

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté des sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département d'Ecologie et Environnement

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Ecologie Végétale

Thème

**Caractérisation physicochimique de l'eau du
lac vert à Yakouren et identification de *Lemna
minor L.***

Réalisé par :

KHERMOUS Wissam
LABRECHE Radia

Soutenu le 11-10-2022

Devant le Jury composé de :

Présidente : Mme MEDJDOUB F.

Professeur à l'UMMTO.

Promotrice : Mme LEMBROUK L.

Maitre de conférences (B) à l'UMMTO.

Examineur : Mr ASLA T.

Maitre-assistant (A) à l'UMMTO.

Promotion : 2021/2022

Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu, le tout puissant de nous avoir donné la santé, la force, la patience, et la volonté d'entamer et de terminer ce travail.

Nous exprimons et témoignons notre reconnaissance à notre promotrice Mme LEMBROUK L. Maître de conférences (B) à l'UMMTO, qui nous a dirigé avec une grande rigueur scientifique pour ses conseils, sa bienveillance et surtout sa disponibilité.

Nous exprimons nos profonds remerciements au membres de Jury qui nous ferons l'honneur de juger et évaluer notre travail.

*La présidente, Mme MEDJDOUB F. Professeur à l'UMMTO,
L'examineur Mr ASLA T. Maître-assistant (A) à l'UMMTO.*

Nos vifs remerciements sont adressés à Mr SEBTI S. Technicien supérieur au laboratoire des eaux et des rejets atmosphériques à l'ENIEM pour son aide et ses conseils lors du dosage des paramètres physicochimiques de nos échantillons.

Nous exprimons notre gratitude au personnel de la circonscription et l'INRF de la commune d'AZAZGA à leur tête le directeur Mr KACI.

Nous voudrions aussi remercier SAIDOUN Abdsamed de nous avoir aidé tout au long de la réalisation de ce travail.

Une pensée particulière pour l'ensemble des enseignants ayant contribué à notre formation durant notre cycle d'étude et à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à l'achèvement de ce travail.

Dédicaces

*En guise de respect et de reconnaissance je dédie
ce travail à :*

*Mes précieux parents Zahia et Ammar, quoi que je dise je ne
saurai vous remercier comme il se doit. Sans votre affection,
vos conseils, vos sacrifices, vos encouragements, vos prières,
vos efforts et surtout votre amour ce travail n'aurait jamais pu
être réalisé.*

Mes frères ; Kamel, Mouh et sa femme Ania.

*Mes sœurs Taous, Saloua et particulièrement Salima, et leurs
maris.*

Mes neveux et nièces.

Mon fiancé Abdsamed et ses chers parents.

Mes beaux-frères Abdelmalek, Abdellah et Youcef.

Ma belle-sœur et ma très chère amie Zahra.

Le meilleur binôme qu'on puisse avoir Radia LABRECHE.

*Puisse dieu vous accorder tous santé, bonheur,
courage et succès.*

Wissam

Dédicaces

Quelque soit l'objet qu'on essayera de leur offrir, il n'atteindra jamais ce que j'ai envie de leur dire et exprimer, j'espère bien que ce travail sera le début d'une infinité de fruits issue de leur affection et soutien.

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, mes sources de constance : Ma mère, qui n'a jamais cessé de me soutenir et de m'encourager. Mon père, voici le fruit de tes efforts. Ton soutien inconditionnel et sans faille m'a permis d'accomplir cette mission. Longue vie à vous deux.

A mes chères sœurs : Chaima, Loubna, Amina, Que ce travail sera un exemple pour vous.

A ma chère binôme KHERMOUS Wissam pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

A mes amies Siham, Souhila, Thiziri.

A mes collègues et enseignants qui m'ont orienté durant toute ma carrière d'étude. A tous ceux qui me connue de près ou de loin.

Radia

Liste des abréviations

pH : potentiel hydrogène.

°C : degrés Celsius.

°F : degrés français.

Zn : Zinc.

Cr : Chrome.

P : Phosphate.

Ni : Nickel.

Fe : Fer.

Cl₂ : Chlore.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TA : Titre Alcalimétrique.

TH : Titre Hydrotimétrique.

MO : matière Organique.

ADN : Acide désoxyribonucléique.

Mm : millimètre.

Cm : centimètre.

m : mètre.

Mg/l : milligramme par litre.

µg/l : microgramme par litre.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

R : Réactif.

UMMTO : Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

CPEPESC FC : Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du sous Sol, des Chiroptères, de Fanche Comte.

NE : Nord Est.

Cne : commune.

Liste des figures

Numéro de figure	Titre de figure	page
Figure 01	Arbre phylogénétique évolutif des Lemnacées.	03
Figure 02	Anatomie de la lenticule.	05
Figure 03	Lenticille d'eau <i>Lemna gibba</i> .	06
Figure 04	Lenticille d'eau douce <i>Lemna minor</i> .	06
Figure 05	Lenticille d'eau <i>Lemna triscula</i> .	07
Figure 06	Lenticille d'eau <i>Wolffia arrhiza</i> .	08
Figure 07	Lenticille d'eau <i>Spirodela polyrhiza</i> .	09
Figure 08	Reproduction sexuée chez la Lemna.	10
Figure 09	Mécanismes de reproduction des lenticilles d'eau douce.	10
Figure 10	Lac eutrophisé.	17
Figure 11	Processus d'eutrophisation.	22
Figure 12	Implantation d'une zone tampon.	23
Figure 13	Lac vert à Yakouren.	25
Figure 14	Localisation géographique du lac vert à Yakouren.	26
Figure 15	Feuillu de chêne à Yakouren.	29
Figure 16	<i>Cytisus villosus</i> .	29
Figure 17	Etapas d'échantillonnage au lac vert.	30
Figure 18	pH-mètre.	31
Figure 19	Bloc chauffant.	32
Figure 20	Spectrophotomètre.	32
Figure 21	Echelle colorimétrique du nickel.	33
Figure 22	Echelle colorimétrique du zinc.	34
Figure 23	Echelle colorimétrique du chrome.	35
Figure 24	Résultats des paramètres physicochimiques d'eau du lac vert.	37
Figure 25	Résultats d'analyse du fer.	38
Figure 26	Résultat d'analyse du phosphate total.	38
Figure 27	Résultats d'analyse du chrome.	39
Figure 28	Résultat d'analyse du zinc.	39
Figure 29	Résultat d'analyse du nickel.	40
Figure 30	Face supérieure de <i>Lemna minor</i> .	41
Figure 31	Face inférieure de <i>Lemna minor</i> .	41

Liste des tableaux

Numéro de tableau	Titre de tableau	Page
Tableau 01	Systématique des lentilles d'eau douce.	04
Tableau 02	Conditions de vie de <i>Lemna minor</i> .	11
Tableau 03	Avantages et inconvénients de la lentille d'eau douce.	13
Tableau 04	Description des trois niveaux d'eutrophisation des lacs.	19
Tableau 05	Coordonnées géographiques du lac vert, du canton Boumaza et de la forêt Beni Ghobri.	26
Tableau 06	Espèces de nanophanérophytes présents à la forêt de Beni Ghobri.	28
Tableau 07	Matériel utilisé lors de notre étude.	29
Tableau 08	Critères d'identification de <i>Lemna minor</i> .	41
Tableau 09	Systématique de la lentille <i>Lemna minor</i> récoltée au lac vert à Yakouren.	42

Introduction	01
Partie bibliographique	
Chapitre I : Généralités sur la lentille d'eau douce	
1. Historique	03
1.1. Origine des Lemnacées	03
1.2. Evolution des lentilles d'eau douce	03
2. Présentation de la lentille d'eau douce	04
2.1. Systématique	04
2.2. Description de la lentille d'eau douce	04
2.2.1. Anatomie d'une usine de lentille.....	05
3. Différentes espèces de lentille d'eau douce	05
3.1. Genre <i>Lemna</i>	05
3.1.1. <i>Lemna gibba</i> L.....	05
3.1.2. <i>Lemna minor</i> L.	06
3.1.3. <i>Lemna triscula</i> L.....	07
3.2. Genre <i>Wolffia</i>	07
3.2.1. <i>Wolffia arrhiza</i> L.	07
3.3. Genre <i>Spirodela</i>	08
3.3.1. <i>Spirodela polyrhiza</i> L.	08
4. Reproduction des lentilles d'eau douce.....	09
4.1. Reproduction asexuée.....	09
4.2. Reproduction sexuée	09
5. Habitat et développement écologique de la lentille d'eau douce	10
6. conditions de vie de <i>Lemna minor</i> L.	11
7. utilisation de la lentille d'eau douce	11
7.1. Consommation des lentilles d'eau douce	12
7.2. Recherches et applications	12
8. Avantages et inconvénients de la lentille d'eau douce.....	12
9. Facteurs agissants sur la croissance de la lentille d'eau	14
9.1. Facteurs atmosphériques	14

