corroborent celles de l'analyse physico-chimique réalisée *in-situ*. La majorité des cinq indices indiquent que la qualité des eaux à Oued Hanou est meilleure à celles d'Oued Hammam Essalihine, globalement ils ont les deux une qualité moyenne, probablement due aux effluents du complexe thermal de Hammam Essalihine et aussi les habitations mitoyennes de l'Oued. Quant à oued Hanou nous avons constaté que le lit d'el oued rétrécit et cela due au pompage d'eau en amont utilisée pour l'irrigation. Aussi des signes des crues ont été observé, ces dernières apportent généralement des matières solides (limon et argile) ce qu'ils perturbent probablement la croissance et la multiplication des diatomées sur les galets.

**Mots clé** : Bio-Evaluation, Diatomées, Bio-Indicateur, Indice Diatomique.

## Abstract

Rivers and wadis are complex and fragile ecosystems. The ecological bio-assessment of those environments is increasingly used and integrated into rehabilitation and protection projects.

In this context, the objective of this study is to assess the environmental impact by measuring the modifications induced by pollution on the structure of the periphytic diatom communities in the waters of Oued Hanou "Tamza, khenchela" and Oued Hammam Essalihine "El hamma , khenchela ". Diatoms are unicellular brown algae (*Bacillariophyceae*), considered one of the most important qualitative bioindicators of aquatic environments. For the evaluation of the biological quality of the waters of Oued Hanou and Oued Hammam Essalihine, Five (05) diatomic indices were tested: the biological diatomic index (IBD), the biological pollutantsensitivity index (IPS), the diatomic generic index (IDG), the biodiversity index of Shannon and Weaver, and the autoecology index of Van dam et al., (1994). This index attributes to each species of diatoms, an ecological value by parameters, thus creating different water quality classes. A physico-chemical analysis was carried out *in-situ* in order to evaluate and compare the results with those of the bio-evaluation by diatomic indices.

Analysis of the results of this study showed that the ecological and biological quality of the two Oueds is different. We recorded in Oued Hanou and Oued Hammam Essalihine respectively : Shannon and Weaver biodiversity index (2.76 and 2.96), IBD (11.2. and 9.4), IPS (15.1 and 14), IDG (17.2 and 15.5). Same results for the autoecology index results of Van dam et al., (1994) which gives indicators on pH, salinity, sensitivity and the presence of nitrogen, oxygenation and saprobity in water. The results corroborate those of the physico-chemical analysis carried out *in-situ*. Although the majority of the five indices indicate that, the water quality in Oued Hanou is better than that of Oued Hammam Essalihine. Overall, they both have a passable quality. Probably due to the effluents of the spa complex of Hammam Essalihine and habitation near Oued Hammam Essalihine. Concerning Oued Hanou we observed that the bed of the Oued is narrowing and this is due to the pumping of water upstream used for irrigation. Also signs of floods have been observed, these generally bring solid matter (silt and clay) which they probably disrupt the growth and multiplication of diatoms on the pebbles..

**Keywords:** Bio-Evaluation, Diatoms, Bio-Indicator, Diatom Index.

## ملخص

الأنهار والأودية هي أنظمة إيكولوجية معقدة وهشة، مراقبة وتقييم مدى سلامة هاته الانظمة البيئية عن طريق معرفة نوع وعدد الكائنات التي تعيش اصبح من اهم الطرق المستخدمة في الأونة الأخيرة خاصة في مشاريع إعادة تأهيل وحماية المناطق المعرضة للتلوث.

تهدف هاته الدراسة الى تقييم الأثر البيئي للتلوث على هذه الانظمة الايكولوجية من خلال قياس التغيرات التي يسببها التلوث على مجتمعات الدياتومات في مياه واد حانو تامزة و واد حمام الصالحين بالحامة ولاية خنشلة. الدياتومات هي طحالب بنية أحادية الخلية (*Bacillariophyceae*) ، وتعتبر من أهم المؤشرات الحيوية النوعية في البيئات المائية.

لعرفة جودة و مدى تلوث مياه واد حانو تامزة و واد حمام الصالحين تم اختبار خمسة (05) مؤشرات : المؤشر البيولوجي الدياتومي (IBD) ، مؤشر الحساسية للتلوث البيولوجي (IPS) ، المؤشر الدياتومي العام (IDG) ، مؤشر التنوع البيولوجي Shannon et Weaver ، و مؤشر (Van dam et al., 1994) الذي ينسب إلى كل نوع من الدياتومات قيم بيئية، ومن ثم يعطى معلومات عن جودة و نوعية المياه.

تم إجراء تحليل فيزيائي-كيميائي في الموقع من أجل تقييم ومقارنة النتائج المتحصل عليها مع نتائج التقييم الحيوي بواسطة المؤشرات الدياتومية.

أظهر تحليل نتائج هذه الدراسة أن الجودة البيئية والبيولوجية للواديين كانت مختلفة، كانت النتائج المسجلة في واد حنو وواد حمام الصالحين على التوالي : مؤشر التنوع البيولوجي Shannon et Weaver (2.76 و 2.96) ، IBD (11,2 و 9,4) ، IPS (15,1 و 14) ، IDG (17,2 و 15). وينطبق الشيء نفسه على نتائج مؤشر (Van dam et al., 1994) والذي يعطي مؤشرات عن pH والملوحة، الحساسية لوجود النيتروجين و نسبة الأوكسجين في الماء والتلوث بالمواد العضوية.

كذلك اكدت نتائج التحليل الفيزيائي و الكيميائي الذي تم إجراؤه في الواديين علي وجود اختلاف في جودة ونوعية الماء فيهما.

على الرغم من أن غالبية المؤشرات الخمسة تشير إلى أن جودة المياه في واد حانو أفضل من تلك الموجودة في واد حمام الصالحين، إلا أن كلاهما يتمتع بجودة متوسطة عموماً. ربما بسبب مياه الصرف الصحي لمجمع حمام الصالحين وكذلك المساكن المجاورة للواد اما واد حانو، الفيضانات التي تحدث في الواد والتي تحمل معها الطمي والطين تكون قد اثرت سلباً على نمو الدياتومات على الحجارة دون ان ننسي عمليات ضخ المياه التي تكون قد اثرت على مستوي ارتفاع المياه في الواد.

**الكلمات المفتاحية:** التقييم الحيوي ، الدياتومات ، المؤشر الحيوي ، المؤشر الدياتومي

- ✚ Résumé
- ✚ Abstract
- ✚ ملخص
- ✚ Dédicace
- ✚ Remerciements
- ✚ Table de matières
- ✚ Liste de tableaux
- ✚ Liste des figures
- ✚ Liste des abréviations

## Table de matières

Introduction .....	1
--------------------	---

### Chapitre I : Partie Bibliographique

1. La pollution des cours d’eaux.....	3
1.1. Définition de la pollution.....	3
1.2. Pollution de l’eau.....	3
2. Origine de pollution des cours d’eau .....	3
2.1. Pollution de l’eau d’origine industrielle .....	3
2.2. Pollution d’origine agricole.....	3
2.3. Pollution des effluents urbains .....	4
2.4. Pollution domestiques.....	4
3. Impacts de la pollution sur l’écosystème aquatique.....	5
4. Les Bio-indicateurs.....	6
4.1. Définition .....	6
4.2. Caractéristiques des bio-indicateurs.....	6
4.3. Classification des bio-indicateurs.....	7

4.4. Rôle des bio-indicateurs .....	8
<b>5. Evaluation de l'état écologique des milieux aquatiques par les diatomées.....</b>	<b>8</b>
5.1. Définition .....	8
5.2. Morphologie .....	9
5.3. Multiplication et reproduction .....	11
5.4. Cycle de vie des diatomées .....	12
5.5. Structure des diatomées .....	12
5.6. Systématique des diatomées.....	12
5.7. Indice diatomique .....	13

## Chapitre II : Matériel Et Méthodes

<b>1. Description et localisation de la zone d'étude.....</b>	<b>14</b>
1.1. Oued Hanou .....	14
1.2. Oued Hammam Essalihine .....	14
1.3. Climatologie.....	15
<b>2. Paramètres physico-chimiques.....</b>	<b>16</b>
2.1. La température .....	16
2.2. La turbidité.....	17
2.3. Potentiel d'hydrogène (PH) .....	17
2.4. La dureté.....	18
2.5. La conductivité électrique et la salinité .....	19
2.6. Oxygène dissous .....	19
2.7. Demande biologique d'oxygène (DBO) et Demande chimique en oxygène.....	20
2.8. La saprobité.....	20
2.9. Matière en suspension .....	21
<b>3. Echantillonnage .....</b>	<b>22</b>
3.1. Prélèvement.....	22

3.2. Préparation du matériel diatomique.....	24
4. Les indices de la qualité des eaux.....	25
4.1. Indice de polluo sensibilité .....	26
4.2. Indice biologique diatomique I.B.D .....	26
4.3. Indice diatomique générique I.D.G.....	26
4.4. Indice de Shannon et Weaver .....	26
4.5. Autoécologie .....	26

## Chapitre III : Résultats et Discussion

1. Résultats .....	28
1.1. Analyse physico-chimiques .....	28
1.2. Genres et espèces identifiés dans le cours d'eau oued Hanou .....	29
1.4. Indices Diatomiques.....	32
1.4.1. L'indice Biologique Diatomique (I.B.D).....	35
1.4.2. L'indice De Polluo sensibilité (I.P.S) .....	36
1.4.3. L'indice Diatomique Générique (I.D.G) .....	37
1.4.4. L'indice De Shannon et Weaver .....	38
1.5. L'indice de l'autoécologie .....	39
1.5.1. Classe de pH.....	39
1.5.2. La salinité .....	39
1.5.3. La sensibilité à la présence d'azote.....	40
1.5.4. L'oxygène dissout .....	40
1.5.5. Saprobité et affinité à la matière organique .....	40
2. Discussion .....	42

Conclusion et perspectives

Références Bibliographiques

## **Liste des tableaux**

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique	<b>05</b>
<b>2</b>	Classification des diatomées selon le graduant optimal de la température	<b>16</b>
<b>3</b>	Exemple de classification de la turbidité à l'échelle internationale renvoyant	<b>17</b>
<b>4</b>	Classification des diatomées selon leur gradient optimal pH	<b>18</b>
<b>5</b>	Les différents degrés de dureté de l'eau	<b>18</b>
<b>6</b>	Classification des diatomées selon leur préférence de salinité	<b>19</b>
<b>7</b>	Classification des diatomées selon la saprobité	<b>20</b>
<b>8</b>	Les résultats physico-chimique des deux cours d'eau Oued Hanou et Oued Hammam Essalihine	<b>28</b>
<b>9</b>	L'indice biologique diatomique des deux cours d'eau	<b>35</b>
<b>10</b>	L'indice de polluosensibilité des deux cours d'eau	<b>39</b>
<b>11</b>	Classe de pH selon l'indice de Van dam des deux cours d'eau	<b>39</b>
<b>12</b>	Classe de salinité selon leur indice de van dam 1994 dans les deux cours d'eau	<b>40</b>
<b>13</b>	La sensibilité à la présence de nitrogène selon l'indice de van dam dans les deux cours d'eau.	<b>40</b>
<b>14</b>	la quantité d'oxygène dissout dans les deux cours d'eau selon l'indice de van dam 1994.	<b>41</b>

## Liste des figures

N°	Titre	Page
<b>1</b>	Diatomées sous microscopie électronique à balayage (en haut) et en microscopie optique (en bas)	<b>9</b>
<b>2</b>	Frustule des diatomées (a) <i>Navicula lonceolata</i> avec contenu cellulaire, (b) <i>Navicula lonceolata</i> sans contenu cellulaire	<b>10</b>
<b>3</b>	Frustule d' <i>Enotia sp</i>	<b>10</b>
<b>4</b>	Type de diatomées (a) Diatomées centriques, symétrie radiale ( <i>Cyclotella spp.</i> ) (b) Diatomées pennées symétrie bilatérale ( <i>Gomphonema sp. Navicula sp. Cymbella sp</i> )	<b>11</b>
<b>5</b>	Représentation schématique des cycles de multiplication végétative et de la reproduction méiotique chez les diatomées	<b>11</b>
<b>6</b>	Localisation géographique d'Oued Hanou et les points d'échantillonnages (Google Maps, 2021)	<b>14</b>
<b>7</b>	Localisation géographique d'Oued Hammam Essalihine et les points d'échantillonnages (Google Maps, 2021)	<b>15</b>
<b>8</b>	Pollution par les matières en suspension	<b>21</b>
<b>9</b>	Genres et espèces identifiées dans la cour d'eau d'Ain Mimoun	<b>29</b>
<b>10</b>	Genre et espèces identifié dans la cours d'eau de Hammam Essalihine	<b>32</b>
<b>11</b>	L'indice biologique diatomique des deux cours d'eau Oued Hanou et Oued Hammam Essalihine	<b>35</b>
<b>12</b>	L'indice de polluosensibilité des deux cours d'eau Oued Hanou et Oued Hammam Essalihine	<b>36</b>
<b>13</b>	L'indice Diatomique Générique I.D.G des deux cours d'eau Oued Hanou et Oued Hammam Essalihine	<b>37</b>
<b>14</b>	L'indice de Shannon des deux cours d'eau Oued Hanou et Oued Hammam Essalihine	<b>38</b>

## *Liste des abréviations*

<b>AFNOR</b>	Association française de normalisation
<b>CNRS</b>	Centre national de la recherche scientifique
<b>DBO</b>	Demande biologique en oxygène
<b>DCO</b>	Demande chimique en oxygène
<b>DO</b>	Oxygène dissous
<b>IBD</b>	Indice biologique diatomique
<b>IDG</b>	Indice diatomique générique
<b>IPS</b>	Indice de polluo-sensibilité
<b>pH</b>	Potentiel d'hydrogène
<b>TDS</b>	Totale des solides dissous



# **Introduction**

## Introduction

---

### Introduction

Le problème de la pénurie de l'eau est plutôt lié à sa répartition spatiale et temporelle inégale. Les changements climatiques dus au réchauffement de la planète créent une suite de sécheresses et d'inondations tout en modifiant la répartition de l'eau dans le monde. Ceci montre un manque d'adaptation des sociétés à ces phénomènes (**Blanchon, 2009 ; Grini, 2010**).

La pollution des eaux naturelles par les contaminants aussi bien biologiques que chimiques est un problème mondial. Il y a peu d'endroits peuplés qu'ils se trouvent dans des pays développés ou en développement qui ne souffrent pas d'une forme ou d'une autre de pollution de l'eau. (**Barid et Cann, 2016**).

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation de l'environnement par la civilisation technologique contemporaine. Les plus graves phénomènes de pollution constituent, en règle générale, quand on se place à l'échelle globale, une menace souvent potentielle, susceptible d'entraver dans un avenir plus ou moins proche l'ensemble des activités humaines. La crise de l'eau sévit elle déjà depuis longtemps car la contamination des eaux continentales et océaniques exerce ses méfaits de façon sans cesse accrue, depuis parfois plus d'un siècle à une échelle globale. Elle affecte aussi bien les pays industrialisés et les mers qui les entourent que bien des régions du tiers-monde ou, outre la pollution chronique des eaux continentales, la production agricole voit son expansion limitée par le manque d'eau dû à l'aridité du climat. (**Ramade, 2011**).

Les effets de la pollution de l'environnement sur la qualité des eaux douces sont multiples et existent depuis longtemps. L'essor industriel, le développement de l'agriculture intensive, augmentation exponentielle de la population, ainsi que la production et l'utilisation de dizaines de milliers de produits chimiques synthétiques, figurent parmi les principales causes de détérioration de la qualité de l'eau à l'échelle locale, nationale et mondiale. Le principal problème que pose cette détérioration est le risque qu'elle ne compromette l'usage que l'on fait de l'eau aujourd'hui et celui que l'on voudrait faire à l'avenir (**Stellman, 2000**).

Les rivières et les eaux souterraines possèdent des qualités d'autoépuration importantes. Elles diluent et retraitent les polluants. Ainsi, les rivières jouent un rôle d'épuration, tout comme le sol à travers lequel l'eau souterraine s'infiltré mais se trouvent vite altérées par toute surcharge de matières polluants (**Aubin, 2007**).

Les analyses physico-chimiques des eaux permettent de connaître la nature et la concentration des contaminants présents dans l'eau au moment où les prélèvements ont été effectués. Par

## Introduction

---

l'étude des organismes aquatiques, on procède à une meilleure évaluation de l'intégrité des écosystèmes car leur présence ou leur abondance reflète les conditions du milieu qui se sont succédé durant leur développement (**Jüttner et al., 1996; Soininen, 2002; Beyene et al., 2009**).

Dans ce contexte le but de cette étude était d'étudier la flore de diatomées dans les eaux d'Oued Hanou « Tamza, Khenchela » et Oued Hammam Essalihine « Elhamma, Khenchela » et relier la répartition des assemblages d'espèces de diatomées à des variables environnementales. Nous avons utilisé des diatomées comme des bioindicateurs afin d'évaluer et identifier les sources d'altération et les pressions subies par ces deux Oueds.

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact environnemental en mesurant les modifications induites par la pollution sur la structure des communautés de diatomées périphtiques et les variations de la qualité des cours d'eau dans la wilaya de Khenchela.

Le manuscrit que nous proposons s'organise de la façon suivante :

Le chapitre I : présente une synthèse des connaissances sur la pollution des cours d'eaux et la bio-évaluation de la qualité des eaux par l'utilisation des diatomées.

- Le chapitre II : Matériel et Méthodes
- Le chapitre III : Résultats et discussion
- Conclusion et perspectives



**Chapitre I :**  
**Partie bibliographique**

## **1. La pollution des cours d'eau**

### **1.1. Définition de la pollution**

Une pollution peut se définir comme une dégradation ou une perturbation du milieu, qui résulte en général de l'apport de matières ou de substances exogènes. Ses effets peuvent être modificateurs ou destructeurs vis-à-vis du fonctionnement du milieu, selon la nature ou la quantité de polluant (**Genin et al., 2003**)

### **1.2. Pollution de l'eau**

Par pollution de l'eau, on entend un état qualitatif d'impureté ou de manque de propreté des eaux hydrologiques d'une certaine région, comme un bassin versant. Cet état résulte d'un événement ou processus qui réduit l'utilité des eaux du globe, spécialement en ce qui concerne la santé de l'être humain et les effets sur l'environnement (**Stellman, 2000**)

## **2. Origine de pollution des cours d'eau**

Le milieu aquatique est la cible de contamination par le rejet des effluents pollués (activités humaines, industrielles, urbaines ou agricoles), induisant différentes formes de pollution ; la pollution physique, chimique et biologique (**Zaimeche, 2015**).

### **2.1. Pollution de l'eau d'origine industrielle**

Les différentes industries génèrent différentes sortes de polluants. L'industrie alimentaire produit des déchets organiques biodégradables mais qui ont une DBO élevée. En plus d'une DBO élevée, les usines de pâte à papier produisent des composés toxiques et des boues. (**Berg et al., 2009**)

### **2.2. Pollution d'origine agricole**

Elle comporte une composante domestique, issue des sièges d'exploitation souvent non raccordés à un réseau (habitat rural dispersé), et une composante plus spécifique mais complexe qui se caractérise principalement par :

- fortes teneurs en sels minéraux (azote phosphore, potassium), provenant des engrais et des effluents d'élevage (fumiers, lisiers),
- substances oxydables issues de sous-produits d'élevage et des lavages d'aires (matières organiques ammoniacale)
- la présence de produits chimiques de traitement des cultures (produits phytosanitaires).

- la présence épisodique dans les effluents d'élevage de produits sanitaires (bactéricides, antibiotiques).

La dynamique saisonnière est très marquée, en relation avec les cycles annuels d'activité et les phénomènes de lessivage des sols. Certaines de ces pollutions sont à effet cumulatif et retardé (cas des nitrates dans les nappes phréatiques), ce qui ne facilite pas l'étude de ces phénomènes et la lutte contre leurs effets (**Berg et al., 2009**)

### **2.3. Pollution des effluents urbains**

Bien que les eaux usées soient le principal polluant produit par les villes, la pollution de l'eau des villes a aussi une source diffuse : le lessivage des sols urbains lors de fortes pluies. La qualité des eaux pluviales qui s'écoulent le long des rues est souvent pire que celle des eaux usées. Les écoulements urbains transportent le sel épandu sur les routes en hiver (**Berg et al., 2009**)

### **2.4. Pollution domestiques**

Elle provient des habitations. Elle est en général véhiculée par un réseau d'assainissement, qui collecte les rejets de chaque foyer ou centre d'activité, vers une station de traitement des eaux usées. Elle se caractérise par :

- de fortes teneurs en matières organiques.
- des sels minéraux, dont l'azote et le phosphore.
- des détergents
- des germes fécaux (**Genin et al., 2003**).

**Tableau 1** : Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique (Chouteau, 2004).

Type de pollution	Nature	Origines
Physique	Rejets d'eau chaude	Centrale thermiques, nucléaires
	M.E.S. (matières en suspension)	Rejets urbains, érosion des sols
Chimique	Matière organique	Effluents domestiques, agricoles, agroalimentaires
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture, lessives
	Métaux (Cd, Pb, Hg, Al, As...)	Industrie, agriculture, déchets
	Pesticides (insecticides, herbicides, Fongicides)	Industrie, agriculture
	Organochlorés (PCB, solvants)	Industries
	Composés organiques de synthèse	Industries
	Détergents	Effluents domestiques
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière, transports
Biologique	Bactérie, virus, champignons...	Effluents urbains, agricoles

### 3. Impacts de la pollution sur l'écosystème aquatique

-**La pollution domestique** : ses effets correspondent à un enrichissement de l'écosystème aquatique, qui doit développer des mécanismes d'autoépuration pour assimiler cette surcharge d'éléments organiques et minéraux. Le résultat est un niveau trophique global plus élevé en aval des rejets de ce type. Les effets des pollutions industrielles sont très diversifiés, en fonction du type de substances rejetées. Pour exemple, on peut citer: - l'augmentation de température, provoquant une modification des peuplements animaux et végétaux (développement anarchique d'algues, etc.).

Le colmatage des substrats par des dépôts minéraux fins issus des eaux de lavage de scieries de pierre, induisant parfois la disparition quasi complète de la faune d'invertébrés benthiques":

- La disparition de la majeure partie de la faune, suite au lessivage d'aires de traitement du bois par les pesticides (scieries), ou à des fuites de réservoirs de toxiques (traitements de surfaces, industries chimiques et pharmaceutiques)

- la destruction des réseaux trophiques par inhibition de la production primaire (rejet de composés du cuivre, lessivage de zones traitées aux herbicides)

les toxiques, dont l'effet est directement destructeur ou déstructurant pour une partie plus ou moins importante du peuplement animal ou végétal (**Genin et al., 2003**).

#### 4. Les Bio-Indicateurs

##### 4.1. Définition

Un bio-indicateur (ou indicateur biologique) est un organisme dont la présence ou l'absence (et aussi l'abondance) apporte des informations sur les caractéristiques de l'écosystème où il est trouvé (= bio-indication). Les bio-indicateurs sont souvent utilisés pour indiquer le niveau de pollution d'un milieu (**Oertli et Frossard, 2013**).

##### 4.2. Caractéristique des bio-indicateurs

Les caractéristiques les plus couramment sont :

- **Leur sédentarité sur la zone d'étude** : afin que l'état des individus puisse être directement corrélé avec le niveau de pollution du site. Des animaux se déplaçant sur de grandes distances ou ne visitant les sites étudiés qu'occasionnellement ne peuvent en effet être le reflet du niveau de contamination du lieu où ils auront été capturés

- **Leur facilité d'identification** : de capture ou de récolte tout au long de l'année. ce qui nécessite une bonne connaissance de l'écologie de l'espèce comme ses réponses adaptatives aux variations spatiotemporelles des facteurs environnementaux en zone estuarienne et côtière (température, salinité...) ou ses migrations liées à la reproduction:

- **Une taille de la population suffisante** : car l'impact de prélèvements réguliers sur la structure et la densité de la population doit être négligeable. De plus, l'importance de cette population conditionne la rapidité des prélèvements, et entre ainsi en compte dans l'estimation de la faisabilité et du coût de la surveillance

- **Une aire de dispersion large et connue** : ce qui permet les comparaisons entre différents sites, mais augmente également la probabilité de trouver des sites aussi peu impactés que possible par la pollution. Il est toutefois impossible de trouver une espèce totalement

- **Une longévité de plusieurs années** : et une résistance aux polluants présents. Afin que les individus soient au contact des contaminants pendant des périodes suffisantes pour que les changements des bio-marqueurs atteignent un niveau mesurable. Cette persistance des

individus dans le milieu permet également de suivre l'évolution des paramètres étudiés au cours du temps (**Jean-Claude et Claude, 2008**)

### **4.3. Classification des bio-indicateurs**

Les différentes catégories de bio-indicateurs sont :

Il existe différentes catégories de bio-indicateurs. Elles sont déterminées en fonction du rôle du bio-indicateur, c'est-à-dire de la tâche pour laquelle il est employé. Certains mesurent l'impact d'un changement environnemental, d'autres quantifient l'exposition à certaines substances; d'autres encore permettent d'évaluer la biodiversité de la communauté, actuelle et future. (**Kerckhove, 2012**).

#### **A- Les espèces bio-accumulatrices**

Les espèces bio-accumulatrices ont la capacité d'accumuler des contaminants. Ces derniers se transfèrent par bioconcentration (transfert direct à partir du milieu environnant) et par bioamplification (transfert par les niveaux trophiques de la chaîne alimentaire) (**Kaiser, 2001**). L'accumulation à laquelle les espèces bio-accumulatrices procèdent est une forme de résistance aux changements environnementaux. La concentration des contaminants est alors plus grande dans l'organisme bio-indicateur que dans le milieu (par exemple, l'eau). Cela le rend très intéressant pour détecter très tôt une contamination du milieu. En effet, le contaminant est détectable dans le bio-indicateur avant de l'être dans le milieu, par des mesures traditionnelles (**Marques, 2009**).

#### **B- Les bio-indicateurs de réaction**

Peuvent être divisés en deux groupes : les bio-indicateurs de dommage, et les bio-indicateurs d'exposition. Cette distinction correspond à une classification des types de bio-indicateurs selon leur mode d'action. Les bio-indicateurs d'exposition sont des organismes (ou parties d'organisme) qui accumulent des substances provenant de leur environnement, tel que des polluants ou des métaux lourds, par exemple. Ce sont donc le plus souvent des bio-accumulateurs. Ils possèdent une résistance élevée car ils sont capables d'assimiler des substances polluantes pendant un long laps de temps sans dommage. Les bio-indicateurs de dommage répondent assez rapidement à un stress, de façon observable ou mesurable. Ils doivent pour cela posséder une résistance au stress peu élevée, ainsi qu'une faible capacité d'adaptation : on appelle cela des organismes sténopotent (**Markert et al., 2003**).

## C- Bio-indicateurs de biodiversité

Les bio-indicateurs peuvent également être utilisés comme indicateurs de biodiversité puisque que les taxons indicateurs sont sensibles aux modifications de l'écosystème, modifications qui pourraient avoir des impacts sur la biodiversité locale (**Market et al., 2003**).

### 4.4. Rôle des bio-indicateurs

Les bio-indicateurs peuvent être utilisés pour la surveillance de différents milieux (terrestre et aquatique) pour :

- ✓ Emettre des signaux précoces de problèmes environnementaux ;
- ✓ Evaluer l'état de stress global de l'environnement à travers différentes réponses d'organismes indicateurs ;
- ✓ Identifier les relations de cause à effet entre les facteurs d'altération et les effets biologiques ;
- ✓ Evaluer l'efficacité de mesures réparatrices sur la santé des systèmes biologiques (**Le Bras, 2007**).

Ainsi les bio-indicateurs constituent une des méthodes fondamentales pour déterminer les changements ou modifications dans un environnement naturel. En dehors des plantes et des espèces animales, les bio-indicateurs sont également des indicateurs de populations, des indicateurs écologiques et renseignent sur la composition des espèces, la taille de la population et sa densité, la production de la biomasse et la structure trophique (**Perez, 2000**).

## 5. Evaluer l'état écologique des milieux aquatiques par les diatomées

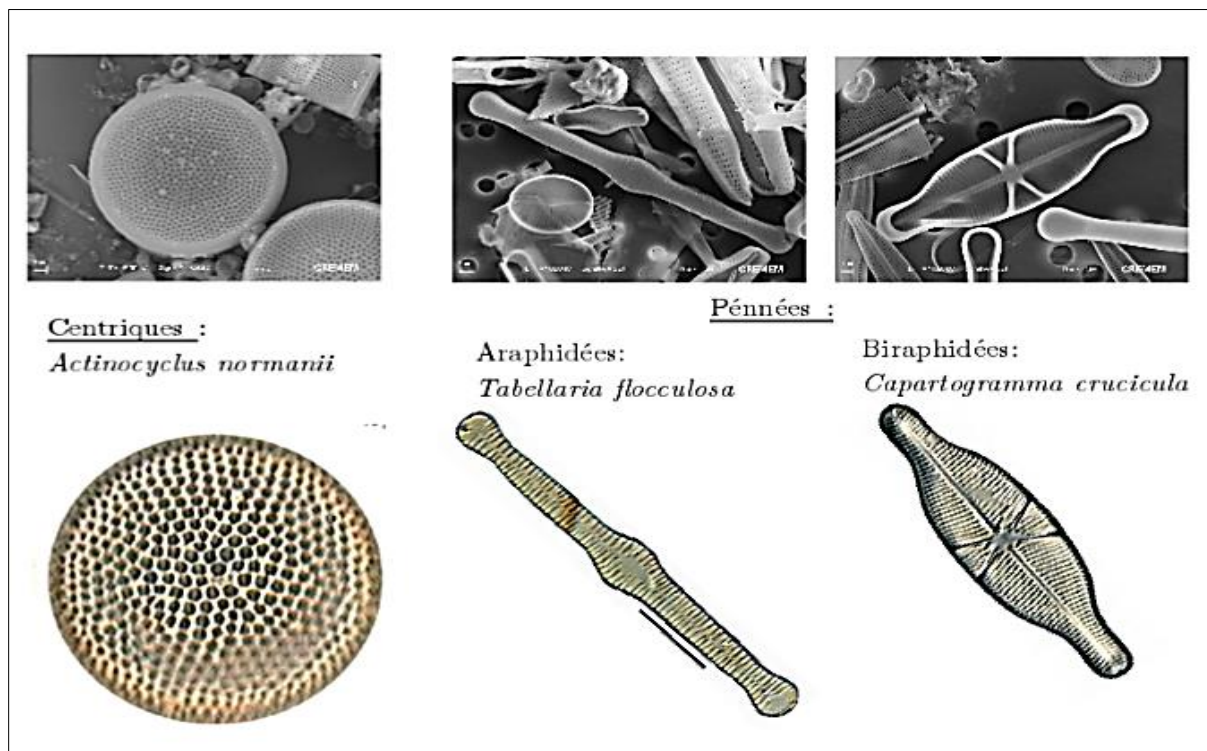
### 5.1. Définition

Les diatomées sont des algues microscopiques qui vivent en suspension dans l'eau ou attachées au fond des rivières, des lacs et des océans (**Lavoie et Hamilton, 2008**).

Les diatomées, ou Bacillariophycées, sont des algues microscopiques, unicellulaires ou coloniales, la taille d'une cellule variant de 5 à 400  $\mu\text{m}$  dans son plus grand axe. Les diatomées ont la particularité essentielle de fabriquer une carapace siliceuse externe appelée frustule, et constituée de deux valves qui s'adaptent comme une boîte et son couvercle. (**Miskovsky, 1987**).

La plupart des diatomées fixent le carbone par photosynthèse. Elles sont des producteurs primaires qui jouent un rôle majeur à la base des écosystèmes aquatiques. Elles contribuent à

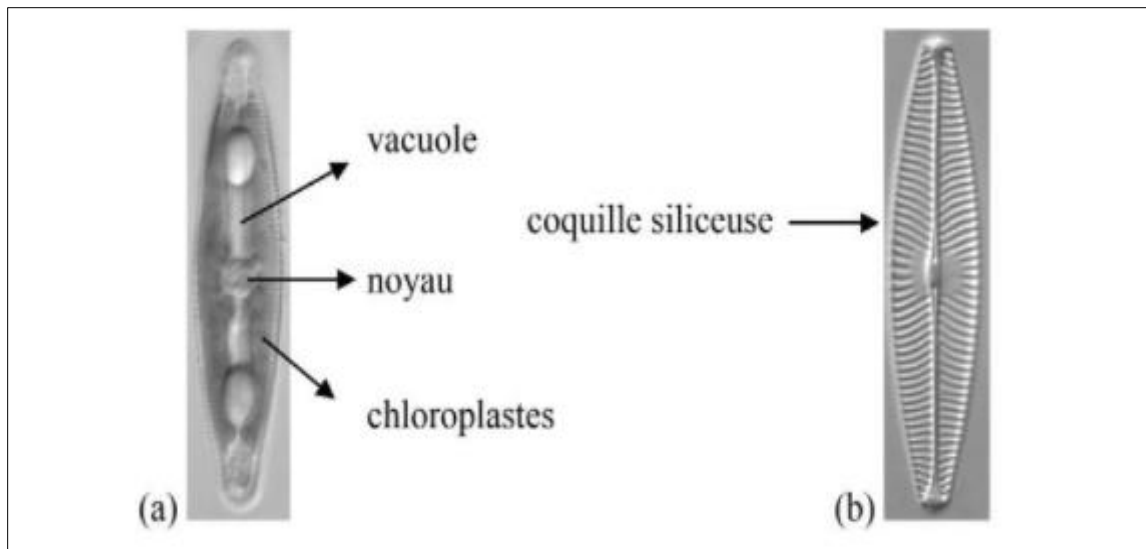
environ le quart de la production primaire globale de la planète et à 43% de la production primaire des océans (Treguer et al, 1995). Chaque espèce de diatomée possède une ornementation particulière qui peut être observée au microscope et qui permet l'identification du taxon (Lavoie et Hamilton, 2008).