Sommaire

9.1.1. Eau.....	14
9.1.2. Ensoleillement.....	15
9.1.3. Températures.....	15
9.1.4. pH.....	15
9.1.5. Azote.....	15
9.1.6. Phosphore.....	16
9.1.7. Potassium.....	16
9.1.8. Calcium, Sodium, Magnésium.....	16
9.2. Facteur génétique.....	16
9.2.1. Age de la population.....	16

Chapitre II : Eutrophisation des lacs

1. Définition de l'eutrophisation.....	18
2. Types d'eutrophisation.....	18
2.1. Eutrophisation naturelle.....	18
2.2. Eutrophisation anthropique.....	18
3. Différents niveaux de l'eutrophisation dans les milieux aquatiques.....	18
4. Causes de l'eutrophisation et les facteurs favorisants.....	19
4.1. Causes de l'eutrophisation.....	19
4.2. Facteurs favorisant le développement de l'eutrophisation.....	20
5. Milieux touchés par l'eutrophisation.....	20
6. Processus de l'eutrophisation.....	21
7. Effets et conséquences de l'eutrophisation.....	22
8. Lutte contre l'eutrophisation.....	23
9. Utilisation des lentilles d'eau pour l'épuration des eaux.....	24

Partie expérimentale

Chapitre III : Matériel et Méthodes

1. Présentation de la région d'étude	25
1.1. Localisation géographique et administrative du lac vert.....	25
1.2. Caractéristiques climatiques de la région d'étude.....	26
1.3. Caractéristiques topographiques de la région d'étude.....	27
1.4. Caractéristiques écologiques de la région d'étude	28
2. Matériel	29
2.1. Matériel du laboratoire et d'échantillonnage.....	29
2.2. Matériel biologique	30
3. Echantillonnage.....	30
4. Protocole expérimental	31
4.1. pH.....	31
4.2. Températures.....	31
4.3. Demande chimique en oxygène (DCO)	32
4.4. Fer.....	32
4.5. Nickel	33
4.6. Zinc.....	34
4.7. Chrome	34
4.8. Phosphate	35
4.9. Teneur en chlore.....	35
4.10. Dureté.....	36
4.11. Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC).....	36
4.11.1. Détermination du Titre alcalimétrique (TA)	36
4.11.2. Détermination de Titre alcalimétrique complet (TAC).....	36

Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Analyses physicochimiques de l'eau du lac	37
1.1. Résultats des paramètres physicochimiques d'eau du lac analysés au niveau du laboratoire de l'ENIEM.....	37
1.1.1. Potentiel hydrogène (pH)	37

Sommaire

1.1.2. Températures	38
1.1.3. Demande chimique en oxygène (DCO)	38
1.1.4. Fer (Fe)	38
1.1.5. Dureté (TH)	38
1.1.6. Phosphate (PO ₄)	38
1.1.7. Teneur en chlore (Cl ₂)	39
1.1.8. Chrome (Cr)	39
1.1.9. Zinc (Zn)	39
1.1.10. Nickel (Ni).....	40
1.1.11. Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)	40
2. Identification de la lentille.....	41
2.1. Critères d'identification.....	41
2.1. Systématique de la lentille <i>Lemna minor L.</i>	42
3. Discussion des résultats.....	42
Conclusion.....	46
Références bibliographiques	47
Annexes	
Résumé	

Introduction

Introduction

L'eau est très présente sur notre planète où elle représente un volume de 1,4 milliard de km³ sur terre. Cependant, sa majeure partie (97 %) est contenue dans les océans sous sa forme salée, ce qui la rend inutilisable pour l'Homme, tant dit que l'eau douce n'en représente que 3 % dans lesquelles les eaux de surface notamment les lacs d'eau douce n'occupent que 0,03% (Guerraichi et Messikh, 2020).

Le lac est défini scientifiquement pour la première fois, dans le plus ancien précis de limnologie mondial, par le suisse Fortel (1901) en tant que « une masse d'eau stagnante sans communication directe avec la mer, située dans une dépression du sol fermée de tout côté ». La lecture de l'état de ce dernier peut être faite à travers un ensemble de paramètres biotiques et abiotiques, plus au moins complexe à évaluer, et surtout à interpréter dont les paramètres physicochimiques occupent la plus grande part et représentent sans doute le plus grand nombre de données disponibles sur cet écosystème. Ces paramètres sont évalués soit directement sur le lac, soit sur son environnement ou, encore, ils peuvent concerner les organismes qui vivent dedans ou ceux qui vivent autour (Hade, 2007).

D'après Hade (2007), la vie dans un lac correspond à la faune et à la flore qui s'y trouvent, soit de façon exclusive, comme les poissons et les nénuphars, soit en raison de partage du territoire vital, comme les amphibiens ou les oiseaux aquatiques, ou, encore pour les macrophytes, notamment les Lemnacées « lentilles d'eau ». Ces dernières, sont des plantes aquatiques flottantes, formant souvent une couche verte à la surface des eaux.

Les Lemnacées montrent une aire de distribution géographique très étendue puisqu'ils se retrouvent sur tout le globe suite à leurs capacités d'adaptation à une très large gamme de conditions trophiques dans les divers milieux accueillants tels que les lacs, les étangs, les marais et les lagunes. A ces dernières appartiennent les lentilles d'eau qui sont des plantes angiospermes appartenant aux genres *Lemna* (*L. minor*, *L. gibba* et *L. triscula*), *Spirodela* (*Spirodela polyrhiza*) et *Wolffia* (*Wolffia arrhiza*) (Djori, 2012).

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude dont l'objectif principal est la caractérisation physicochimique de l'eau du lac vert à Yakouren afin d'identifier la lentille verte qui le couvre. A cet effet, nous nous sommes proposés de réaliser les travaux qui constituent notre étude autour des chapitres suivants :

- une synthèse bibliographique qui comporte deux chapitres, dont le premier présente des généralités sur la lentille d'eau douce, et le deuxième s'appuie sur l'eutrophisation des lacs.
- un troisième chapitre qui englobe le matériel et les méthodes utilisées lors de l'échantillonnage.

Introduction

-le quatrième, et dernier chapitre, qui présente les résultats obtenus et leur discussion, pour finir avec une conclusion qui ponctuera notre travail.

Partie bibliographique

Chapitre I

Généralités sur la lentille d'eau douce

1. Historique

Décrite dès 1753 par Linné, en raison de sa vaste aire de distribution, la plante d'eau douce a été (re)décrite par de nombreux botanistes sous diverses appellations synonymes dont les plus cités en la littérature sont les suivantes :

- *Hydrophace minor* ;
- *Lemna minima* ;
- *Lemna rwandensis* ;
- *Lenticula minor* ;
- *Lenticula monorhiza* ;
- *Lenticula vulgaris* ;
- *Lemna minor*.

1.1. Origine des Lemnacées

La plupart des botanistes considèrent les Lemnacées comme des êtres vivants étroitement liés à la famille d'Arum (Aracées) où les études comparatives d'ADN de leurs chloroplastes ont confirmé cette affinité taxonomique (Ndang ekouma, 2006).

1.2. Evolution des lentilles d'eau douce

Landolt (1986) considère que les deux extrêmes évolutifs des lentilles sont *Spirodela* et *Wolffia* où *Spirodela* est la forme la plus primitive tandis que *Wolffia* est la ramification la plus récemment évoluée (figure 01).

Le schéma de la figure 01 explique l'évolution des lentilles d'eau douce.