**Figure 1 :** Photos de diatomées en microscopie électronique à balayage (en haut) et en microscopie optique (en bas). (Bottin, 2012)

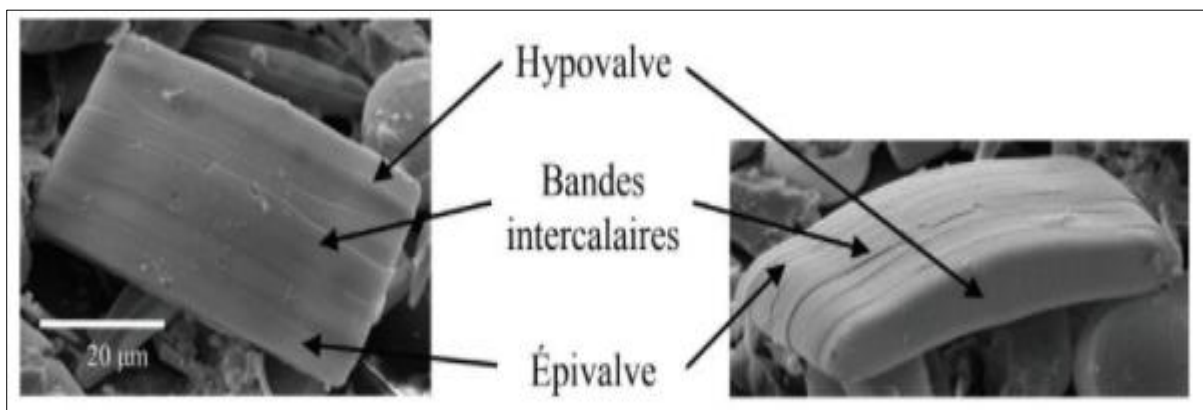
## 5.2. Morphologie

Les diatomées (bacillariophycées) sont des algues microscopiques unicellulaires (eucaryotes) variant de quelques micromètres à plus de 500 micromètres (0.5 millimètre). Les diatomées ont la caractéristique particulière d'avoir un squelette externe siliceux ( $\text{SiO}_2$ ) à l'intérieur duquel se trouvent le contenu cellulaire (noyau, chloroplastes, mitochondries, vacuoles, etc.) (Figure : 02) (Lavoie et Hamilton, 2008)

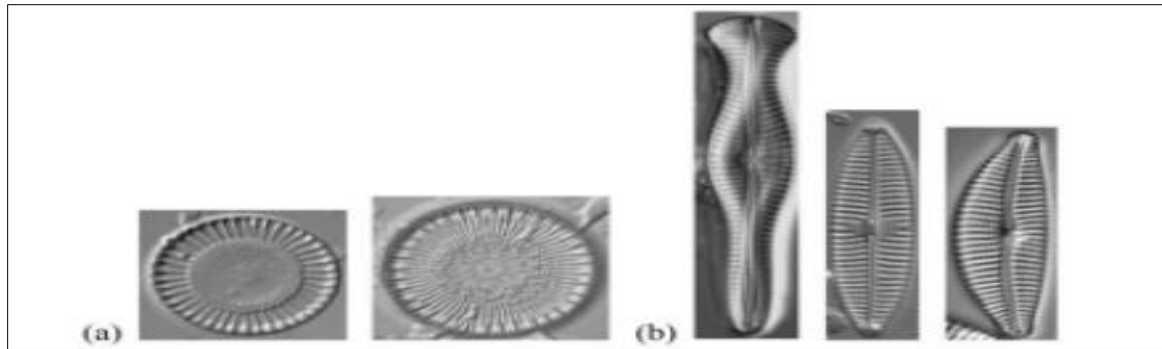


**Figure 02 :** (a) *Navicula lonceolata* avec contenu cellulaire, (b) *Navicula lonceolata* sans contenu cellulaire (Lavoie et Hamilton, 2008)

Le frustule (squelette ou coquille siliceuse) des diatomées est formé de deux valves qui s'emboîtent l'une dans l'autre (Figure 03). C'est donc dire que les diatomées sont de petites boîtes de verre microscopiques. La partie la plus grande du frustule est l'épivalve et la partie plus petite est l'hypovalve. Des bandes intercalaires (ceintures connectives) relient les deux valves. Chaque espèce de diatomée possède une ornementation (stries, fibules, ponctuations, stigma, épines, etc.) particulière qui permet l'identification (Figure 04). (Lavoie et Hamilton, 2008)



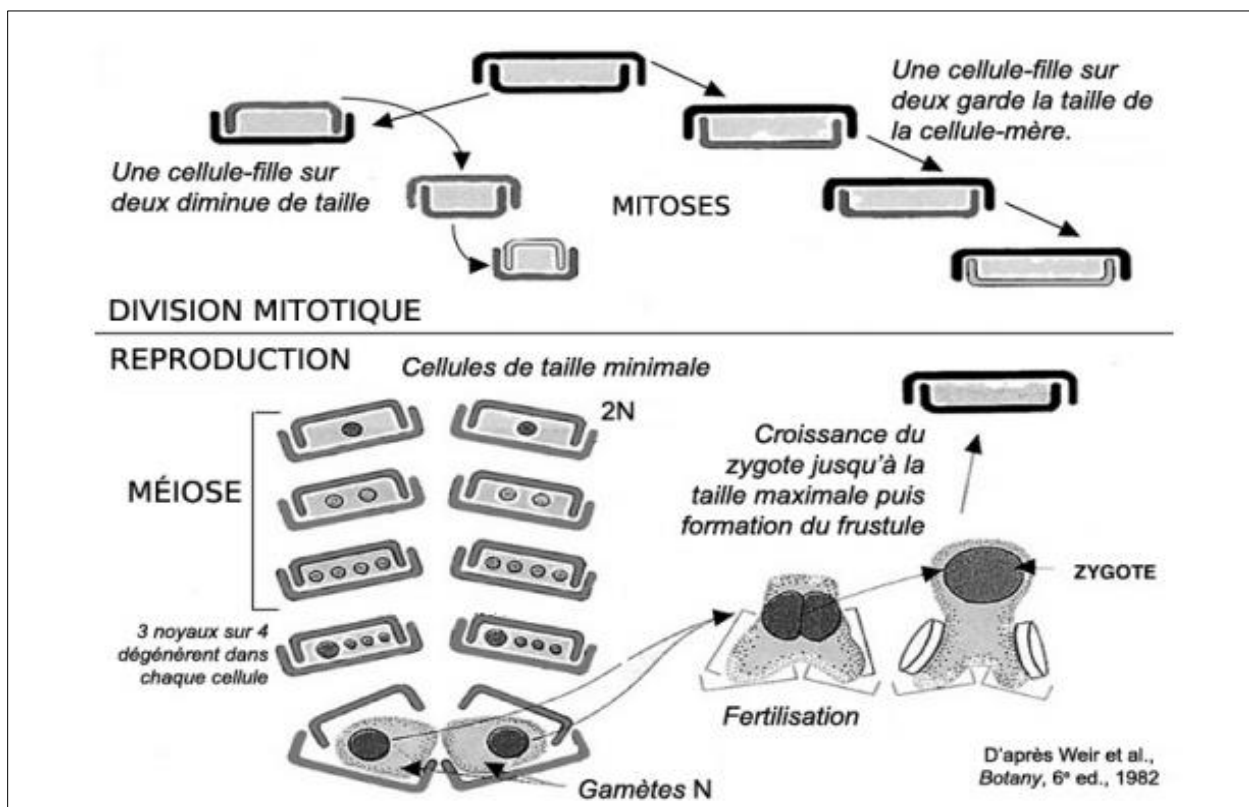
**Figure 03 :** Frustule d'*Enotia sp* (Lavoie et Hamilton, 2008)



**Figure 04** : (a) Diatomées centriques, symétrie radiale (Cyclotella spp.) (b) Diatomées pennées symétrie bilatérale (Gomphonema sp. Navicula sp. Cymbella sp) (Lavoie et Hamilton, 2008)

### 5.3. Multiplication et reproduction

Les diatomées se reproduisent par séparation des deux valves du frustule et sécrétion d'une nouvelle hypovalve. Chaque division produit une cellule de même taille que la cellule-mère ainsi qu'une cellule plus petite. Ce processus de bipartition engendre alors une réduction progressive de la taille de l'espèce (Figure 5) (Lavoie et Hamilton, 2008).



**Figure 05** : Représentation schématique des cycles de multiplication végétative et de la reproduction méiotique chez les diatomées (Leboucher, 2018).

Lorsque la taille de l'espèce atteint une valeur minimale critique ou lorsque les conditions environnementales ne sont pas favorables à la multiplication végétative, la reproduction se fait selon un mode sexué (production d'auxospores). La reproduction sexuée permet de regagner la taille maximale de l'espèce. (**Lavoie et Hamilton, 2008**)

#### **5.4. Cycle de vie des diatomées :**

Les diatomées possèdent un cycle de vie mono génétique diplophasique fortement liée aux variations de taille cellulaire. La présence du frustule confère aux diatomées un cycle de vie particulier caractérisé par l'alternance de deux phases : une phase de multiplication végétative et une phase de reproduction sexuée. La phase de multiplication végétative s'accompagne obligatoirement d'une diminution de la taille des cellules dans une population. La restauration de cellules de grande taille se produit par l'un des deux processus suivants : l'agrandissement cellulaire végétatif seulement observé chez certaines espèces de diatomées ou la reproduction sexuée (**Chepurnov et al., 2004 ; Kaczmarska et al., 2013**).

#### **5.5. Structure des diatomées**

Les diatomées (les Bacillariophyta) possèdent les chlorophylles a et , la fucoxanthine, un caroténoïde. Lorsqu'elle est le pigment dominant dans les cellules, cette dernière leur confère une couleur brun-jaune. Le glucide de réserve principal est la chrysolaminarine, un polysaccharide composé principalement de glucoses liés en B (1-3). Les diatomées ont une paroi caractéristique, appelée frustule, composée de deux pièces de silice cristallisée [Si(OH)] très finement ornementées. Les frustules sont composées de deux valves s'emboitant comme les deux moitiés d'une boîte de Pétri. La grande moitié est l'épithèque, tandis que la petite est l'hypothèque. La morphologie des frustules est très utile pour l'identification des diatomées et les frustules ont un certain nombre d'applications. La beauté du détail et la précision de la morphologie de ces frustules les ont rendus intéressants pour la nanotechnologie. Certains micro-organismes sont des produits (**Prescott et al., 2018**).

#### **5.6. Systématique des diatomées**

La systématique des diatomées se base sur l'observation des caractères structuraux et morphologiques des frustules. Ces observations sont tributaires de la performance technique

---

des outils de microscopie, ce qui explique la grande complexité de la systématique des diatomées et sa constante évolution. Actuellement, tous les auteurs sont d'accord pour subdiviser la classe des Bacillariophycées en deux sous-classes:

-Les Centrophycidées, ou diatomées centriques .De forme ronde, elles sont souvent comparées à des boîtes de Pétri.

-Les Pennatophycidées, ou diatomées pennées. De forme allongée, elles portent le nom de pennées en rapport aux stries disposées perpendiculairement à l'axe longitudinal rappelant la forme des plumes d'oiseaux.

Cette classification basée sur des critères morphologiques, fait relativement rare chez les micro-organismes, est aujourd'hui complétée par l'avancée de méthodes moléculaires telles que le métabarcoding. La complexité de l'approche taxonomique présente en effet quelques inconvénients, notamment le besoin de personnel qualifié. Cependant, l'application de ces méthodes moléculaires ne semble pas si simple à mettre en œuvre et démontre à ce jour un manque de concordance avec la taxonomie "classique". De plus, la très grande diversité des diatomées ne permet pas pour l'instant une analyse exhaustive des différents marqueurs moléculaires pour un nombre acceptable d'espèces (**Leboucher, 2018**).

### 5.7. Indice diatomique

Ces indices sont basés sur l'analyse du peuplement de diatomées périphytiques, algues brunes siliceuses unicellulaires vivant à la surface du substrat ou d'autres végétaux immergés. Les diatomées sont considérées comme les algues les plus sensibles aux conditions environnementales. Leur développement est étroitement lié à la température, à l'intensité lumineuse, aux caractéristiques hydrologiques et physico-chimiques et par conséquent, aux variations saisonnières et annuelles du milieu. Elles sont connues pour réagir aux pollutions organiques, salines, acides et thermiques.

Plus d'une vingtaine de méthodes basées sur les diatomées benthiques et destinées à évaluer la qualité des eaux ont été répertoriées en Europe (**Genin et al., 2003**).



## **Chapitre II :** **Matériel et méthodes**

## 1. Description et localisation de la zone d'étude

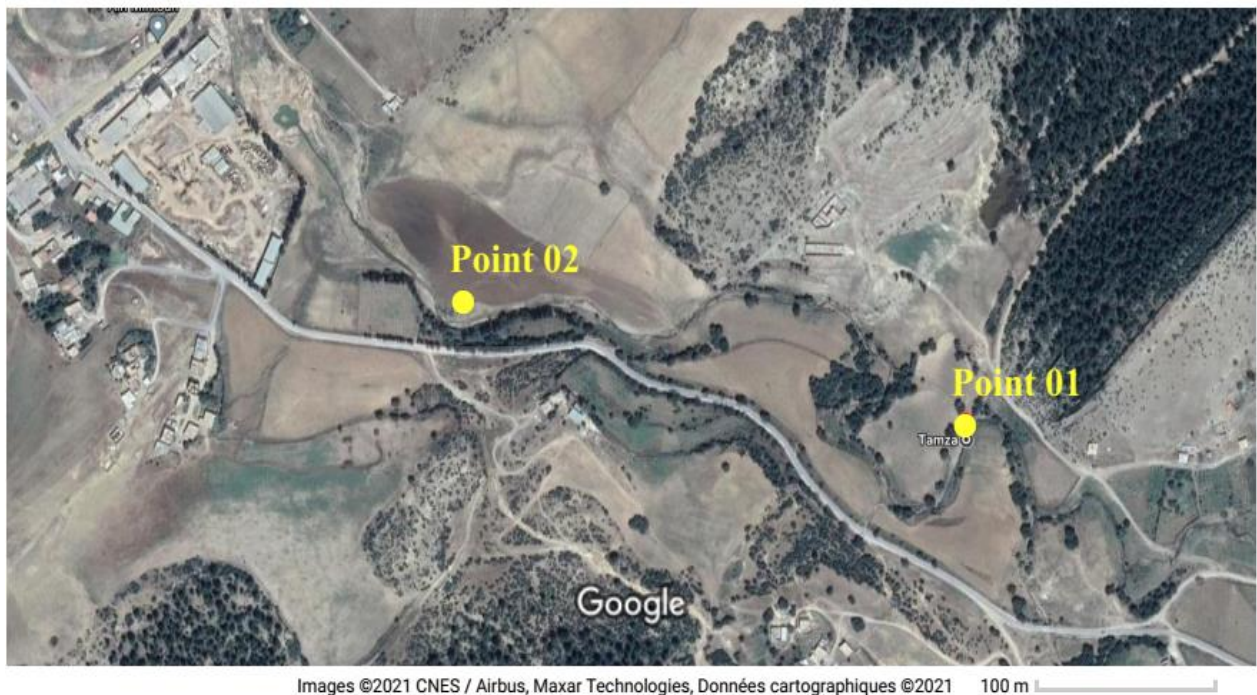
### 1.1. Oued Hanou

La zone d'étude est un cours d'eau appelé oued Hanou située dans la commune de Tamza, dans la région de d'Ain Mimoun à 28 km à l'Ouest de la wilaya de khenchela, deux points ont été choisis pour l'échantillonnage, les prélèvements ont été réalisés le 12 avril 2021.

Les coordonnées géographiques :

Point 01 : X = 35.4124167      Y = 6.9644166

Point 02 : X = 35.4134      Y = 6.9602



**Figure 06 :** Localisation géographique d'oued Hanou et les points échantillonnage (Google Maps, 2021).

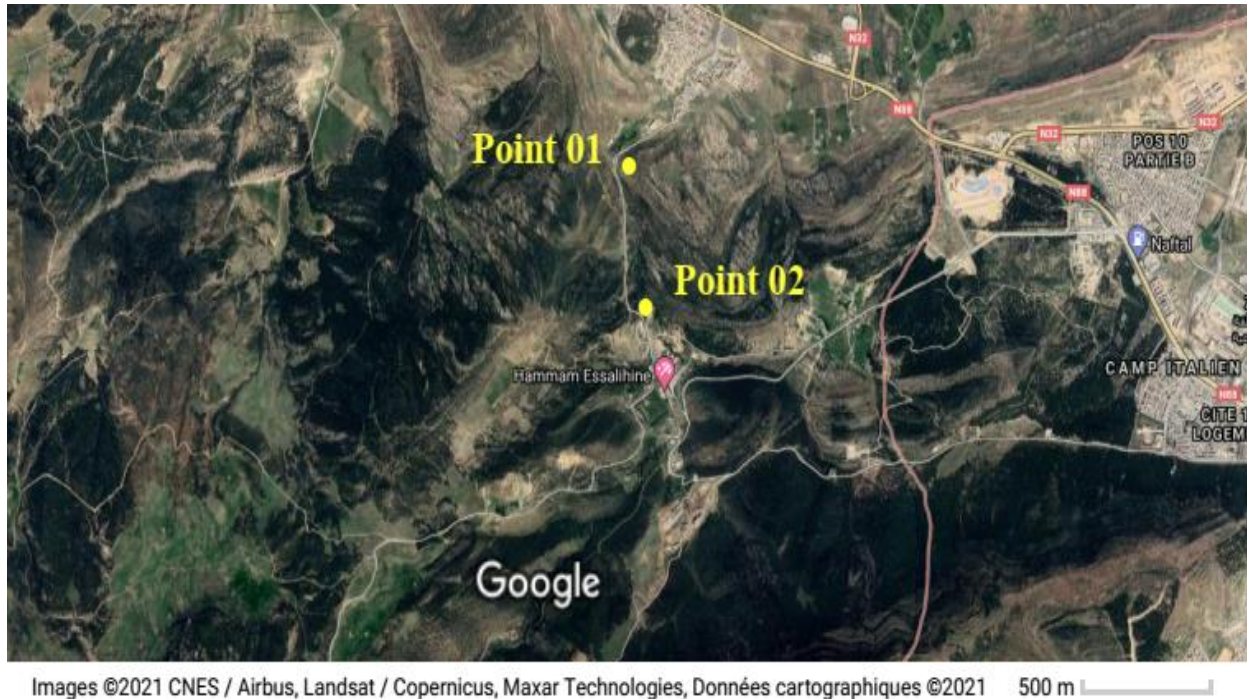
### 1.2. Oued Hammam Elssalhine

La zone d'étude la commune d'Elhamma, exactement oued hammam Elsalhine il est à 7km du chef-lieu de la wilaya de khenchela, sont eaux est d'une source thermale. Nous avons pris deux échantillons de deux points différents de prélèvement de l'oued, le prélèvement réalisé en 12 avril 2021.