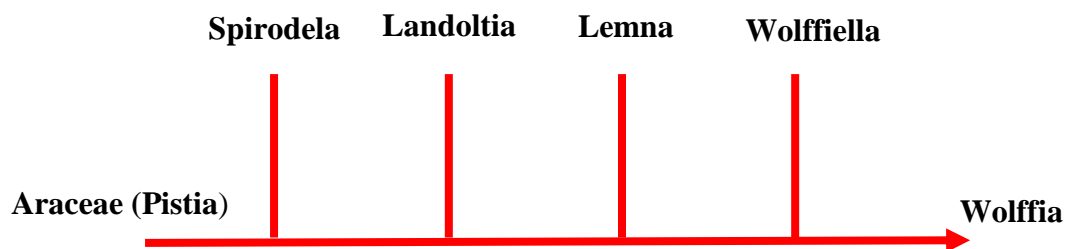


Figure 01 : arbre phylogénétique évolutif des Lemnacées (Landolt, 1986).

2. Présentation de la lentille d'eau douce

La présentation de la lentille d'eau douce se base sur la description des critères morphologiques, anatomiques et microscopiques, ce qui a permis de la classer botaniquement sous sa systématique actuelle.

2.1. Systématique

Les lentilles d'eau douce sont des plantes aquatiques appartenant à l'embranchement des angiospermes, à la classe des monocotylédones et à la famille des Lemnacées (tableau 01).

Tableau 01 : systématique des lentilles d'eau douce (Kuper et Corolla, 2019).

Règne	Plantea
Embranchement	Angiospermes
Classe	Liliopsida (monocotylédone)
Sous-classe	Arécidés
Ordre	Arales
Famille	Lemnacées (selon la classification classique) aracées (selon la classification phylogénétique)
Sous-famille	Lemnoidées
Genre (s)	<i>Lemna</i> – <i>Wolffia</i> – <i>Spirodela</i>
Espèce (s)	<i>Lemna minor</i> , <i>Lemna gibba</i> , <i>Lemna triscula</i> , <i>Wolffia arrhiza</i> , <i>Spirodela polyrhiza</i>

2.2. Description de la lentille d'eau douce

Les lentilles d'eau douce sont de minuscules plantes aquatiques flottantes à la surface des eaux calmes. *Lemna minor* est une lentille de 1,5 à 6 mm de diamètre, avec une seule racine de 2 à 5 cm (figure 30), visible sous l'eau. La lame foliacée, appelée fronde, vert pâle, plane sur les deux faces, servant de flotteur, correspond à une tige transformée, qui portera éventuellement les minuscules fleurs sur son bord. Elle présente 3 à 5 nervures visibles à la loupe sur sa face inférieure. Comme pour la plupart des espèces de lentilles d'eau, ce flotteur, ovale à allongé, a une forme de lentille (Kuper et Corolla, 2019).

Après la multiplication asexuée par la division, un certain nombre de lames (2 à 6) peuvent rester attachées. Elles finissent par former un tapis continu à la surface de l'eau. La fleur, sans périanthe, est constituée de deux étamines et d'un pistil à un seul carpelle (Kuper et Corolla, 2019).

2.2.1. Anatomie d'une usine de lentille

L'anatomie d'une usine est formée par les murs de cellules qui donnent à l'usine son cadre structural. En étudiant le cadre de l'usine, on finit par comprendre comment elle est organisée et se développe (figure 02).

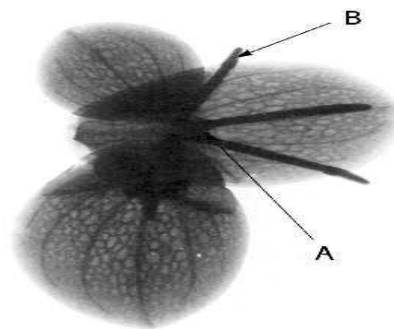


Figure 02 : anatomie de la lenticule (Landolt, 1986).

A = tissu couvrant le point d'attachement des racines.

B = coiffe de racine.

3. Différentes espèces de lentilles d'eau douce

Les lentilles d'eau regroupent plusieurs genres et espèces. Cinq genres de lentilles d'eau sont connus, *Lemna*, *Landoleta*, *Spirodola*, *Wolfia* et *Wolffiella*, et 38 espèces ont été identifiées à ce jour (Les et *al.*, 2002).

3.1. Genre *Lemna*

3.1.1. *Lemna gibba* L.

Lentille d'eau douce ou lentille bossue ou encore lentille d'eau gibbeuse. C'est une plante qui se propage principalement par voie végétative ou par bourgeonnement des petites feuilles appelées frondes qui sont vert gris ou brun rougeâtre sur le dessus, ovales et arrondies (figure 03) (2 à 5 mm de longueur) (Ndang ekouma, 2006).

Cette lentille d'eau douce est voisine de l'espèce commune *Lemna minor* dont elle diffère par la taille (jusqu'à 8 mm) et la forme beaucoup plus ronde.

La face ventrale présente, en outre, un aspect bosselé et spongieux, ovée en forme d'outre, la face dorsale étant d'un vert plus foncé et brillant (figure 03) (Fortier et *al.*, 2007).

La lentille d'eau bossue *Lemna gibba* a une seule racine qui pend dans l'eau. Chaque phylloclade (feuille) contient des cavités remplies d'air permettant à la lentille de flotter à la surface des eaux (Fortier et *al.*, 2007).



Figure 03 : lentille d'eau *Lemna gibba* (Le drian, 2008).

3.1.2. *Lemna minor* L.

La lentille d'eau *Lemna minor* est une petite plantule ovale de 2 à 3, rarement 4 mm dans la plus grande longueur, vert clair face supérieur, plus foncée face inférieure, ayant l'aspect d'une petite feuille. La face inférieure est plate ou très légèrement ondulée et porte une racine centrale comme chez *Lemna gibba*. Ces plantules sont souvent réunies en populations denses à la surface des eaux douces stagnantes (figure 04) (Sarni et Sehl, 2011).



Figure 04 : lentille d'eau douce *Lemna minor* (originelle, 2022).

3.1.3. *Lemna trisulca* L.

C'est la lentille à trois lobes qui se distingue très nettement des autres espèces aussi bien sur le plan morphologique que biologique. Ses feuilles ont un aspect lancéolé (3 à 10 mm de long sur 3 à 7 mm de large) à 3 nervures, formant autant de sillons (figure 05), l'unique racine filiforme, présentant sur sa face inférieure un épaississement à son extrémité. Elle forme des colonies parfois importantes de petites feuilles imbriquées les unes dans les autres, flottant le plus souvent légèrement en dessous de la surface (figure 05), les pousses portant les inflorescences (ce qui est rare, la multiplication étant essentiellement végétative) ayant un aspect différent (plus ovale) (Fortier et *al.*, 2007).

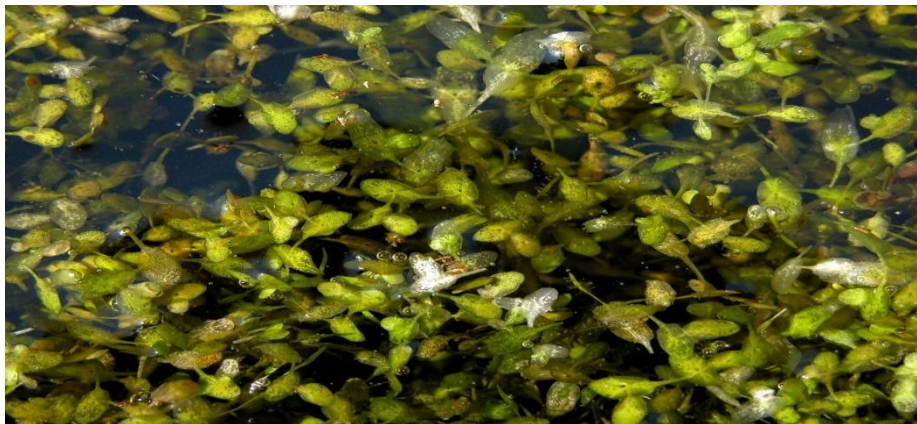


Figure 05 : Lentille d'eau *Lemna trisulca* (Moro, 2004).