Les coordonnées géographiques :

Point 01 : X = 35.45160 Y = 7.081721

Poin 02 : X = 35.447579 Y = 7.082345



**Figure 07** : La localisation d’oued Hammam Elsalhine et les points échantillonnage (Google Maps, 2021).

### 1.3. Climatologie

Le climat de la commune est de type méditerranéen continental à caractère semi-aride. Il se distingue par une saison humide et froide située aux mois d’automne et d’hiver et par une saison chaude et sèche durant le printemps et l’été. Les températures moyennes annuelles de la zone d’étude est dans la limite de 15,62 °C. Le régime thermique est relativement homogène. L’hiver est rigoureux comme en témoignent les données recueillies durant la période 2004-2014 ; que le mois le plus froid est janvier avec une température minimale de 1,8°C, alors que le mois le plus chaud est juillet avec une température maximale moyenne de 34,9°C. Le mois de mai est le plus pluvieux avec 92,49 mm pour la période considérée, alors que le mois de juillet est le plus sec avec 18,83 mm pour cette même période (Nasri, 2015).

## 2. Les paramètres physico-chimiques

### 2.1. La température

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (**Chapman et al., 1996**).

La température est un paramètre qu'on doit absolument mesurer sur le terrain, parce qu'elle tend à s'ajuster rapidement à la température ambiante. La température doit donc être obtenue par le biais d'une sonde ou d'un thermomètre à l'alcool, qu'on immerge dans le cours d'eau jusqu'à l'obtention d'une lecture stable. Il est préférable de garder le thermomètre, ou la sonde, immergé pendant la lecture afin d'éviter l'influence de la température ambiante. (**Hébert et Légaré, 2000**).

**Tableau 02:** Classification des diatomées selon le gradient optimal de température (**Van Dam et al., 1994**)

Classe	Gradient de température
Oligotherme	0 à 15° C
Mésotherme	15 à 30°C
Eutherme	30 °C et plus
Sténotherme	< 5 °C
Méthatherme	5 à 15 °C
Eurytherme	>15° C

## 2.2. La turbidité

La turbidité est un effet optique provoqué par la présence de particules très fines en suspension dans un milieu liquide : l'indice de réfraction de ces particules diffère de celui du liquide et on observe un flux lumineux diffusé par rapport au faisceau incident lorsque le milieu est éclairé (**Bonder et Silvestre, 2005**).

La turbidité plus élevée suggère une eutrophisation et une pollution organique plus importante dans les rivières caractérisées par des communautés typiques des milieux altérés (**Lavoie et Hamilton, 2008**).

**Tableau 03** : Exemple de classification de la turbidité à l'échelle (**Robert, 2014**).

Turbidité (NTU)	Classe de qualité
< 5	Eau claire voire « incolore »
5 - 30	Eau légèrement trouble ou légèrement colorée
> 50	Eau trouble ou colorée
> 200	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité appelé aussi eau de surface « africaine »

## 2.3. Potentiel d'hydrogène (PH)

Ce paramètre est le reflet de la concentration d'une eau en ions H<sup>+</sup>. Il donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau. Les eaux de rivière ont une valeur de pH propre en fonction du sous-sol du bassin versant. Une mesure de pH différente de la valeur habituelle du cours d'eau peut être l'indice d'une arrivée de pollution (**Poncet, 2014**).

**Tableau 04** : Classification des diatomées selon leur gradient optimal PH (Van Dam et al.,1994).

Classe	Gradient de PH
Acidobiontique	Optimal lorsque le PH < 5.5
Acidophile	Généralement lorsque le PH < 7
Circumneutre	Généralement lorsque le PH ~ 7
Alkaliphile	Généralement lorsque le PH > 7
Alkalibiontique	Exclusivement lorsque le PH >7
Indifférente	Sans optimum apparent

#### 2.4. La dureté

La dureté de l'eau s'exprime en quantité équivalente de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) Les cations responsables de la dureté sont principalement le calcium et le magnésium mais les ions strontium, fer, baryum, aluminium et manganèse sont présents en faible quantité.

Le lessivage des roches sédimentaires, l'infiltration dans le sol et le ruissellement sont parmi les sources naturelles de la dureté. Habituellement, les eaux dures proviennent de régions où les roches sont calcaires et où la couche arable est épaisse. D'autres facteurs peuvent influencer la dureté de l'eau comme les effluents industriels de produits chimiques inorganiques et ceux des industries minières (Gaudreau, 1991).

**Tableau 05** : Le tableau ci-dessous permet de catégoriser les différents degrés de dureté de l'eau (Gaudreau, 1991).

Dureté (mg/1 $\text{CaCO}_3$ )	Degré de dureté
0-30	Très douce
31-60	Douce
61-120	Modérément douce
121-180	Dure
plus grande que 180	Très dure

### 2.5. La conductivité électrique et La salinité

La conductivité électrique exprime la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. L'eau très pure est un isolant qui oppose une grande résistance au passage de l'électricité, contrairement à une eau chargée en sels minéraux (calcium, magnésium, sodium, potassium) d'origine naturelle ou polluante. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (**Poncet, 2014**).

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans l'eau, c'est la masse en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau (**Aminot et Kérouel, 2004**).

**Tableau 06:** Classification des diatomées selon leur préférence de salinité (**Van Dam et al., 1994**)

Classe	Salinité (‰)
Eau douce	< 0.2
Eau douce à légèrement saumâtre	< 0.9
Eau saumâtre-douce	0.9 - 1.8
Eau saumâtre	1.8 - 9.0

### 2.6. Oxygène dissous

La teneur des eaux en oxygène dissous dépend de plusieurs facteurs, dont l'équilibre des pressions partielles entre l'oxygène de l'air et l'oxygène dissous dans l'eau, des apports dus à la photosynthèse algale, des processus de respiration des organismes et de dégradation de la matière organique détritique. Il faut également tenir compte de la salinité et de la température de l'eau, la solubilité de l'oxygène étant d'autant plus importante que la température est plus basse, elle atteignant à pression normale 14,16 mg O<sub>2</sub>/L à 0 °C et seulement 6,95 mg O<sub>2</sub>/L à 35,9 °C (**Dussart, 1992 in Druart et Balvay, 2007**).

C'est l'un des paramètres les plus sensibles à l'apport de pollution organique dans un cours d'eau (**Bontoux, 1983**).

### 2.7. Demande biologique d'oxygène (DBO) et Demande chimique d'oxygène (DCO)

Quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour qu'ils décomposent les déchets biologiques en dioxyde de carbone, en eau et en minéraux.

La DBO est généralement exprimée en milligrammes d'oxygène dissous par litre d'eau pendant un nombre de jours précis à une température donnée. La DBO d'une eau très polluée par des rejets d'égouts est élevée, ce qui signifie qu'il ne reste presque plus d'oxygène dissous dans l'eau. Quand les taux d'oxygène dissous sont faibles, les micro-organismes anaérobies produisent des composés malodorants détériorant davantage la qualité de l'eau (**Berg, et al., 2009**). Les mesures de la DCO et de la demande biochimique en oxygène à 5 jours (DBO<sub>5</sub>) sont les paramètres globaux les plus répandus pour caractériser les matières polluantes dans les eaux usées urbaines. La demande chimique en oxygène est retenue mondialement comme critère d'évaluation et apparaît dans toutes les lois concernant les rejets (**Silva, 2008**).

### 2.8. La saprobité

La saprobité est l'ensemble des propriétés physiologiques d'un organisme conditionnant sa capacité à se développer dans un système pollué par la matière organique. Les pourcentages des taxons par classes de saprobité sont calculés en se référant à la table de la classification de saprobité de Van Dam et al., (1994). Cette table combine les propriétés indicatrices des diatomées pour la présence de matière organique biodégradable et les concentrations en oxygène (**Van Dam et al., 1994**).

**Tableau 07** : Classification des diatomées selon la saprobité (**Van Dam et al., 1994**).

Saprobité	Saturation O <sub>2</sub> (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)
Oligosaprobite (oxydation complète)	>85	< 2
Bêta-mesosaprobite	70 – 85	2 – 4
Alpha-mesosaprobite	25 – 70	4 – 13
Alpha-méso/polysaprobite	10 – 25	13 – 22
Polysaprobite (processus de réduction)	<10	>22

## 2.9. Matière en suspension

Les matières en suspension consistent en matières diverses, organiques et inorganiques, en suspension dans l'eau. Une forte teneur en matières en suspension peut indiquer une érosion. Les matières en suspension constituent un véhicule pour les contaminants. En grande quantité, elles empêchent la pénétration de la lumière dans l'eau, favorisant ainsi la prolifération des algues et nuisant à l'ensemble du biotope aquatique (**Bonn, 2011**).



1. Ecosystème d'une rivière peu de matière en suspension



2. Même rivière chargé en matière en suspension

**Figure 08:** pollution par les matières en suspension (**Berg et al., 2009**).

### 3. Echantillonnage

#### 3.1. Prélèvement

Le prélèvement a été réalisé en 12 avril 2021 conformément à la norme AFNOR T90-354.. Ont utilisé cinq pierres immergées à 25cm de profondeur, sont choisies le biofilm est gratté à l'aide d'une brosse à dent sur une surface de 10 cm<sup>2</sup>, ensuite nous avons additionné de formol à 30%, à raisons d'une concentration finale de 3% à la suspension brute récoltée. Où ont gardé les échantillons au place frais et à l'obscurité depuis une semaine jusqu'au moment du traitement en laboratoire



**Photo 01** : Pierres immergées choisies pour le prélèvement



**Photo 02** : Matériel pour le prélèvement des échantillons.



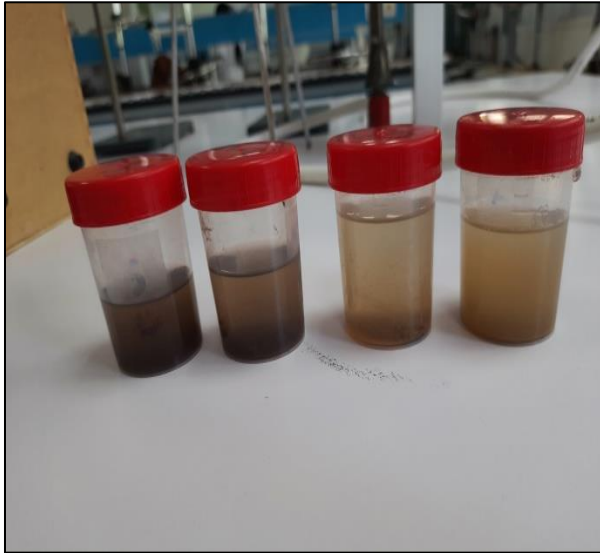
**Photo 03 :** Point de prélèvement  
oued Hanou « Ain Mimoun »



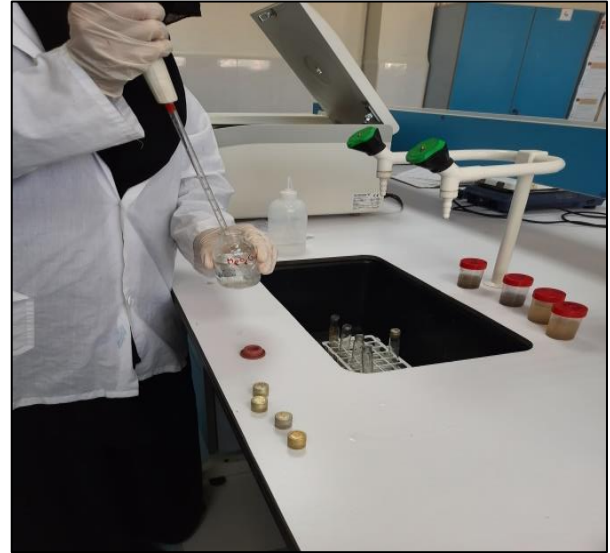
**Photo 04 :** Point de prélèvement  
Oued Hammam Elssalhine

### 3. 2. Préparation du matériel diatomique

La suspension contenant les diatomées doit être montée sur lame et couverte par lamelle pour l'analyse microscopique.



**Photo 05**



**Photo 06**

**Photos 05, 06 : Préparation des échantillons**

-Un (01) ml de la suspension doit être déposé sur une lame nettoyée préalablement par l'alcool, il faut préparer trois lames pour chaque point de prélèvement, ensuite on sèche les lames à l'air libre ou avec une plaque chauffante à l'abri de poussier.



**Photo 07 : préparation de la lame**

À la fin, la lecture des lames se fait par balayage en recouvrant toute la surface de la lame, sous microscope au grossissement 400x. Nous ajoutons une goutte d'huile d'émersion pour l'observation au grossissement  $\times 1000$



**Photo 08 :** Observation microscopique et dénombrement

Pour chaque observation nous avons noté :

- le numéro de l'échantillon
- Dessiner des esquisses et dénombré les diatomées
- Prendre en photo les diatomées afin de faciliter l'identification.
- L'identification on utilisant la clé de détermination et la base de données du logiciel OMNIDIA.
- Un comptage est effectué sur 400 diatomées, afin de dresser un inventaire taxonomique, trois répétitions pour chaque point de prélèvement.

#### **4. Les indices de la qualité des eaux**

Pour l'estimation de la qualité biologique de l'eau ; Cinq (05) indices diatomiques ont été testés : l'indice biologique de polluosensibilité (IPS) l'indice biologique diatomique (IBD), l'indice diatomique générique (IDG), l'indice de biodiversité de Shannon et Weaver, et à la fin l'indice de l'autoécologie de Van dam et *al.* (1994) qui attribue à chaque espèce de diatomées, des valeurs écologiques par paramètres, créant ainsi différentes classes de qualité des eaux.

#### 4.1. Indice de polluosensibilité spécifique d'I.P.S

L'indice de polluosensibilité spécifique ou I.P.S utilisant toutes les genres, espèces et variétés présentes dans l'eau, elles sont classées selon leur sensibilité à la pollution (**Genin, et al., 2003**).

#### 4.2. Indice biologique diatomique I.B.D

L'indice biologique diatomique IBD basé essentiellement sur la trophie des eaux et la polluosensibilité des taxons. Les valeurs de cet indice évoluent essentiellement en fonction de la trophie des eaux (éléments nutritifs comme les nitrates et les phosphates), et plus particulièrement du phosphore qui est limitant pour la production végétale dans les eaux douces (**Merot, 2006**).

#### 4.3. Indice diatomique générique I.D.G

Le principe de base du calcul de l'indice diatomique générique IDG, s'appuie sur une hiérarchisation des genres du type de celle de l'IBD, en fonction de leur sensibilité globale aux pollutions ; Elle est également pondérée par l'attribution d'une note d'autant plus élevée que la signification écologique du genre est importante .Cet indice est sensible aux modifications de la qualité organique de l'eau et de la nature du substrat (**Prygiel et Coste, 2000**).

#### 4.4. L'indice de Shannon et Weaver

L'indice de Shannon et Weaver permet de caractériser la diversité d'un peuplement. Un milieu favorable à l'installation de nombreuses espèces correspond à un indice de diversité élevé (**Prygiel et Coste, 2000**).

#### 4.5. Autoécologie

Il en existe plusieurs, classés selon l'objectif poursuivi : de type saprobique (qui traduit l'enrichissement en matière organique), de type trophique (qui montre l'enrichissement en substances nutritives azote et phosphore), ou bien encore qui exprime l'acidification du milieu. L'auto écologie du peuplement de diatomées est basée sur les classifications de Van Dam et *al.* Elles nous sont données automatiquement par le logiciel OMNIDIA (**Prygiel et Coste, 2000**).

### 5. Analyse physico-chimique des cours d'eau

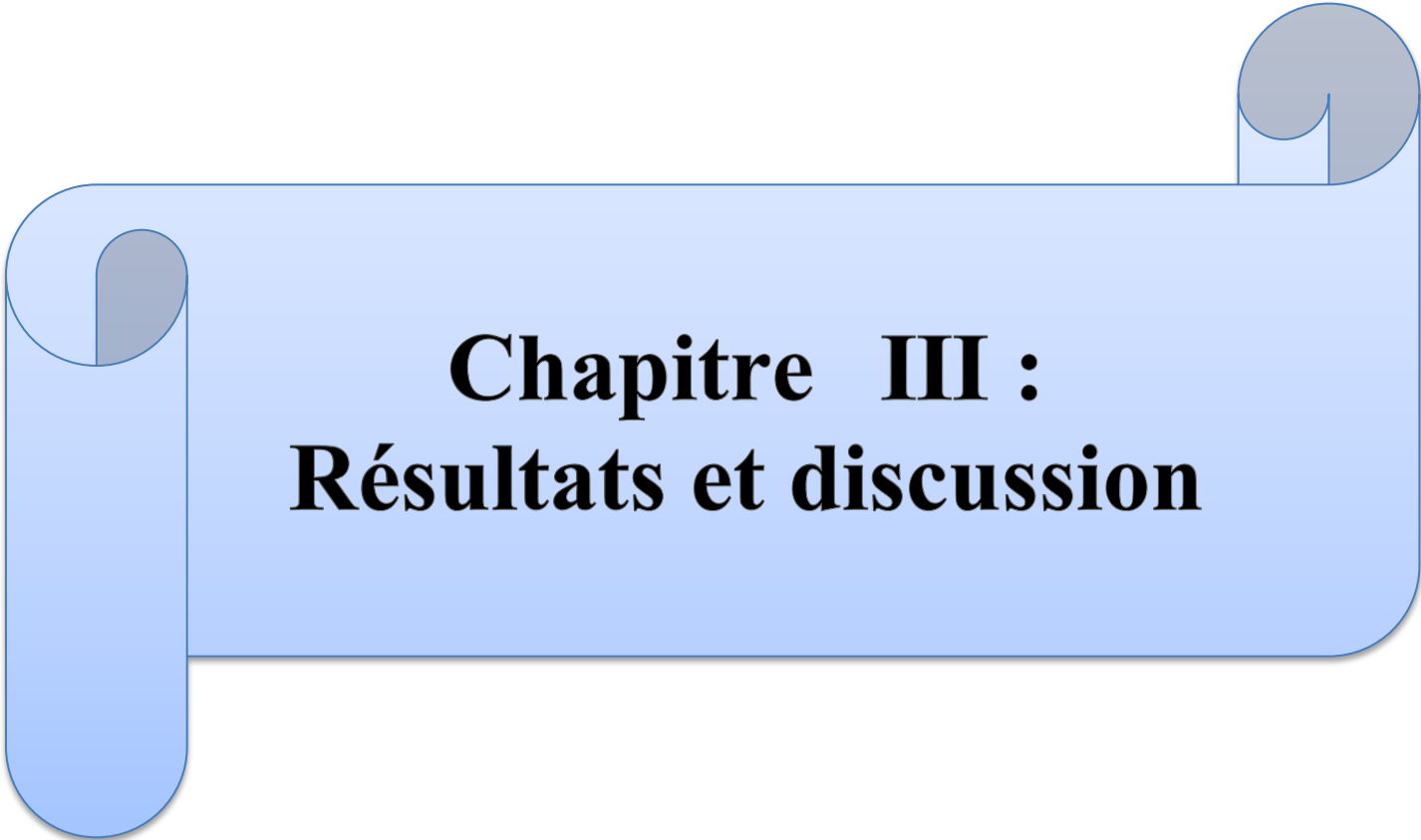
Afin de vérifier les résultats de la bio-évaluation par les indices diatomique, une analyse physico-chimique des paramètres [Ph, T, Oxygène dissous DO (Quantité d'oxygène libre contenue dans l'eau sous forme dissoute), Conductivité et TDS ( Total des solides dissous)] a été réalisée in-situ à l'aide d'appareil multi paramètre « YSI ProDSS ».



**Photo 09** : Analyse physico-chimiques  
*in-situ* à Oued Hammam Elssalhine



**Photo 10** : Analyse physico-chimiques  
*in-situ* à oued Hanou



**Chapitre III :**  
**Résultats et discussion**

## 1. Résultats

### 1.1. Analyse physico-chimique

Le tableau 08 représente les résultats d'analyse physico-chimique réalisée *in-situ* dans les eaux d'oued Hanou et oued Hammam Elsalhine dans trois points différents.

Les résultats montrent une légère alcalinité des eaux d'Oued Hanou comparativement avec celle d'Oued Hammam Elsalhine PH(moy)=8,34 et PH(moy)=7,76 respectivement. La salinité est très prononcée dans les eaux de Oued Hammam Elsalhine indiquée indirectement par la conductivité avec une moyenne de 2708  $\mu\text{S}/\text{cm}$  contre une moyenne de 435,81  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans les eaux d'Oued Hanou. Quant à la quantité d'oxygène dissous les eaux de oued Hanou semblent mieux oxygénées avec DO (moy)= 8,13 mg/L que celles d'Oued Hammam Elsalhine DO (moy)= 7,12 mg/L. Concernant la température et le total des solides dissous TDS les eaux thermales de Hammam Elsalhine sont plus chaudes, et avec des valeurs de TDS supérieures de six fois à celles de d'Oued Hanou.

**Tableau 08:** les résultats d'analyse physico-chimique des cours d'eau (oued Hanou et oued Hammam Elsalhine).

Cours d'eau	Point d'analyse	PH	Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	DO (mg/L)	T °C	TDS (mg/L)
Oued Hammam Elsalhine	1	7,05	2706	7,14	29,1	1759,03
	2	8,13	2716,5	7,08	29,25	1765,8
	3	8,15	2701,5	7,14	29,15	1756,06
Oued Hanou	1	8,41	449,3	8,2	25,35	289,92
	2	8,34	443,5	8,1	24,9	291,46
	3	8,27	414,6	8,01	25,95	269,50

1.2. Genres et espèces identifiées dans le cours d'eau oued Hanou

Le dénombrement des diatomées dans le cours d'eau oued Hanou, nous a permis d'identifier 18 espèces sur un totale de 400 frustules dénombrées. Le nombre le plus élevé est attribué aux genres et/ou espèces : *Cymbella sp*, *Pinnularia viridus* et *Thalassionema nitzschgioides* avec respectivement une moyenne de 189.19, 42.53 et 38.78 unité sur 400 diatomées dénombrées. Pour les espèces moins présentes dans nos échantillons avec moyenne de 0.78 unité sur 400 diatomées ce sont les espèces *Amphipleura pellucida* et *Amphora sp*.

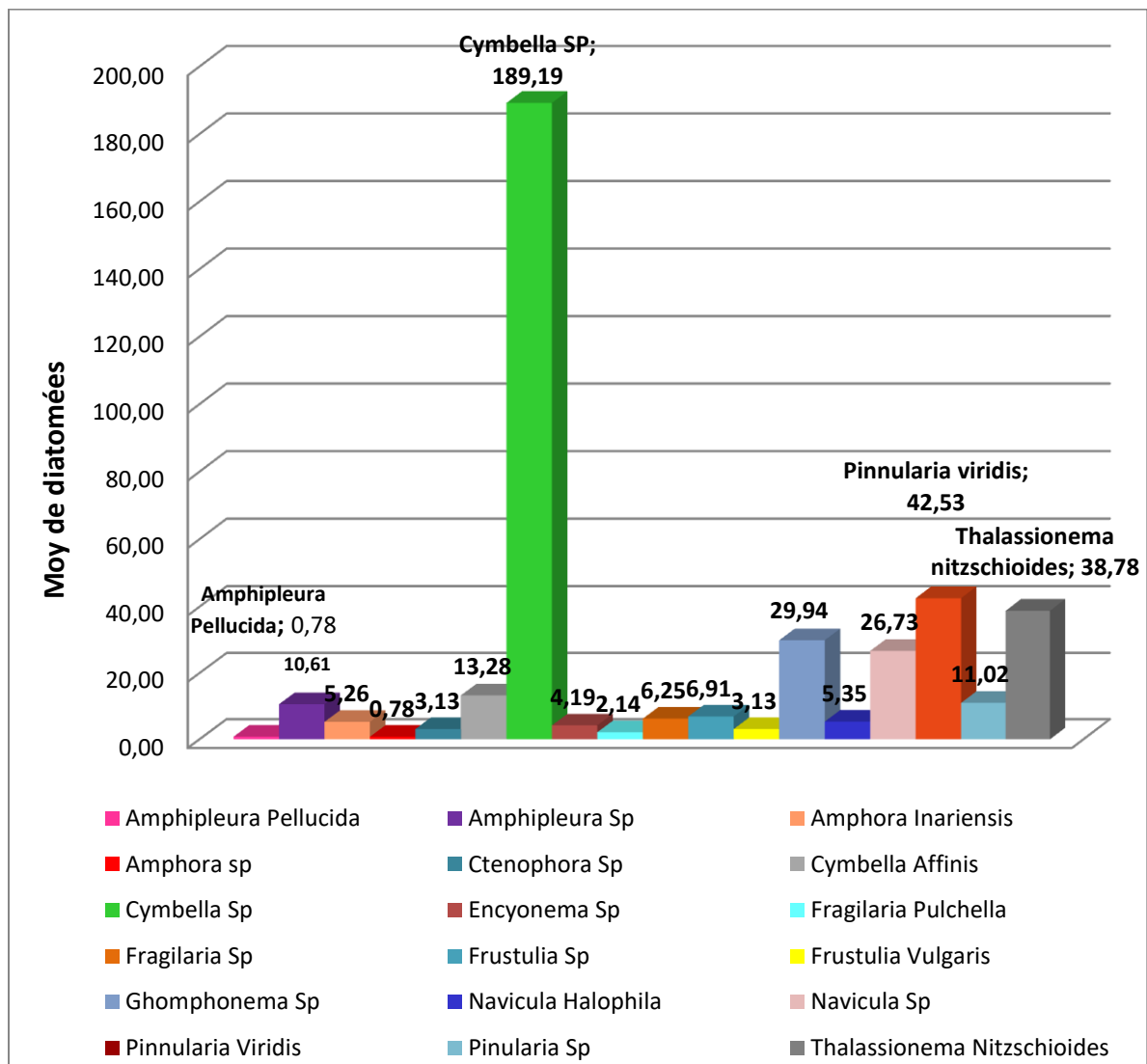


Figure 09 : Genres et espèces identifiées dans le cours d'eau oued Hanou

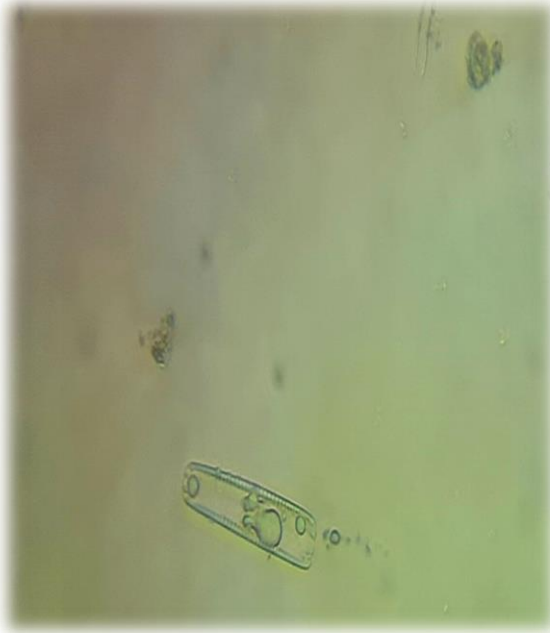
*Espèces identifiées dans le cours d'eau oued Hanou*



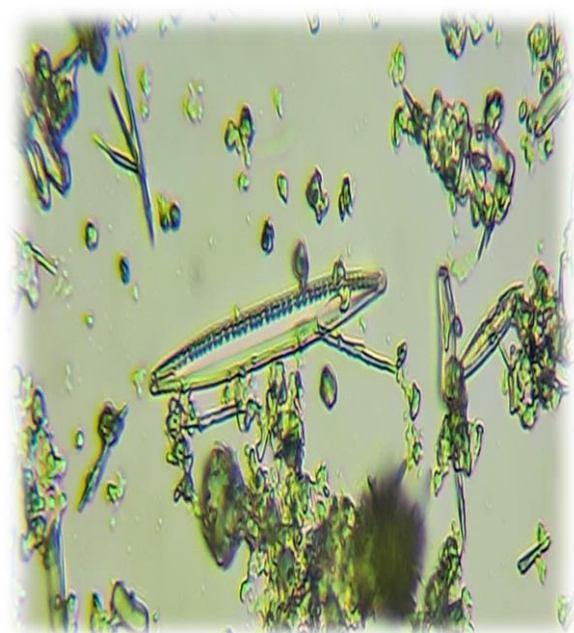
**Photo 10:** *Cymbella affinis*



**Photo 11:** *Frustulia vulgaris*



**Photo 12 :** *Thalasionema nitzischioides*



**Photo 13:** *Fragilaria sp*

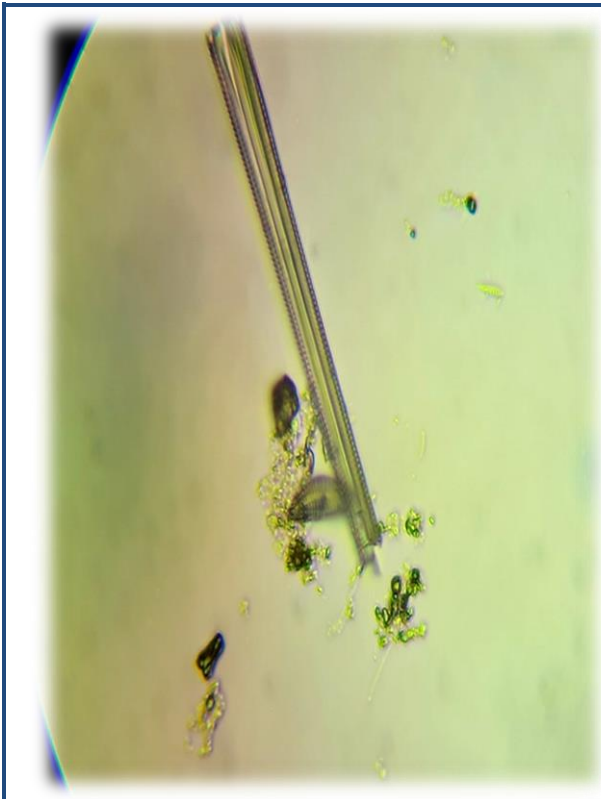


Photo 14 : *Pinnularia viridus*



Photo 15 : *Amphipleura pulchella*

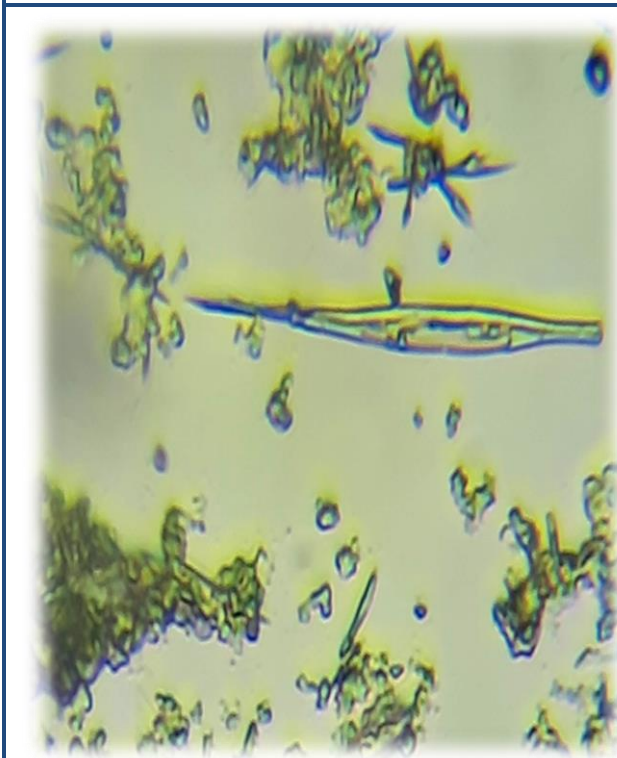


Photo 16 : *Cténophora sp*

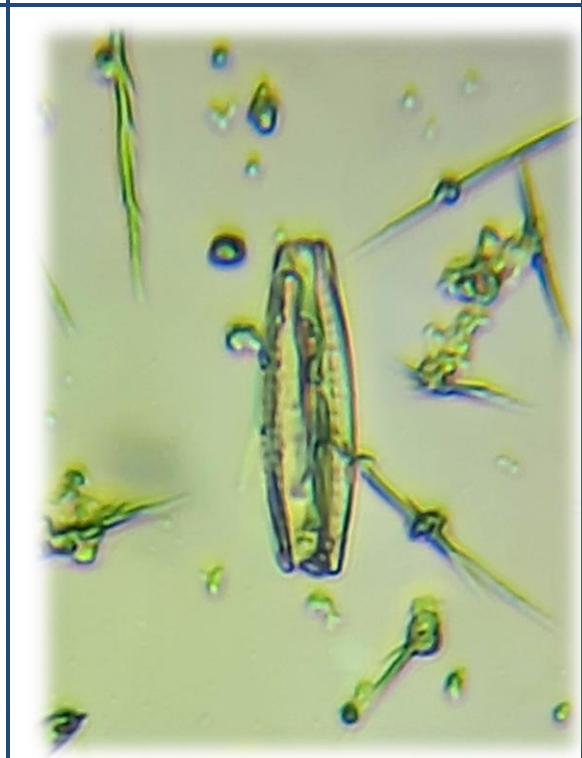


Photo 17 : *Amphora ineriensis*

1.3. Genres et espèces identifiées dans le cours d'eau Hammam Elsalhine

Le nombre des genres et espèces que nous avons pu identifier dans la cours d'eau de Hammam Elsalhine été 18 espèces, sur un total de 400 frustules dénombrées, le nombre le plus élevés est attribué aux espèces, *Navicula sp*, *Eunotia sp*, *Amphipleura sp* et *Cymbella affins*, avec respectivement une moyenne de 132,35 – 93,66 – 38,08 et 36,55 unité.