3.2. Genre *Wolffia*

«Les wolfies » constituent un genre de onze espèces de plantes aquatiques flottantes (*Wolffia angusta*, *Wolffia arrhiza*, *Wolffia australiana*, *Wolffia borealis*, *Wolffia brasiliensis*, *Wolffia columbiana*, *Wolffia cylindracea*, *Wolffia elongata*, *Wolffia globosa*, *Wolffia microscopica* et *Wolffia neglecta*) dont le nom générique rend hommage au botaniste allemand Johann Friedrich Wolff (1778–1806). La plupart des espèces ont une très large répartition sur plusieurs continents. Les espèces *Wolffia* sont composées d'environ 40 % de protéines, soit environ le même que le soja, une source potentielle d'alimentation humaine à haute valeur protéique (Fortier *al.*, 2007).

3.2.1. *Wolffia arrhiza* L.

La lentille d'eau douce *Wolffia arrhiza* est une wolfie sans racines (figure 06) comme son épithète d'espèce *arrhiza* l'indique. Elle couvre un large éventail géographique, avec une distribution subcosmopolite où la wolfie est commune dans les habitats d'eau douce. Ces plantes, tolèrent une grande variété de conditions d'eau, se propagent souvent

librement sans aide. La séparation de touffe, la séparation de stolon ou plantules, le bouturage, sont des techniques de multiplication usuelles des plantes (Fortier et *al.*, 2007).



Figure 06 : Lentille d'eau *Wolffia arrhiza* (Fortier et *al.*, 2007).

3.3. Genre *Spirodela*

Tout comme le reste de la famille des Lemnacées, les Spirodèles sont des plantes simples, avec un appareil végétatif composé d'une structure lenticulaire au lieu de la tige et des feuilles. Elles flottent librement à la surface des étendues d'eau douce dans la plupart des régions tempérées avec jusqu'à 5 frondes cohésives qui sont elliptiques orbiculaires, de 3 à 6 mm de long et de 3 à 5 mm de large, à membrane, plates, symétriques et arrondies à l'apex ou fortement asymétriques et pointues à un apex, avec 5 à 12 nervures, sans papules, avec ou pas de points saillants. Les 5 à 20 racines ont des gaines lisses.

Certaines espèces de *Spirodela* hibernent sous forme de turions, une forme dormante qui n'a pas de poches d'air, donc coule au fond de l'étang. Au printemps, les turions remontent à la surface et germent pour démarrer une nouvelle population (Anonyme, 2020).

3.3.1. *Spirodela polyrhiza* L.

Spirodela polyrhiza est une espèce cosmopolite. Cette lentille d'eau géante se présente comme une petite feuille plate, ronde ou légèrement ovale de 3 à 10 mm de diamètre, vert foncé sur sa face supérieure et rougeâtre sur sa face inférieure avec un bouquet relativement important de racines émergées du centre de chaque feuille vers la face inférieure (Figure 07). Comme les lentilles d'eau ordinaires, les lentilles géantes se développent à la surface des eaux stagnantes, riches en matières organiques (milieux eutrophisés).

Elles se montrent assez différentes à l'égard de la température mais plus exigeantes à l'égard de la lumière (sol aéré de préférence au moins partiellement) (Fortier et *al.*, 2007).



Figure 07 : lentille d'eau *Spirodela polyrhiza* (Chytry, 2009).

4. Reproduction des lentilles d'eau douce

Selon Kuper et Corolla (2019), la lentille d'eau douce se reproduit de deux façons : asexuée et sexuée.

4.1. Reproduction asexuée

La reproduction des lentilles se fait principalement par voie asexuée grâce à la division, au printemps. Chaque lame va se séparer en deux pour former deux plantes distinctes. Cette multiplication, très rapide dans de bonnes conditions (doublement de la population en 3 à 15 jours), va rapidement couvrir la surface de l'étang en empêchant le passage de la lumière nécessaire à la photosynthèse des autres organismes (Kuper et Corolla, 2019).

4.2. Reproduction sexuée

Si les conditions de température sont favorables, la petite lentille d'eau peut fleurir entre mai et septembre (figure 09). La fronde peut porter, sur le bord, de minuscules fleurs vertes qui sont pollinisées par l'eau (pollinisation hydrogame) afin de donner des fruits indéhiscent à une seule graine. Par la suite, les graines sont dispersées par les mouvements de l'eau (dissémination hydrochore) (Kuper et Corolla, 2019).

La figure 08 montre deux *Lemna gibba* l'une à côté de l'autre. Sur l'usine de la lentille gauche, se montre deux stamens s'approchant d'une poche de bourgeonnement latérale d'usine de la lentille droite où un ovaire de maturation est dépassé de cette poche.

Ce phénomène chez les Lemnacées est connu en tant que pollinisation de contact et constitue un mode de reproduction sexuelle qui assure la croissance de la plante (Ndang ekouma, 2006).



Figure 08 : reproduction sexuée chez la Lemna (Wayne, 2001).

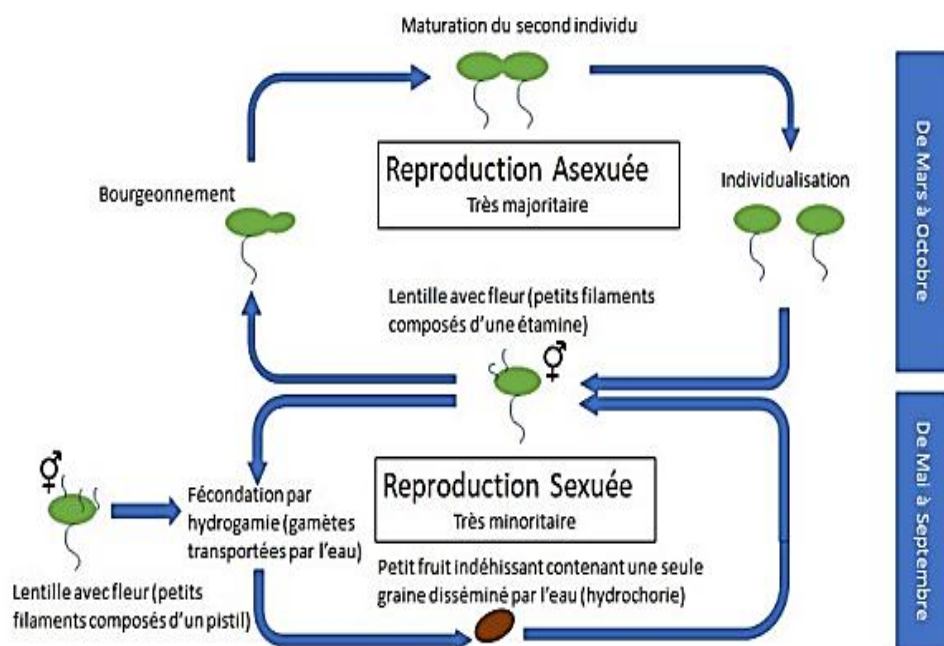


Figure 09 : mécanismes de reproduction des lentilles d'eau douce (Chergui et al., 2020).

5. Habitat et développement écologique de la lentille d'eau douce

D'après Vialard et al. (2007), les Lemnacées montrent une aire de distribution géographique très étendue puisqu'elles se retrouvent sur tous les globes sauf dans les régions désertiques et les secteurs gelés. Par ailleurs, quelques-unes sont présentes dans le monde entier et portent le nom de la région dont elles proviennent au point qu'elles soient classées comme des espèces cosmopolites (Ndang ekouma, 2006). Certaines populations de Lemnacées sont dispersées en Asie centrale, sur la côte ouest et dans le centre de l'Amérique

du Nord, dans la moitié orientale de l'Afrique, de l'Australie (Victoria) et la Nouvelle-Zélande. La lentille d'eau est présumée avoir été introduite en Australie et en Nouvelle-Zélande, sans en être native.

En Algérie, les lentilles sont retrouvées dans plusieurs régions, notamment dans les régions de la Calle, Annaba, Lac Tanga à El Kala, Constantine, Alger, Tiaret, Tlemcen, Bouira, Ben Azouz et Tizi Ouzou précisément au lac vert de la forêt de Beni Ghobri (cne de Yakouren).