Les espèces les moins présentes dans nos échantillons sont *Diploneis Sp* avec une moyenne de 1,02 unité, *Cymbella sp* et *Craticula sp* avec une moyenne de 1,05 unité sur 400 diatomées dénombrées.

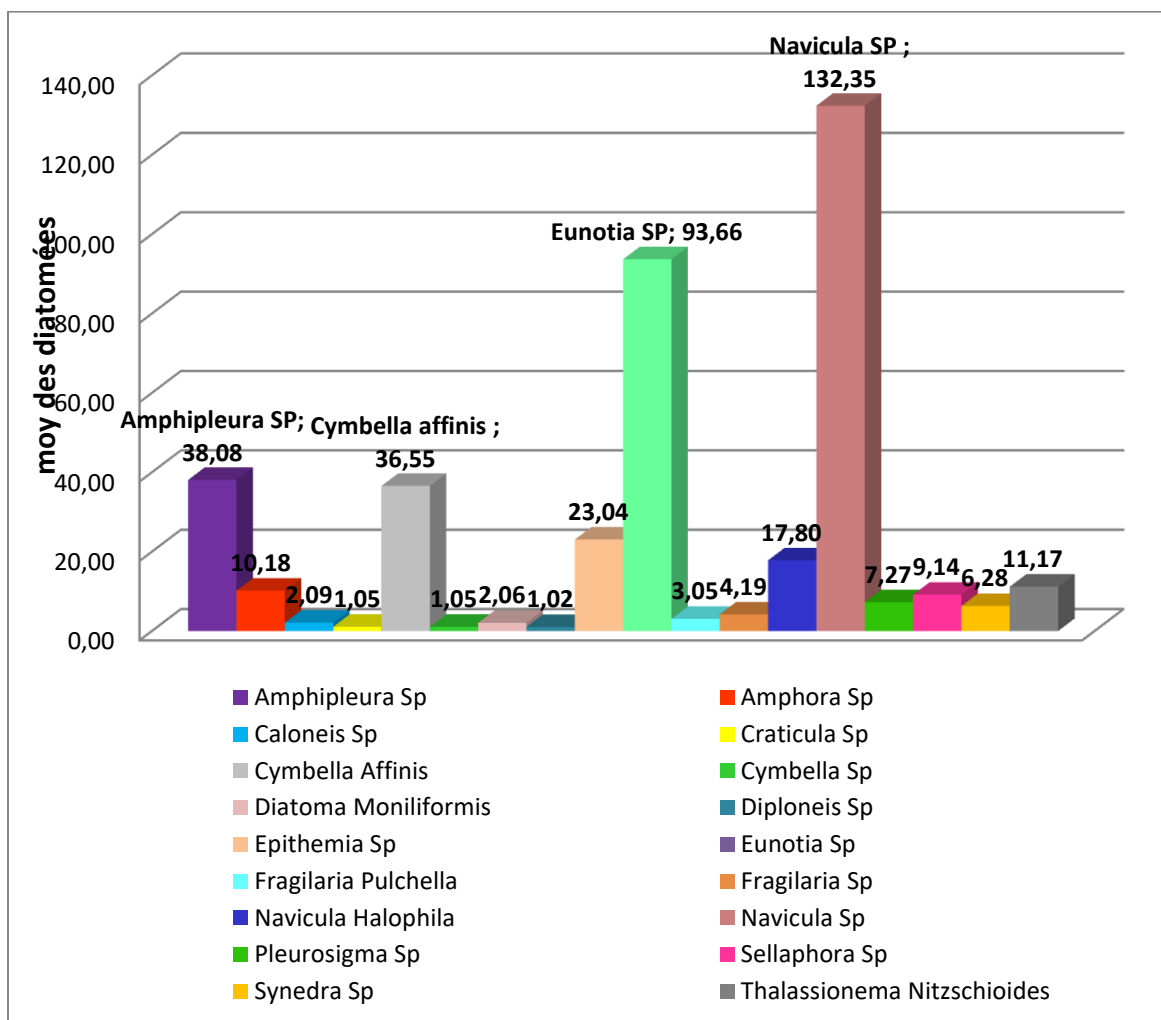


Figure 10 : Genres et espèces identifiées dans le cours d'eau Hammam Elsalhine

Genres et espèces identifiées dans le cours d'eau Hammam Elsalhine

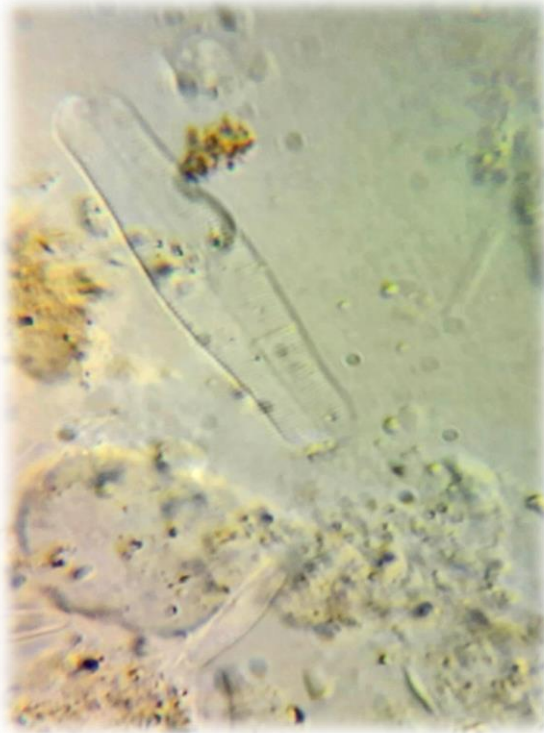


Photo 18 : *Caloneis sp*



Photo 19 : *Diatoma moniliformis*



Photo 20: *Craticula halophila*

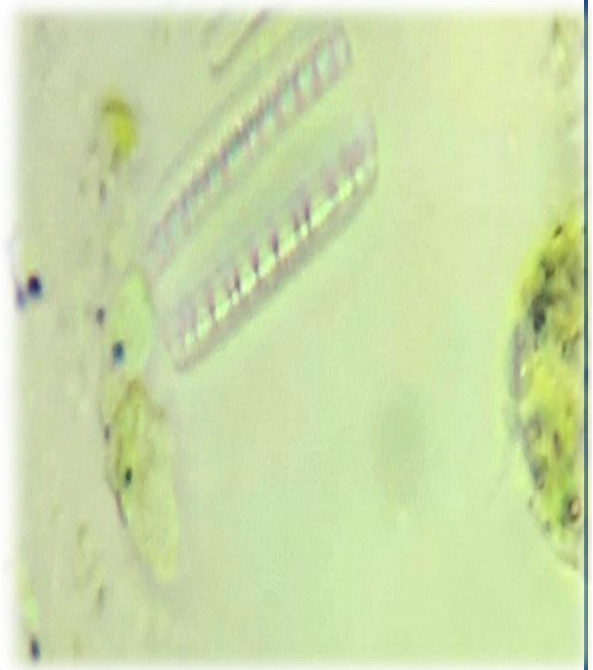


Photo 21 : *Epithemia sp*

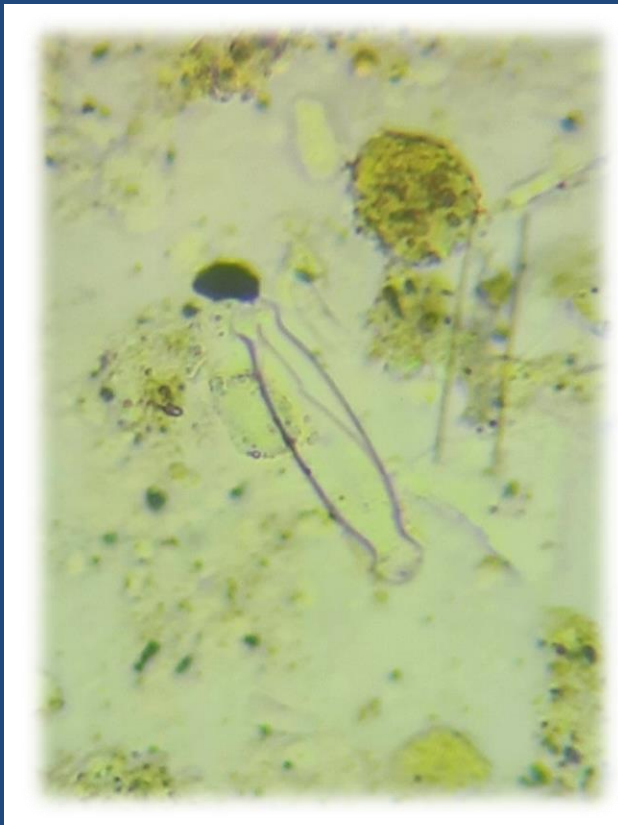


Photo 22 : *Navicula sp*



Photo 23 : *Pleurosigma sp*

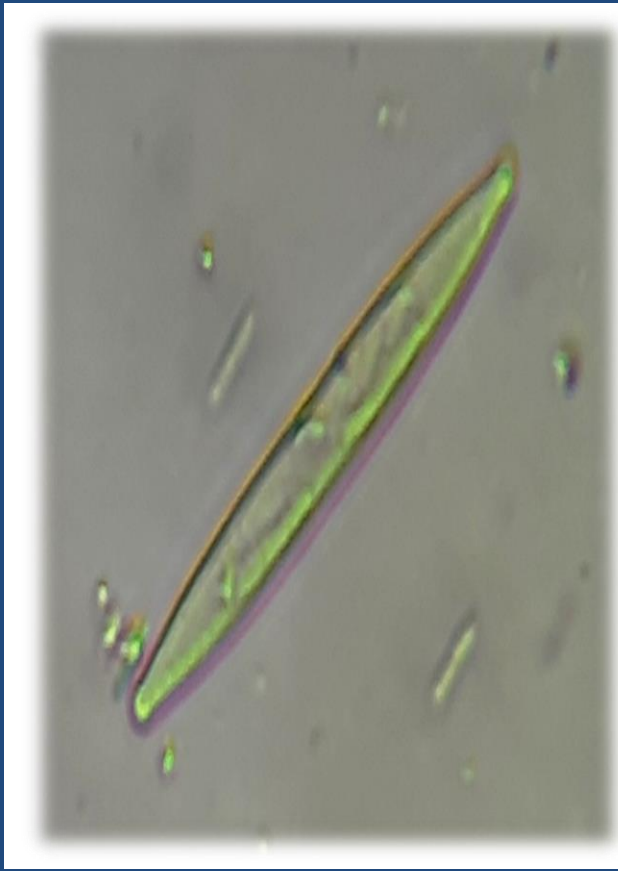


Photo 24 : *Fragilaria pulchella*

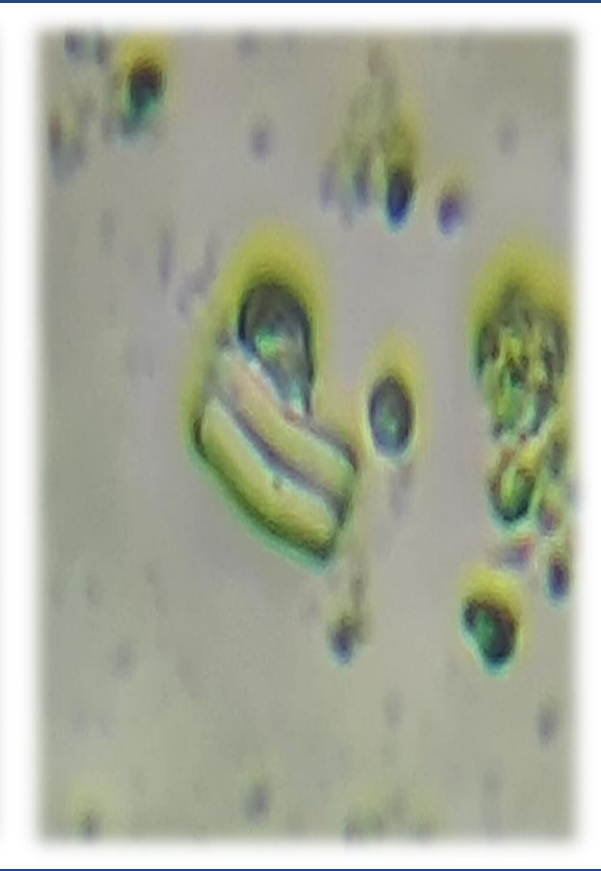


Photo 25 : *Eunotia sp*

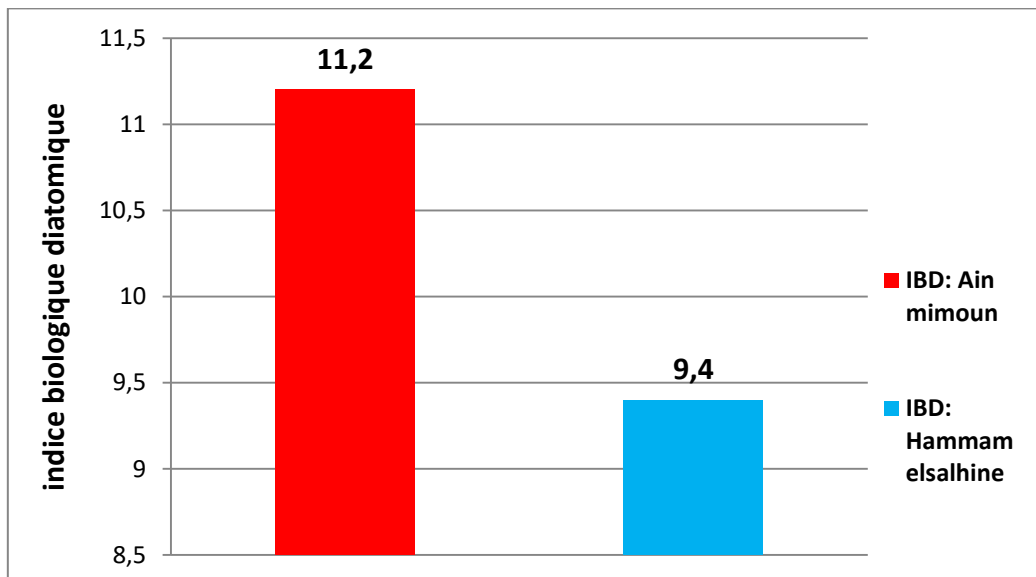
## 1.4. Indices diatomiques

### 1.4.1. Indice biologique diatomique (I.B.D)

La figure 11 représente les valeurs de l'indice Biologique Diatomique (I.B.D) des deux cours d'eau Oued Hanou et de Hammam Elsalhine.

L'I.B.D traduit plus particulièrement le niveau de pollution organique (saprobie) et trophique (nutriment : azote, phosphore). Il est également susceptible d'être impacté par la contamination par des toxiques (micropolluants minéraux ou synthétiques).

Selon nos résultats L'IBD d'oued Hammam Elsalhine enregistré été inférieur à celui de Oued Hanou où nous avons enregistré 9,4 contre 11,2 respectivement, une diminution de près de 16 %.



**Figure 11** : l'indice biologique diatomique des deux cours d'eau Oued Hanou et Oued Hammam Elsalhine.

**Tableau 09** : l'indice biologique diatomique des deux cours d'eau

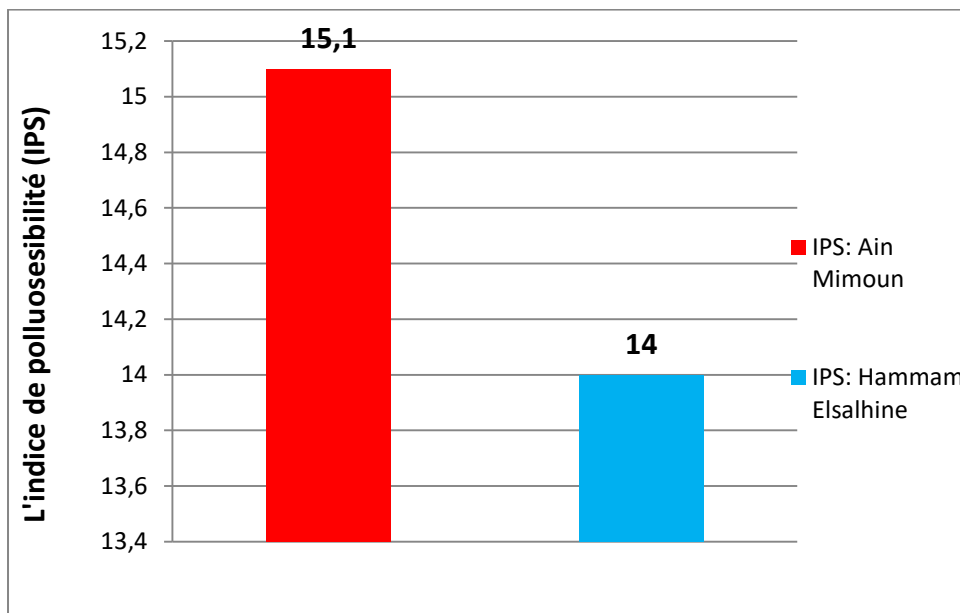
Valeur d'I.B.D	(Oued Hanou = 11.2) 9 à 13	(Oued Hammam Elsalhine = 9.4) 9 à 13
Classe	« C »	« C »
Etats Ecologique	Etat moyen	Etat moyen <i>Proche mauvais état « D » de 09 à 05</i>

### 1.4.2. Indice de polluosensibilité (I.P.S)

La figure 12 montre les valeurs de l'indice polluosensibilité (I.P.S) des deux cours d'eau Oued Hanou et de Hammam Elsalhine.

L'indice de polluosensibilité donne un aperçu sur les variations qualificatives et quantitatives des peuplements et des communautés des diatomées lors d'une pollution.

Nos résultats montrent des valeurs d'IPS proches, la différence entre ces deux valeurs a été estimée à 7.3%, nous avons enregistré IPS=15.1 à Oued Hanou et IPS=14 à oued Hammam Elsaalhine,

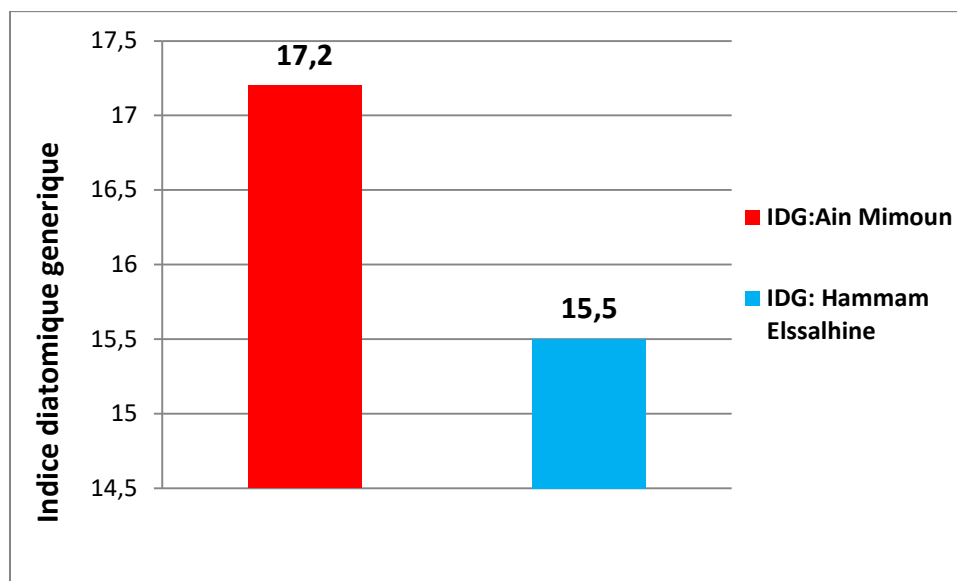


**Figure 12 :** L'indice de polluosensibilité des deux cours d'eau Oued Hanou et Oued Hammam Elsalhine.

### 1.4.3. Indice Diatomique Générique (I.D.G)

L'indice diatomique générique est sensible aux modifications de la qualité organique de l'eau et de la nature du substrat.

Les résultats d'indice IDG sont illustrés dans la figure 15. Nos résultats montrent une différence significative entre les deux cours d'eau, IDG = 17.2 dans le cours d'eau Oued Hanou, quant au cours d'eau Oued Hammam Elsalhine nous avons enregistré une diminution de plus de 9,9 % comparativement à celui enregistré à Oued Hanou avec un IDG = 15.5.



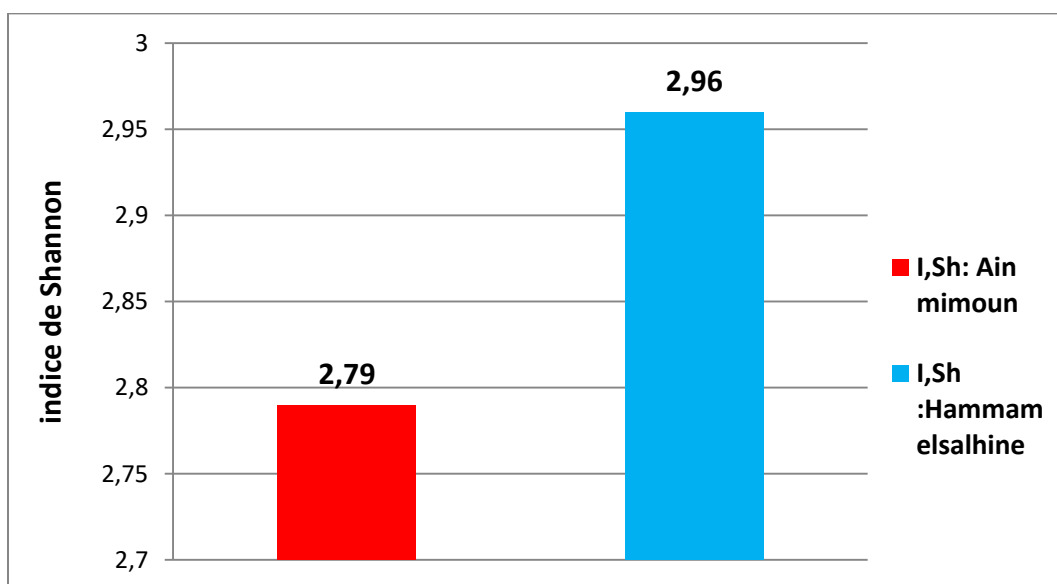
**Figure 13 :** L'indice Diatomique Générique des deux cours d'eau Oued Hanou et Oued Hammam Elsalhine.

#### 1.4.4. Indice de Shannon et Weaver

La figure 14 représente les valeurs de l'indice de Shannon et Weaver enregistré dans les deux cours d'eau Oued Hanou et Oued Hammam Elsalhine.

L'indice de Shannon donne des informations sur la diversité d'un peuplement dans un biotope donné.

Nos résultats montrent une différence minime entre les deux cours d'eau, où nous avons enregistré la valeur de 2,76 à Oued Hanou et 2,96 à Oued Hammam Elsalhine, une légère augmentation de 5,7 %.



**Figure 14 :** l'indice de Shannon et weaver des deux cours d'eau Oued Hanou et Oued Hammam Elsalhine.

### 1.5. Indice de l'autoécologie

Van Dam et *al.*, (1994) ont attribué à chaque espèce de diatomée, des valeurs écologiques par paramètres, créant ainsi différentes classes de qualité.

Les tableaux (11,12, 13, 14, 15,16 ,17) résument les résultats de l'indice autoécologique.

#### 1.5.1. Classe de PH

Les résultats du tableau 10 montrent que les diatomées dominant identifiées dans le cours d'eau Oued Hanou sont des diatomées alcalibionte (classe 05), et la classification des diatomées selon leur gradient optimal de PH est  $PH > 7$ .

En revanche à Oued Hammam Elsalhine nous avons enregistré une dominance des diatomées alcaliphile (classe 04) la valeur de PH est toujours  $> 7$ .

**Tableau 10 :** Classe de PH selon l'indice de **Van Dam et al.**, (1994).

Cours d'eau	Paramètre	1	2	3	4	5	6	7	Dominance
Oued Hanou	Classe de PH	0	0	0	58	98			Alcalibionte
Hammam elsalhine		0	0	0	135	33			Alcaliphile

#### 1.5.2. La salinité

Les deux cours d'eau montrent un peuplement majoritairement caractéristique des eaux douces légèrement saumâtre où la salinité est inférieure à  $< 0,9$ .

**Tableau 11 :** Classe de salinité selon l'indice de **Van Dam et al.**, (1994).

Cours d'eau	Paramètre	1	2	3	4	5	6	7	Dominance
Oued Hanou	Classe de salinité	0	55	0	15	0			Douce légèrement saumâtre
Hammam elsalhine		0	90	0	50	0			Douce légèrement saumâtre

### 1.5.3. La sensibilité à la présence d'azote

Les peuplements des cours d'eau oued Hanou Oued Hammam Elsalhine étudiées sont dominés par des diatomées N-autotrophes sensible (classe 01) selon l'indice écologique de Van dam et *al.* (1994). On trouve néanmoins une proportion non négligeable de taxons et des individus N-autotrophe sensible (classe 02) au niveau des deux cours d'eau d'échantillonnage.

**Tableau 12:** la sensibilité à la présence de nitrogène selon l'indice de **Van Dam et al., (1994)**.

Cours d'eau	Paramètre	1	2	3	4	5	6	7	Dominance
Oued Hanou	la présence de nitrogène	33	25	0	0	0			N- autotrophe sensible
Hammam elsalhine		90	45	0	0	0			N- autotrophe sensible

### 1.5.4. L'oxygène dissout

Selon les analyse réaliser par logicielle OMNIDIA, la concentration d'oxygène dissous dans les deux cours d'eau été élevée (classe 1), indicateur d'eau saturée en oxygène de plus de 85%. Toutefois, nous avons enregistré quelques espèces et taxons dans la classe 2 où la concentration d'oxygène est inférieur.

**Tableau 13 :** Quantité d'oxygène dissous selon l'indice de **Van Dam et al., (1994)**.

Cours d'eau	Paramètre	1	2	3	4	5	6	7	Dominance
Oued Hanou	oxygène dissous	40	18	0	0	0			(1) Elevé
Hammam elsalhine		90	45	0	0	0			(1) Elevé

### 1.5.5. Saprobité et affinité à la matière organique

Le tableau 14 illustre les résultats d'affinité des diatomées à la matière organique. Dans les deux cours d'eau les espèces et genres dominants sont « Bêta-mésosaprobe », ce sont des espèces plus ou moins sensibles à la pollution par la matière organique. Nous avons constaté aussi la présence des taxons qui appartiens à une classe moins sensible et tolère la pollution des eaux par la matière organique « alpha-mésosaprobe ».

**Tableau 14:** les résultats de saprobité selon l'indice de van dam 1994 dans les deux cours d'eau

Cours d'eau	Paramètre	1	2	3	4	5	6	7	Dominance
Oued Hanou	Saprobité	0	<b>40</b>	15	0	0			(2)Bêta-mesosaprobe
Hamman elsalhine		0	<b>90</b>	45	0	0			(2)Bêta-mesosaprobe

## 2. Discussion

La plupart des milieux aquatique s'auto-purifient lorsqu'une dégradation ou une pollution environnementale s'y produit, mais cette dernière est souvent excessive et perd ainsi la capacité de s'auto-purifier.

La bio-évaluation de la qualité de ces eaux en mesurant les modifications induites par la pollution sur la structure des communautés de diatomées pourrait être un outil efficace pour la biosurveillance et la préservation des cours d'eau.

Pour l'évaluation de la qualité biologique des deux cours d'eau «Oued Hanou » et « Oued Hammam Elsalhine » dans la wilaya de khenchela, Cinq (05) indices diatomiques ont été testés : l'indice biologique diatomique (IBD), l'indice biologique de polluosensibilité (IPS) l'indice diatomique générique (IDG), l'indice de biodiversité de Shannon et Weaver, et à la fin l'indice de l'autoécologie de Van dam et *al.*, (1994). Ces indices attribuent à chaque espèce de diatomées, des valeurs écologiques par paramètres, créant ainsi différentes classes de qualité des eaux (**Van dam et al., 1994**).

Une analyse physico-chimique a été réalisée in-situ dans les eaux d'oued Hanou et oued Hammam Elsalhine afin d'évaluer et de confronter les résultats avec celles de la bio-évaluation par les indices diatomiques (Tableau 08).

### 2.1. L'indice de biodiversité Shannon et Weaver

Après le dénombrement nous avons identifié 18 espèces et/ou genres dans les deux cours d'eau, la biodiversité dans les deux cours d'eau été assez bonne. Cependant elle été meilleure dans oued Hammam Elsalhine (2,96) que oued Hanou (2,76).

En comparant les espèces et les genres identifiés dans chaque cours d'eau nous avons constaté que les 06 taxons : *Amphora inariensis*, *Ctenophora sp*, *Encyonema SP*, *Navicula halophila*, *Pinnularia viridis* et *Ghomphonema SP* on été présentes dans les eaux de oued Hanou et absentes dans les eaux de oued Hammam Elsalhinen, inversement les 08 taxons *Caloneis sp* *Diatoma moniliformis*, *Diploneis SP*, *Epithemia sp*, *Eunotia SP*, *Pleurosigma sp*, *sellaphora sp* et *Synedra sp* on été identifiés dans les eaux oued Hammam Elsalhinen et absentes dans les eaux oued Hanou. Beaucoup de facteurs peuvent influencer la présence et l'absence des diatomées dans un cours d'eau. Différents facteurs physiques et chimiques conditionnent la vie et le développement des diatomées en milieu aquatique : la vitesse de courant,

la température, l'intensité de la lumière, le pH, la salinité, les nutriments et l'oxygène dissout (**Buchez et al., 2010**).

Selon l'étude de **Lakhzoum et Bouzidi (2018)** réalisée sur trois points différents de oued Hanou, les résultats obtenus révèlent des valeurs supérieures (3,02 - 3,31 et 2,58) la valeur 2,58 concerne une zone qui se trouve à l'aval de l'unité de traitement de barytine.

Cette diminution dans les valeurs de l'indice de biodiversité Shannon et Weaver indique probablement une perturbation ou un changement d'un ou plusieurs paramètres physico-chimiques des eaux. Selon nos visites et sorties sur le terrain, nous avons constaté que le lit d'oued rétrécit et cela due au pompage d'eau en amont utilisée pour l'irrigation, aussi des signes des crues ont été observés, ces dernières apportent généralement des matières solides (limon et argile) qu'elles perturbent probablement la croissance et la multiplication des diatomées sur les galets. Selon **Dubois et Vigier (2016)** la continuité écologique des cours d'eau est un élément essentiel pour l'atteinte du bon état, voire du très bon état écologique des milieux aquatiques.

## 2.2. Les indices biologiques (I.B.D), (I.P.S) et (I.D.G)

Les indices diatomiques IBD, IPS et IDG sont des indicateurs dont l'objectif est l'évaluation de la qualité générale d'eau et qui intègrent des paramètres liés à la présence de la matière organique, les substances nutritives ainsi que d'autres paramètres, tels les chlorures, la conductivité et le pH (**Prygiel, 1994 ; Buchez et al., 2010**).

Plus la valeur de ces indicateurs est élevée, meilleure est la qualité de l'eau, si on se réfère au classement de la qualité des eaux de (Van dam et al., 1994), les eaux de oued Hanou ont un état moyen (classe C) avec IBD = 11,2. Quant aux eaux d'oued Hammam Elsalhin l'IBD = 9,4 (classe C) mais très proche de la classe D où l'IBD est entre 09 et 05.

Ces résultats corroborent celles de l'IPS et IDG où nous avons enregistré IPS = 15,1 et IDG = 17,2 à oued Hanou et IPS = 14 et IDG = 15,5 dans le cours d'eau Oued Hammam Elsalhine. Les valeurs de ces trois indices indiquent globalement que la qualité des eaux et l'état écologique de l'oued Hanou est meilleure.

Rare sont les études de la bio-évaluation des cours d'eau avec les indices diatomiques en Algérie, néanmoins des études comme celle de **Bezzeghoud et al., (2016)** ont trouvé des valeurs similaires de l'IBD entre (9,7 et 12,9), en identifiant les diatomées de deux oueds oued Rhiou et oued el Malah près de la wilaya d'Oran et de Mascara respectivement.

L'étude a conclu que ces valeurs montrent que la nature et la composition des diatomées à Oued Rhiou et de Oued El Malah est influencée par des facteurs géologiques, chimiques,

physiques et anthropiques comme les activités agricoles et le pâturage du bétail (**Bezzeghoud et al., 2016**).

### 2.3. L'indice de l'autoécologie

#### 2.3.1. Classe de PH, salinité, sensibilité et la présence d'azote

Non résultats ont montré que les diatomées dominant identifiées dans le cours d'eau Oued Hanou sont des diatomées alcalibionte (classe 05), et la classification des diatomées selon leur gradient optimal de PH est  $PH > 7$ . En revanche à Oued Hammam Elsalhine nous avons enregistré une dominance des diatomées alcaliphile (classe 04) la valeur de PH est toujours  $> 7$ . Ces résultats sont en concordance avec les résultats de l'analyse physico-chimique effectuée *in-situ* (Tableau 08)., une légère alcalinité des eaux d'Oued Hanou a été enregistrée comparativement avec celle d'Oued Hammam Elsalhine  $PH(moy)=8,34$  et  $PH(moy)=7,76$  respectivement. Nos résultats sont similaire à celles de **Lakhzoum et Bouzidi (2018)** dans les zones non impactés par les effluents de l'unité de traitement de barytine ils trouvé une dominance des populations alcalibionte. L'alcalinité des eaux d'Oued Hanou est probablement due aux facteurs géologiques de la région et la dissolution des roches carbonatées naturellement riches en minéraux alcalins vue que les eaux sont épargnées des rejets des eaux usées.