Les lentilles d'eau douce apprécient les plans d'eau calmes, sans courant, typiquement dans les lacs, les canaux, les étangs et toutes eaux stagnantes ou systèmes lentiques. Leur croissance est régie par l'ensemble des facteurs biotiques et abiotiques de l'environnement où elles évoluent. Toutefois, la température et l'ensoleillement semblent y jouer un rôle plus important que celui des concentrations des nutriments (tableau 02) (Leng *et al.*, 1995).

6. Conditions de vie de *Lemna minor* L.

Comme chaque végétal dans l'écosystème, La lentille d'eau douce *Lemna minor* présente des exigences environnementales afin de survivre et accomplir ses fonctions biologiques et écologiques. Le tableau 02 résume quelques conditions de vie de cette lentille.

Tableau 02 : conditions de vie de *Lemna minor* (originel, 2022).

Rusticité	Rustique, -26 °C
Exposition	Ensoleillée.
Milieus de vie	Eau stagnante riche en MO.
Acidité	Acide à basique.
Température	Eau assez chaude.

7. Utilisation de la lentille d'eau

Les Lemnacées présentent un éventail d'utilisation très large. Certaines populations comme en Asie du Sud-Est, se servent de ces plantes comme étant une source de protéines et pleins d'autres nutriments. Les Lemnacées sont aussi impliquées dans le domaine d'écotoxicologie, de phytoremédiation etc.

7.1. Consommation des lentilles d'eau douce

D'après les travaux des scientifiques de l'Université Ben-Gourion du Néguev, en Israël, les lentilles des eaux douces révèlent un potentiel important pour la santé humaine, et notamment pour contrôler la glycémie après consommation d'aliments glucidiques. En outre, les Lemnacées sont consommées en raison de leur forte teneur en protéines (plus de 45% de la matière sèche) et leur richesse en polyphénols, en antioxydants puissants, en fibres alimentaires, en minéraux (fer et zinc notamment), en vitamine A, et en vitamine B₁₂ (Bour, 2019).

7.2. Recherches et applications

Les lentilles d'eau ont trouvé des utilisations en tant que système modèle pour des études en écologie, biologie végétale de base, dans l'écotoxicologie, la production de produits biopharmaceutiques, et comme une source d'alimentation animale pour l'agriculture et l'aquaculture. Elle est ainsi étudiée par les chercheurs du monde entier comme source possible d'énergie propre (Anonyme, 2009).

La lentille d'eau, est une plante hyperaccumulatrice, fonctionne également comme un bioremédiateur en phytoremédiation, en filtrant efficacement les contaminants tels que les bactéries, l'azote, les phosphates et autres nutriments provenant des plans d'eau naturels, des terres humides construites et des eaux usées (Anonyme, 2009).

8. Avantages et inconvénients de la lentille d'eau douce

La présence de la lentille d'eau douce dans un endroit donné, fournit plusieurs bienfaits au biotope et à la biocénose, néanmoins quelques inconvénients. Le tableau 03 explique les avantages et les inconvénients de cette présence.

Tableau 03 : Avantages et inconvénients de la lentille d'eau douce (originel, 2022).

Avantages	Inconvénients
<p>L'utilisation de la lentille d'eau douce en tant que bioindicateur de la qualité des eaux et particulièrement des métaux lourds dans les surveillances des systèmes aquatiques n'a cessé de croître depuis les premiers essais d'Empain en Belgique en 1973. Au départ ; l'utilisation de la <i>Lemna polyrhiza</i> et progressivement <i>Lemna gibba</i> et <i>Lemna minor</i> ce, en fonction de leur adaptation physiologique et de leurs croissances exponentielles.</p>	<p>La propension à la multiplication végétative des lentilles d'eau douce les rend parfois envahissantes. Elles sont capables de recouvrir entièrement un plan d'eau en une saison, au détriment d'autres espèces émergées provoquant l'eutrophisation de ces plans et réduisant la photosynthèse dans leurs couches profondes.</p>
<p>Ces plantes flottantes peuvent aider en épuration de l'eau, avec une bonne consommation des nitrates : ainsi, les lentilles d'eau sont importantes dans le processus de biorestauration, car elles se développent rapidement, avec absorption des nutriments minéraux en excès, en particulier l'azote et les phosphates. Pour ces raisons, elles sont vantées comme d'excellents purificateurs d'eau, mais de valeur inexploitée.</p>	
<p>Les petites plantes fournissent une couverture pour les alevins de nombreuses espèces aquatiques. Elle sont utilisées comme abri par des espèces d'amphibiens (grenouilles) et les poissons tels que le crapet arlequin. Elles fournissent aussi de l'ombre et, bien souvent, peuvent</p>	

<p>réduire certaines croissances d'algues photoautotrophes.</p>	
<p>La lentille d'eau est une plante hyperaccumulatrice, fonctionne également comme un bioremédiateur en phytoremédiation, en filtrant efficacement les contaminants tels que les bactéries, l'azote, les phosphates et autres nutriments provenant des plans d'eau naturels, des terres humides construites et des eaux usées.</p>	
<p>Facile à cultiver, en nécessitant assez peu d'eau par gramme de protéine produit, du moins par rapport au soja, aux épinards ou aux choux.</p>	

9. Facteurs agissants sur la croissance de la lentille d'eau douce

La croissance de la lentille d'eau douces est régie à l'ensemble de plusieurs facteurs ; atmosphérique, génétique etc.

9.1. Facteurs atmosphériques

9.1.1. Eau

Comme les autres plantes aquatiques, la vie des lenticules en général est très dépendante de l'eau et des mécanismes biologiques permettant sa croissance. La plante entière a la capacité d'absorber l'eau et sa circulation au sein du végétal se réalise selon divers processus :

- Par capillarité externe : la gibbosité externe des parois est un élément favorable à la circulation ainsi qu'à la rétention de l'eau ;
- Par capillarité interne ;

- Par la structure même des parois.

9.1.2. Ensoleillement

La croissance des lentilles d'eau dépend de l'intensité et de la photopériode de l'ensoleillement auquel elles sont exposées. Les rendements de la photosynthèse et de la photorespiration atteignent leurs valeurs maximales au début de l'après-midi et leurs valeurs minimales le soir (36 à 60% de la valeur maximale) (Besma et Radia, 2016). Dans l'hémisphère Nord, la croissance de ces plantes est optimale durant la période allant de mi-juin au début de septembre, elle s'étale par contre sur toute l'année dans les régions ayant un climat tropical ou tempéré (Besma et Radia, 2016).

9.1.3. Températures

Pendant la saison chaude, les lentilles poussent plus vite. Pour une croissance plus rapide, la température doit être supérieure à 21,1 °C. Différentes espèces de lentilles sont cultivées dans les régions polaires ainsi qu'équatoriales, elles sont donc présentes à différentes altitudes (Radu et *al.*, 2017).

9.1.4. pH

La lenticule est hydrophile, elle survit à des pH neutres ou alcalins. Ces pH peuvent aller de 5 à 9 mais se développe mieux à des pH neutres étant entre 6,5 à 7,5. L'ammoniaque, sous forme ionisée est le meilleur substrat préféré de la lenticule. Un pH alcalin décale l'équilibre ammonium-ammoniaque vers l'état non ionisé et le résultat donne la libération de l'ammoniac libre qui est toxique pour la lenticule aux concentrations élevées (Ndang ekouma, 2006).

9.1.5. Azote

La concentration en azote augmente durant la formation de l'appareil foliaire et décroît ensuite, d'abord rapidement, puis lentement, jusqu'à la floraison. A la mort des feuilles, l'azote migre et s'accumule dans les organismes de réserve (Blake et Dubois, 1974).

9.1.6. Phosphore

Son évolution est comparable à celle de l'azote. A la fructification, l'accumulation, au niveau des parties aériennes, est moins importante ; par la suite la migration rapide vers les organes de réserve. Les lentilles accumulent efficacement le phosphore (Hillman et Culley, 1978).

9.1.7. Potassium

Il y'a une seule période d'assimilation intense, c'est à la formation de l'appareil foliaire. La décroissance est alors constante. On n'observe pas de stockage dans les organes de réserve (Hillman et Culley, 1978).

9.1.8. Calcium, sodium, magnésium

En général leur accumulation est plus importante au printemps et à l'automne, mais selon les données de certaines espèces (Blake et Dubois, 1974).