Concernant la salinité, les deux cours d'eau montrent un peuplement majoritairement caractéristique des eaux douces légèrement saumâtre où la salinité est inférieur à  $< 0,9$  ‰. Néanmoins une proportion non négligeable de taxons et des individus des eaux saumâtre - douce (salinité 0,9-1,8 ‰) ont été identifiés au niveau des eaux d'Oued Hammam Elsalhine. À oued Hanou nos résultats sont similaire de ce qui été trouvés par **Lakhzoum et Bouzidi (2018)** cela indique que les populations diatomiques dans ce cours d'eau n'ont pas subi beaucoup de changement en terme de taxons. Concernant la présence de taxons et des individus des eaux saumâtre - douce peut être explique par les propriétés chimique des eaux thermale d'Oued Hammam Elsalhine. Selon notre analyse physico-chimique, la salinité été très prononcée dans les eaux de Oued Hammam Elsalhine indiquée indirectement par la conductivité avec une moyen de 2708  $\mu S/cm$  contre une moyenne de 435,81  $\mu S/cm$  dans les eaux d'Oued Hanou (Tableau 08). **Couture (2008)** a indique que les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium ( $Ca^{2+}$ ), de magnésium ( $Mg^{2+}$ ) de sodium ( $Na^+$ ), les chlorures ( $Cl^-$ ), les sulfates ( $SO_4^{2-}$ ) et les bicarbonates ( $HCO_3^-$ ). Ce qui confirme nos résultats est l'étude de la fasciées chimique des eaux de Hammam Elsalhine par **Hani et Khabthane (2020)** qui à indiquée la présence de ( $HCO_3^-$ ) et ( $CaSO_4$ ). Les niveaux

élevés de TDS (Total des solides dissous) dans les eaux de Hammam Elsalhine qui sont causés généralement par la présence de potassium, de chlorure et de sodium corrobore les résultats d'analyse de conductivité et de la bio-évaluation diatomique.

Les peuplements identifiés à oued Hanou et Oued Hammam Elsalhine ont été majoritairement des diatomées N-autotrophes sensible (classe 01) selon l'indice écologique de **Van dam et al. (1994)**. On a trouvé néanmoins une proportion non négligeable de taxons et des individus N-autotrophe sensible (classe 02) au niveau des deux Oued Hammam Elsalhine. Bien que la biodiversité en terme d'espèce dans l'étude de **Lakhzoum et Bouzidi (2018)** été différente à celle de notre étude, l'indice de la sensibilité et la présence d'azote à donné des résultats similaire à savoir des peuplements dominés par des diatomées N-autotrophes sensible (classe 01). La présence d'un nombre supérieur d'individus N-autotrophe sensible (classe 02) dans Oued Hammam Elsalhine est due éventuellement aux effluents chargés par des formes azotées organiques, ammoniacques et nitrite émis par le complexe thermal de Hammam Elsalhine et aussi les habitations mitoyennes du cours d'eau.

### 2.3.2. L'oxygénation, saprobité

Selon **Lavoie et al. (2018)** la classification de saprobité de **Van Dam et al., (1994)** combine les propriétés indicatrices des diatomées pour la présence de matière organique biodégradable et la concertation en oxygène.

Les résultats d'analyse (Tableau 08) réalisée dans les deux cours d'eaux *in-situ* à montré que dans les deux oueds les valeurs d'oxygène dissous sont excellente mais la quantité d'oxygène dissous à oued Hanou semble supérieur avec DO (moy)= 8,13 mg/L que celle à Oued Hammam Elsalhine DO (moy)= 7,12 mg/L. Ces résultats peuvent être expliqué par le fait que l'eau d'oued par sa nature d'écoulement, elle se renouvelle et reçoit plus d'oxygène qu'elle en reçoit dans les eaux stagnantes.

Les résultats d'affinité des diatomées à la matière organique dans les deux cours d'eau à montré que les espèces et genres dominants sont « Bêta-mésosaprobe » qui sont des espèces plus ou moins sensibles à la pollution par la matière organique. Nous avons constaté aussi la présence d'un petit nombre de taxons qui appartiens à une classe moins sensible et tolère la pollution des eaux par la matière organique « alpha-mésosaprobe ». Cela montre que la pollution par de la matière organique peuvent n'être que occasionnels a Oued Hammam Elsalhine cela est due probablement aux effluents du complexe thermal de Hammam Elsalhine et aussi les habitations mitoyennes du cours d'eau.



# **Conclusion et perspectives**

### Conclusion et Perspectives

Le but de cette étude est d'étudier la flore de diatomées dans les eaux d'oued Hanou « Tamza, khenchela » et oued Hammam Elsalihine « El hamma, khenchela » et relier la répartition des assemblages d'espèces de diatomées à des variables environnementales.

Pour l'évaluation de la qualité biologique des deux cours d'eau «Oued Hanou » et « Oued Hammam Elsalihine » dans la wilaya de khenchela, Cinq (05) indices diatomiques ont été testés : l'indice biologique diatomique (IBD), l'indice biologique de polluosensibilité (IPS) l'indice diatomique générique (IDG), l'indice de biodiversité de Shannon et Weaver, et à la fin l'indice de l'autoécologie de Van dam et *al.*, (1994). Une analyse physico-chimique a été réalisée in-situ dans les eaux d'oued Hanou et oued Hammam Elsalihine afin d'évaluer et de confronter les résultats avec celles de la bio-évaluation par les indices diatomiques.

L'analyse des résultats de cette étude ont montré que la qualité écologique et biologique des deux oueds est différente : indice de biodiversité Shannon et Weaver (2,76 et 2.96), IBD (11.2. et 9.4), IPS (15,1 et 14), IDG (17,2 et 15,5). Pareil pour les résultats de l'indice de l'autoécologie de Van dam et *al.*, (1994) qui donne des indicateurs sur le PH, salinité, sensibilité et la présence d'azote, l'oxygénation et la saprobité dans les eaux. Les résultats corroborent celles de l'analyse physico-chimique réalisée in-situ. La confrontation des résultats de la bio-évaluation avec celles des analyses physico-chimique réalisées *in-situ* dans les eaux des deux Oueds a donnée des résultats similaires très proches.

Bien que la majorité des cinq indices indiquent que la qualité des eaux à Oued Hanou est meilleure à celles d'Oued Hammam Esalihine, globalement ils ont les deux une qualité moyenne. Due probablement aux effluents du complexe thermal de Hammam Esalihine et aussi les habitations mitoyennes du d'Oued. Quant à oued Hanou nous avons constaté que le lit d'oued rétrécit et cela due ou pompage d'eau en amont utilisée pour l'irrigation, aussi des signes des crues ont été observé, ces dernières apportent généralement des matières solides (limon et argile) qu'ils perturbent probablement la croissance et la multiplication des diatomées sur les galets.

---

## Conclusion et perspective

---

À l'issue de cette étude et au vu des résultats obtenus, on peut dire que l'étude des pressions sur les cours d'eau ne peut pas être étudiée sur la seule base de la connaissance de la composition chimique, le meilleur reflet de l'état des cours d'eau est fourni par les caractéristiques biologiques des communautés qui y vivent.

L'utilisation des indices diatomiques est une méthode d'indication possible, qu'on peut améliorer son efficacité pour l'évaluation et la protection des cours d'eau. Une bio-surveillance à long terme et à différentes périodes de l'année pourrait donner des indications plus précises sur l'état écologique de nos cours d'eau. Cependant des moyens logistiques, et équipements scientifiques adéquats doivent être mis à disposition afin de mener à bien ce genre des travaux de recherche.

---

## Références Bibliographique

### A

**Alzieu, C. (2003).** Bio-évaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion. Editions Quae.

**Aminot, A., Kérouel, R. (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins: paramètres et analyses. Editions Quae.

**Aubin, D. (2007).** L'eau en partage : l'activation des règles dans la rivalité d'usage dans Belgique et Suisse, usages et gestion de l'eau, scientifique internationales Bruxelles.

### B

**Barid, C & Cann, M. (2016).** Chimie de l'environnement, Pollution et purification de l'eau, de Boeck supérieur New York, 455p.

**Berkani, N. (2019).** Contribution de la bio-évaluation de la qualité des eaux du barrage de « Babar, kenchela » par les indices diatomiques. Mémoire de master, université kenchela. 40p.

**Berg, L. R., Raven, P. H., & Hassenzahl, D. M. (2009).** Environnement. De Boeck Supérieur, 700 p.

**Benoit-Chabot, V. (2014),** les facteurs de sélection des bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques : élaboration d'un outil d'aide à la décision (maîtrise, université de Sherbrooke) 104 p.

**Benjira, M. A. (2019).** Classification automatique des diatomées (Doctoral dissertation, Université du Québec à Trois-Rivières), 74 p.

**Bezzeghoud, B., Bouhameur, M., Sidi yakoub, A. (2016).** Diatom inventory of Oued Rhiou (tributary of Oued Chelif) and Oued El Malah(tributary of Oued Tafna), north-western Algeria; International Journal of Scientific, 222p.

**Bonder, C., & Silvestre, R. (2005).** Pratiquer les contrôles analytiques en oenologie. Educagri éditions), 203 p.

**Bottin, M. (2012).** Structure des assemblages de diatomées benthiques en rivière: l'environnement explique-t-il tout? Processus écologiques et développement méthodologiques (Doctoral dissertation, Doctorat Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, École doctorale Sciences et Environnements, Université Bordeaux 1). 159 p.

---

**Buchez, A., Dorigo, U., & Rimet, F. (2010).** Surveillance des impacts environnementaux d'effluents aqueux de sites industriels par les Diatomées dulçaquicoles. *Etude Record*, (07-1016), 175.

### C

**Chapman, D., Kimstach, V. (1996).** Selection of water quality variables. Water quality assessments: à guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman Edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.

**Chartier, M. (1974).** Les types de pollutions de l'eau. *Norois*, 82(1), 183-193.

**Chepurnov, V.A., Mann, D.G., Sabbe, K., Vyverman, M. (2004) In Sauvey, A. (2018).** Variabilité interspécifique et intraspécifique des indices physiologiques chez les diatomées toxiques du genre *Pseudo-nitzschia*: influence du cycle de vie (Doctoral dissertation, Normandie Université). 159 p.

**Chouteau, C. (2004).** Développement d'un biocapteur conductimétrie bi-enzymatique à cellules algales (Doctoral dissertation, lion, INSA). 177 p.

**Couture, I., & Montérégie-Est, M. A. P. A. Q. (2004).** Analyse d'eau pour fin d'irrigation. *AGRI. VISION*. 8p.

### D

**Deghbouche, R & Djebaili, N, (2017).** Bio-évaluation de la qualité écologique de la zone humide sebkha (Elmahmel) et du barrage de Babar (khenchela) par l'utilisation des indices diatomiques. 37 p.

**Druart, J. C& Balvay, G. (2007).** Le Léman et sa vie microscopique. *Quae*, 179 p.

**Dubois, F & Vigier, JP. (2016).** Rapport d'information sur les continuités écologiques aquatiques. Assemblée nationale. pp 7.

### E

**Elfeky, I. (2018).** Modulation par la température des profils d'acides gras de deux espèces de diatomées en réponse à une contamination (Doctoral dissertation, Master 2-Écotoxicologie et Chimie de l'Environnement, Université de Bordeaux). ). 55 p.

**Elhouati, H., Arab, A., Tudesque, L., Lek, S & Samraoui, B. (2015).**study of the diatoms of Reghaia lake, Northern Algeria, *Revue d'Ecologie (terre de vie)*, pp 44- 57.

### F

**Fronçoi, R. (2011).** Introduction à l'éco-chimie. Les substances chimiques de l'écosphère à l'homme, les eaux continentales et marines, Tec & Doc/Lavoisier Paris, (2011), 417p.

---

## G

**Gaudreau, D. (1991).** Portrait synthèse de la problématique de l'eau de consommation de la Montérégie. Dép. de santé communautaire du Centre hospitalier de Valleyfield.

**Gaujou, 1995 in Ghali, F., Hammou, F. (2017).** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire (2ème éd.) Traitement des eaux de refroidissement - Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.

**Genin, B., Chauvin, C. Ménard, F. (2003).** Cours d'eau et indices biologiques: pollution, méthodes, IBGN. Educagri éditions. 221 p.

**Grini, N. (2010).** Le compteur d'eau : un outil de gestion nécessaire, mémoire de maîtrise, université Sherbrooke Canada, 1p.

## H

**Hamed, M., Guettache, A., Bouamer, L. (2012).** Etude des propriétés physicochimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF-TORBA Bechar. Mémoire de Master. Université de Bechar. ). 66 p.

**Hani, K., Khabtane, C. (2020).** Etude hydro chimique et énergie géothermique de la source thermale de Hammam Elsalhine wilaya de khenchela. Mémoire de master. Université khenchela. 84 p.

**Hébert, S., Légaré, S. (2000).** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et des petits cours d'eau. ).24 p.

## J

**Jean-Claude, A. M. I. A. R. D., Claude, A. T. (2008).** Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques. Lavoisier.p124-p125

## K

**Kaczmarska, I., Poulikova, A., Sato, S., Edlund, M.B., Idie, Watanabe, T., Mann, D.G (2013). In Sauvey, A. (2018).** Variabilité interspécifique et intraspécifique des indices physiologiques chez les diatomées toxiques du genre Pseudo-nitzschia: influence du cycle de vie (Doctoral dissertation, Normandie Université). 159 p.

**Kaiser, J. 2001. in Kerckhove, O. (2012),** Espèces ou association d'espèces de poissons en tant que bio-indicateur de l'état de santé des récifs coralliens, maîtrise en biologie incluant un cheminement de type cours en écologie internationale, Université De Sherbrooke.

---

**Kerckhove, O. (2012)**, Espèces ou association d'espèces de poissons en tant que bio-indicateur de l'état de santé des récifs coralliens, maîtrise en biologie incluant un cheminement de type cours en écologie internationale, Université De Sherbrooke. 81 p.

## L

**Lakhzoum, H., Bouzidi, R. (2018)**. Utilisation des diatomées comme bioindicateurs de la qualité des cours d'eau dans la région d'Ain Mimoun. Mémoire de master. Université khenchela. 40 p.

**Lavoie, I., Hamilton, P .B . (2008)**.Gide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du canada. PUQ. 252 p.

**Leboucher, T. (2018)**. Importance des processus de dispersion dans la structuration spatiale des communautés de diatomées benthiques des cours d'eau, à l'échelle intercontinentale: implications en termes de biodiversité et de tolérance (Doctoral dissertation, Université de Bordeaux). ).171 p.

**Le Bras, (2007). in Kayalto, M. (2011)**, Etude bibliographique sur les bio-indicateurs et biomarqueurs des effets des perturbations des écosystèmes par les pesticides, mémoire, Institut Agronomique Et Vétérinaire Hassan II du Maroc – diplôme de 3<sup>ème</sup> d'ingénieur agronome. 59 p.

## M

**Markert, B. A., Bereure, A. M., Zechmeister, H.G. (2003)**. Bioindicators and biomonitors. Elsevier. 997 p.

**Marques, (2009) in Kerckhove, O. (2012)**, Espèces ou association d'espèces de poissons en tant que bio-indicateur de l'état de santé des récifs coralliens, maîtrise en biologie incluant un cheminement de type cours en écologie internationale, Université De Sherbrooke.

**Miskovsky, J-C. (1987)**. Géologie de la préhistoire: méthodes, techniques, applications. Association pour l'étude de l'environnement géologique de la préhistoire. 1297 p.

**Mizi, AE. (2006)**, traitement des eaux de rejet d'une raffinerie -région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles, (thèses doctorat, université Badji Mokhtar Annaba).145 p.

**Mollo, P et Noury, A. (2013)**. Le manuel du plancton. ECLM. 198 p.

**Morin, S. (2006) in Bouabdi, K. (2017)**. Concept de bio-indication et bio-indicateur de la qualité des milieux aquatique: les eaux de surfaces Applicabilité au contexte géographique de la Kabylie, diplôme master, université Bouira. P112.

---

## O

**Oertli, B., & Frossard, P. A. (2013).** Mares et étangs: Ecologie, conservation, gestion, valorisation. PPUR Presses polytechniques. p 462

## P

**Prescott, L M., Willey, J M., Sherwood, L M. (2018),** Microbiologie de Prescott, de Boeck supérieur, p577.

**Prygiel, J. (1994).** Comparaison de six indices diatomiques et deux indices invertébrés pour l'estimation de la qualité de l'eau de la rivière Sensée (France). *Ecologia Mediterranea*, 20(1), 121-133.

## Q

**Quéguiner, B. (2016).** Le cycle biogéochimique du silicium dans l'océan, ISTE group. 146 p.

## S

**Sauvey, A. (2018).** Variabilité interspécifique et intra spécifique des indices physiologiques chez les diatomées toxiques du genre *Pseudo-nitzschia*: influence du cycle de vie (Doctoral dissertation, Normandie Université). 160 p.

**Silva, M. D. C. L. (2008).** Effet de la variabilité du fractionnement de la pollution carbonée sur le comportement des systèmes de traitement des eaux usées par boues activées (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine). 161 p.

**Stellman, JM. (2000).** Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, les risques pour la santé liées à l'environnement, Bureau international du travail, Genève ,(2000), 21-53p.

**Suroy, M. (2013).** Rôles du frustule des diatomées et des conditions nutritives de leur croissance sur l'export de carbone dans les océans, thèses Doctorat, l'Université Aix-Marseille. 245 p.

## T

**Touron Poncet, H. (2014).** Biodiversité des communautés d'invertébrés benthiques des rivières de la Guadeloupe et réponses aux perturbations anthropiques (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier). 183 p.

---

## Z

**Zaimeche, S. (2015)**, Contribution à l'étude de l'action d'agents polluants sur des végétaux bio-indicateurs (Doctorat en Sciences, université mentouri Constantine). 189 p.