9.2. Facteur génétique**9.2.1. Age de la population**

Au cours du cycle végétatif, la plante absorbe les éléments chimiques en quantité différente selon les périodes considérées. Pendant ces périodes végétatifs, la croissance peut être éphéméroïde c'est-à-dire pour une courte durée (de l'ordre de quelques semaines) pour certaines plantes, d'autres peuvent boucler un cycle annuel complet (Ndang ekouma, 2006).

Chapitre II

Eutrophisation des lacs

Les pressions exercées par l'Homme sur les milieux naturels sont de plus en plus importantes, ce qui entraîne un risque de dégradation accru, d'année en année, de la qualité de notre environnement (Devidal et *al.*, 2007).

Le domaine de l'eau est un milieu particulièrement sensible aux pressions anthropiques puisque c'est principalement par l'eau que s'effectuent la collecte et le transfert des substances ou composés polluants dans l'environnement. Depuis quelques années, les lacs, les étangs et les marais, où se concentrent les masses d'eau issues des bassins versants voient leur qualité se dégrader fortement. Les phénomènes engendrés par les pollutions affectant le domaine de l'eau sont souvent spectaculaires. Ils peuvent se manifester par exemple par une prolifération de végétaux (algues, macrophytes), ou encore par l'envasement rapide des fonds lacustres. On parle alors d'eutrophisation ou encore de « vieillissement accéléré » du plan d'eau (figure 10).



Figure 10 : lac eutrophisé (Nemery, 2018).

Conscient de ces problèmes qui nuisent aux milieux naturels, mais également à l'ensemble des activités liés aux plans d'eau (pêche, tourisme, ...) un certain nombre d'actions peuvent être mises en place par les gestionnaires de ces espaces sensibles, pour limiter les phénomènes liés à l'eutrophisation (Devidal et *al.*, 2007).

La lutte contre l'eutrophisation des plans d'eau devrait passer avant tout par des méthodes préventives, qui s'attaquent réellement au problème de contamination, en limitant la diffusion du phosphore, de l'azote, de la matière organique ou encore des polluants, dans l'environnement (Devidal et *al.*, 2007).

1. Définition de l'eutrophisation

L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques est une succession de processus biologiques enclenchés en réponse à un apport excessif de nutriments (l'azote et le phosphore). Elle se traduit par des réponses complexes de l'ensemble des écosystèmes aquatiques d'eau douce, saumâtre ou salée. Elle peut être progressive ou brutale. Les effets les plus notables sont des proliférations de producteurs primaires (plantes aquatiques, algues, cyanobactéries), des phénomènes de toxicité ou d'anoxie (absence d'oxygène), des pertes de biodiversité (Pinay et *al.*, 2017).

2. Types d'eutrophisation

Selon Pinay et *al.* (2017), Il existe deux types d'eutrophisation.

2.1. Eutrophisation naturelle

Correspond à une augmentation de la production de matière organique liée à l'évolution d'un écosystème aquatique et qui s'étend sur plusieurs milliers ou millions d'années. Quel que soit l'écosystème aquatique concerné, le compartiment des producteurs primaires, c'est-à-dire le compartiment des organismes produisant leur propre matière organique, est toujours le premier impacté lors des processus d'eutrophisation. Des réactions en chaîne s'ensuivent au sein des autres compartiments biologiques avec des conséquences sur les cycles biogéochimiques, les dynamiques des communautés biologiques et finalement l'évolution de l'écosystème aquatique dans son ensemble (Pinay et *al.*, 2017).

2.2. Eutrophisation anthropique

Ce type d'eutrophisation est lié aux activités humaines est principalement imputé au phosphore (contenu dans les phosphates présents dans les lessives notamment) et à l'azote (contenu dans l'ammonium, et les nitrates présents dans les engrais). Le phénomène d'eutrophisation est ainsi fortement corrélé aux rejets agricoles, domestiques ou industriels dans les cours d'eau. Malheureusement, ce processus causé par les activités humaines se produit sur des échelles de temps courtes (de l'heure à l'année) (Pinay et *al.*, 2017).

3. Différents niveaux de l'eutrophisation dans les milieux aquatiques

Selon Galvez-Cloutier (2002), les plans d'eau peuvent être classés en fonction de l'état trophique qu'ils présentent. On différencie ainsi plusieurs stades d'avancement dans le processus d'eutrophisation, appelés aussi niveaux (ou états) trophiques ou degrés d'eutrophisation. Le tableau 04 représente une description des trois niveaux d'eutrophisation des lacs.

Tableau 04 : description des trois niveaux d'eutrophisation des lacs (Galvez-Cloutier, 2002).

niveaux d'eutrophisation	Etat du lac
Oligotrophe	Les lacs pauvres en matières nutritives (peu nourri), ayant une productivité faible mais très oxygénés dans toute leur profondeur, et dont la clarté de l'eau est très bonne.
Mésotrophe	Ces lacs reçoivent une quantité plus grande d'éléments nutritifs et ont une productivité biologique modérée, ils correspondent à la catégorie de lacs intermédiaires entre le stade oligotrophe et eutrophe.
Eutrophe	Ces lacs sont très enrichis en éléments nutritifs. Ils sont caractérisés par une productivité biologique élevée et il peut en résulter une perte de la diversité des espèces.

4. Causes de l'eutrophisation et les facteurs favorisants

4.1. Causes de l'eutrophisation

L'enrichissement de l'eau par les nutriments peut être d'origine naturelle, mais il est souvent accentué par les activités humaines. Il y a trois voies principales permettant l'apport de nutriments d'origine humaine : le ruissellement, l'érosion et la percolation en provenance de zones agricoles fertilisées, les rejets d'eaux résiduaires urbaines, et les rejets industriels. Le dépôt atmosphérique d'azote (venant de l'élevage animal et des gaz de combustion) peut également être important (Menesguen et *al.*, 2003).

D'après Menesguen et *al.* (2003), quelques activités peuvent amener à une augmentation des phénomènes d'eutrophisation, bien qu'elles soient très spécifiques, méritent d'être signalées :

➤ Développement de l'aquaculture

L'expansion de l'aquaculture contribue à l'eutrophisation à la fois par les apports de nourriture non consommée par les animaux et par les excréments des poissons d'élevage.

➤ **Transport d'espèces exotiques**

Les navires de commerce peuvent transporter sur de grandes distances, dans l'eau de leurs ballasts, des algues toxiques, des cyanobactéries ou des végétaux nuisibles de zones endémiques vers des zones indemnes. Dans ces nouveaux environnements, ces nouvelles espèces peuvent trouver un habitat favorable à leur croissance et à leur dispersion, stimulées par des nutriments en suffisance.

➤ **Les réservoirs, notamment en zones arides**

La construction de vastes réservoirs pour stocker et gérer l'eau douce a été pratiquée partout dans le monde. Ces barrages sont construits pour permettre la collecte des eaux de drainage provenant de vastes bassins versants. L'érosion conduit à l'enrichissement des eaux de ces réservoirs en nutriments tels que le phosphore et l'azote.

4.2. Facteurs favorisant le développement de l'eutrophisation

Outre l'apport de nutriments, la première condition qui favorise le développement de l'eutrophisation est purement physique ; c'est le confinement des masses d'eau (temps de renouvellement). Une masse d'eau peut être confinée physiquement, par exemple dans un lac ou même dans une rivière au débit suffisamment faible pour qu'elle fonctionne "en piston" (les eaux en amont ne se mélangent pas avec les eaux en aval) ou de manière dynamique (Menesguen et *al.*, 2003).

D'autres facteurs physiques influent sur l'eutrophisation des aquifères. La stratification thermique des eaux stagnantes (tels que les lacs et les bassins), la température de l'eau et l'intensité de la lumière jouent un rôle sur le développement des algues. L'augmentation de la luminosité et de la température durant le printemps et l'été expliquent pourquoi l'eutrophisation est un phénomène éminemment saisonnier. La pénétration de la lumière dans l'eau est affectée par l'eutrophisation. En effet, le développement des algues et autres végétaux génère un effet d'ombre qui réduit la photosynthèse dans les couches profondes, aussi la croissance des herbes aquatiques et des algues du fond s'en trouve limitée (Menesguen et *al.*, 2003).

5. Milieux touchés par l'eutrophisation

L'eutrophisation est essentiellement liée aux cycles de l'eau (naturels et artificiels), par laquelle les surplus de nutriments envahissent les écosystèmes. Tous les milieux contenant de l'eau, même en faible quantité, sont donc concernés, a fortiori ceux dont l'élément liquide est un constituant majeur (Sanchis, 2020).

En cela, les milieux aquatiques, y compris marins, ainsi que les zones humides, sont particulièrement sensibles à ce phénomène. Les eaux captives ou stagnantes (mares, étangs, lacs, marais,...) viennent en première ligne. C'est également le cas des estuaires, des baies et des golfes qui sont le réceptacle de tous les nutriments drainés en amont par les cours d'eau et le ruissellement (Sanchis, 2020).

6. Processus de l'eutrophisation

L'eutrophisation d'un lac se réalise selon les étapes suivantes (figure 11) (Laurentides, 2009).

- 1.** Le lac reçoit des apports en éléments nutritifs (particulièrement en phosphore) provenant de sources diverses (naturelles et anthropiques sur une longue ou courte période de temps).
- 2.** L'accumulation d'éléments nutritifs dans l'eau provoque, à plus ou moins long terme, une prolifération de plantes aquatiques et d'algues dans la couche supérieure du lac et dans le littoral. Ce qui réduit considérablement la transparence de l'eau par l'augmentation de la turbidité.
- 3.** L'augmentation de la turbidité limite le passage de la lumière à travers la colonne d'eau. La photosynthèse ne peut alors s'effectuer que près de la surface du lac.
- 4.** Le surplus de matière végétale produite dans l'épilimnion se dépose au fond du lac, suite à sa sénescence (mortalité).
- 5.** Les décomposeurs utilisent l'oxygène dissous afin de décomposer la matière végétale, ce qui provoque une diminution des concentrations d'oxygène dissous en profondeur.
- 6.** La raréfaction de l'oxygène dissous dans la couche inférieure du lac occasionne un changement dans la biodiversité des espèces présentes dans lac (ex : disparition des espèces de poissons d'intérêt sportif tels que les truites).



Figure 11 : processus d'eutrophisation (Laurentides, 2009).

7. Effets et conséquences de l'eutrophisation

Les principaux effets d'une eutrophisation dans les milieux aquatiques sont un véritable bouleversement pour l'écosystème initial, avec notamment les effets suivants (Smith et *al.*, 1999 ; Smith 2003 ; Hilton et *al.*, 2006) :

- Eau trouble et teinte de l'eau en vert ou marron, signe d'un développement excessif de phytoplancton en suspension dans la colonne d'eau et possiblement de cyanobactéries.
- Développement excessif d'algues benthiques et constitution d'un épais biofilm sur le fond et sur la végétation aquatique fixée.
- Développement excessif des espèces macrophytiques, fixées ou flottantes, pouvant se développer jusqu'à recouvrir totalement la surface libre.
- Très fortes variations d'oxygène dissous et de pH dans une même journée pendant les blooms, avec une sous-oxygénation marquée la nuit pouvant, dans le cas des rivières, plonger le système dans des conditions anoxiques.
- Perte de biodiversité de l'écosystème initial pour tous les maillons de la chaîne trophique en fonction de l'adaptabilité des différentes espèces.
- Mise en place de conditions favorisant le développement par opportunisme d'espèces végétales et animales invasives.

8. Lutte contre l'eutrophisation

L'eutrophisation d'origine anthropique n'est pas une fatalité. De nombreuses mesures, mises en œuvre en complémentarité et en cohérence, sont susceptibles d'inverser la tendance et même de restaurer certains écosystèmes pourtant sévèrement impactés. Ces mesures sont d'autant plus pertinentes qu'elles participent d'une approche globale visant à une stratégie de développement durable dans tous les domaines de l'activité humaine et de ses impacts environnementaux.

Le premier des remèdes consiste à limiter le rejet de substances nutritives dans le milieu aquatique. Pour cela, il est nécessaire de limiter l'utilisation des engrais chimiques en agriculture et les remplacer par les engrais verts et le composte et de faire disparaître les phosphates de nos produits du quotidien (comme dans les produits lave-vaisselle où ils ne sont pas interdits) (Lecomte, 2012).

Ensuite, il est efficace dans certains cas de créer des zones tampons entre les champs et les cours d'eau (figure 12), aussi appelés cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN). Ces zones sont des bandes enherbées et arborées qui permettent de limiter la pollution des sols en absorbant les substances nutritives via leurs racines. Les plantes vont piéger les nitrates qui ne seront ainsi pas emportés par les eaux (Lecomte, 2012).



Figure 12 : Implantation d'une zone tampon (Cornec et Arvalis, 2012).

Enfin, une élimination plus efficace de l'azote et du phosphore par les stations d'épurations des entreprises industrielle est également souhaitable. Le lac d'Annecy (Haute-Savoie, France) était au passé un lac eutrophisé. Grâce aux actions menées par les collectivités locales, ce type de pollution n'atteint plus ce lac aujourd'hui. Cet exemple montre bien qu'il est possible d'agir contre l'eutrophisation (Lecomte, 2012).

9. Utilisation des lentilles d'eau pour l'épuration des eaux

Les lentilles d'eau constituent un bon modèle expérimental en procédés d'épuration des eaux usées et polluées vu leur croissance rapide, leur culture facile ainsi leur récolte (Ater et *al.*, 2006). La plupart du temps immergées, elles sont ainsi le reflet des eaux dans lesquelles elles se situent. D'après Lopez et *al.* (1997) et Samecka-Cymermen et *al.* (2000), ces organismes permettent d'obtenir une évaluation globale de la qualité environnementale du milieu (étude des réactions physiologiques liées au stress et des concentrations environnementales des polluants dans les tissus). Cette dernière application est favorisée par le fait que de nombreuses plantes aquatiques résistent à la toxicité de certains polluants et les accumulent dans leurs tissus (Ndang Ekouma, 2006).

En effet, les lentilles d'eau sont très utilisées pour l'évaluation de la toxicité des polluants, comme les huiles industrielles (Tkalec et *al.*, 1998), les métaux lourds (Wang, 1986 ; Mohan et Hosetti, 1997), les hydrocarbures (Huang et *al.*, 1995) et les pesticides (Hartman et Martin, 1985). Chez la lentille d'eau, ces substances toxiques peuvent être estimées par différents paramètres comme le nombre de frondes, la biomasse et la surface foliaire (Wang, 1986 ; Tkalec et *al.*, 1998), le taux des enzymes respiratoires comme la catalase et la peroxydase (Mohan et Hosetti, 1997) et la teneur en chlorophylle et en azote (Strother, 1981). Le nombre de frondes et la biomasse en plus de leur large utilisation, présentent l'avantage d'être simples et compatibles avec un grand dispositif expérimental (Ater et *al.*, 2006).

Les lentilles d'eau sont capables d'absorber plus de 85 % des éléments minéraux contenus dans l'eau (ammonium, phosphates ...), de quoi traiter efficacement les eaux usées, en les plaçant au cœur d'un véritable écosystème d'épuration. Ces plantes cohabitent avec de nombreux micro-organismes qui complètent l'épuration en absorbant les éléments organiques (Stomp, 2018).

Par les racines, les lentilles d'eau filtrent les contaminants bactériologiques, l'azote, les phosphates et les éléments nutritifs des plans d'eau, étangs, terres humides artificielles et eaux usées. Elles contribuent donc à réduire la pollution de l'eau.

Partie expérimentale

Chapitre III

Matériel et méthodes

L'objectif principal de notre étude expérimentale est d'évaluer certaines propriétés physicochimiques (métaux lourds, potentiel hydrogène, dureté etc.) d'eau du lac vert à Yakouren (Willaya de Tizi Ouzou) (figure 13) ainsi que d'identifier la lentille qui le couvre.

1. Présentation de la région d'étude



Figure 13 : lac vert à Yakouren (originelle, 2022).

1.1. Localisation géographique et administrative du lac vert

Le Lac vert - Aguelmim Mezzi – Tamajarth est un lac qui se trouve dans le massif forestier de Yakouren à 42 km à l'Est de Tizi Ouzou, plus précisément dans la forêt de Beni Ghobri (5710 ha) qui est rattachée administrativement à la circonscription forestière d'Azazga, et dans le canton Boumaza.

Le massif de Béni-Ghobri se situe à 100 km à l'est d'Alger dans la wilaya de Tizi Ouzou, il est délimité :

- Au Nord, par le Mont Tamgout ;
- Au Sud, par les villages Cheurfa N'Behloul et Chebel ;
- A l'Ouest, par la ville d'Azazga;
- A l'Est, par la forêt d'Akfadou.

Tableau 05 : coordonnées géographiques du lac vert, du canton Boumaza et de la forêt de Beni Ghobri (INRF d'Azazga, 2020).

Coordonnées	Lac vert	Canton Boumaza	Forêt Beni Ghobri
Nord	36°43'30''	-	-
Est	4°29'28''	-	-
Longitude Ouest	-	-	36°45'50,99''
Longitude Est	-	4°28'33,60''	36°43'50,10''
Latitude Nord	-	36°43'34,47''	36°47'02,81''
Latitude Sud	-	-	36°42'04,36''

La localisation géographique du lac vert à Yakouren et de ses alentours est présentée dans la figure 14.

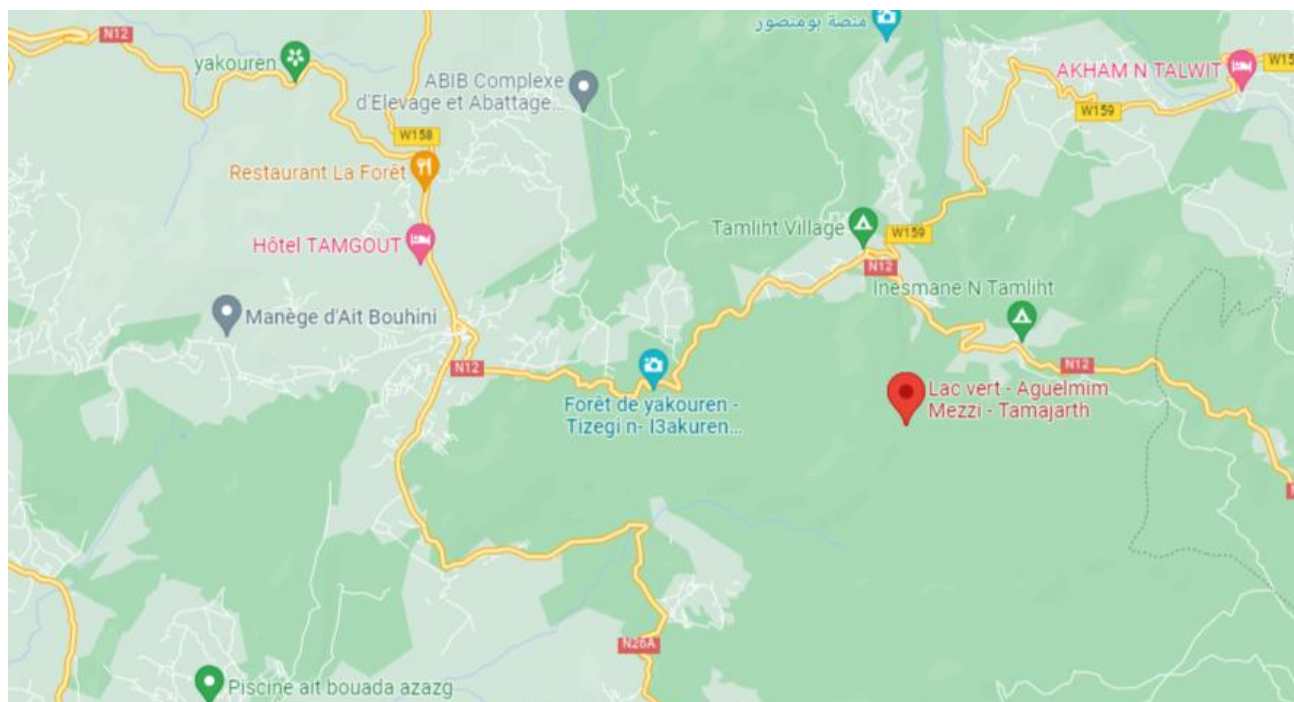


Figure 14 : localisation géographique du lac vert à Yakouren (Google Earth, 2022).

1.2. Caractéristiques climatiques de la région d'étude

En région méditerranéenne les facteurs prépondérants qui régissent la distribution des plantes sont le stress hydrique (sécheresse) et le stress thermique hivernal (froid ou gel). Ce stress thermique hivernal conditionne divers aspects de la biologie et de l'écophysiologie des espèces, la distribution, la reproduction, la productivité, et les taux de survie des ligneux en fonction des accidents abaissant brusquement et longuement les minimas hivernaux (Meddour, 2010).

L'étude climatique et bioclimatique, effectuée par Meddour (2010), dans la région de la Kabylie Djurdjuréenne, nous permet de positionner la forêt de Beni Ghobri sur le climagramme d'Emberger dans le sub-humide à hivers doux (cne d'Azazga) et dans l'humide à hivers tempéré (cne de yakouren) avec une tranche pluviométrique annuelle comprise entre 900 mm et 1400 mm (Messaoudène, 2008).

1.3. Caractéristiques topographiques de la région d'étude

Le cadre topographique de la région de Beni Ghobri est formé par la disposition du volume montagneux de la rive droite du haut Sebaou, mise en valeur par la tectonique récente et par la profonde taille du réseau hydrographique (Benhassaine, 1980).

D'un point de vue morphostructural, la région de Beni Ghobri forme un chaînon de montagne orienté Nord-Ouest / Sud- Est, qui se raccorde par sa partie septentrionale à la chaîne littorale au Djebel Tamgout et par sa partie sud- Est au chaînon de l'Akfadou.

La topographie de la région se distingue par deux unités géomorphologiques majeures à savoir, les glacis et les versants. Ces derniers occupent une superficie importante de la forêt (2/3 environ), notamment dans ces parties centrales et orientales.

La partie occidentale est particulièrement occupée par les glacis dont l'existence semble être liée selon Benhassaine (1980) à celle des sommets de grès numidien épais qui les alimentent continuellement en matériaux.

Selon Gelard (1978), le massif forestier de Beni Ghobri repose sur trois types de substratum géologiques :

- Les grès numidiens, dominants et occupant toutes les crêtes.
- Les argiles sous numidiennes de l'oligocène.
- Les flyschs à microbrèche du Sénonien.

D'un point de vue pédologique, les sols sont dans la plupart des cas de type brun forestier (Allalou, 1986) dont l'évolution tend vers une podzolisation ; ceci étant dû à l'acidité du substrat jointe à l'humidité qui y persiste en été (Quezel, 1956). Les humus sont de type mull acide ou Moudé (Durand, 1951).

1.4. Caractéristiques écologiques de la région d'étude

D'après Messaoudène (2008), la forêt de Beni Ghobri est constituée d'une strate arbustive très dense d'une hauteur de 1.5 à 3 m, composée de diverses formations végétales tels que le Chêne zen (*Quercus canariensis*), chêne afares (*Quercus afares*) et chêne liège (*Quercus suber*) (figure 15).

Elle est caractérisée par l'abondance de *Cytisus villosus* (figure 16), qui est la plus mésohyrophile des Fabacées arbustives présents dans les subéraies et de nombreux nanophanérophytes typiquement méditerranéens (Medour, 2010) (tableau 02).

Tableau 06 : espèces de nanophanérophytes présent à la forêt de Beni Ghobri ((Medour, 2010).

Nanophanérophytes présents à la forêt de Beni Ghobri
<i>Erica arborea</i>
<i>Arbutus unedo</i>
<i>Phillyrea media</i>
<i>Myrtus communis</i>
<i>Crataegus monogyna</i>
<i>Calycotome spinosa</i>
<i>Genista tricuspida</i>
<i>Cistus salviifolius</i>
<i>Cistus monspeliensis</i>
<i>Lavandula stoechas</i>



Figure 15 : feuillu de Chêne à Yakouren (originelle, 2022).



Figure 16 : *Cytisus villosus* (originelle, 2022).

2. Matériel

2.1. Matériel du laboratoire et d'échantillonnage

L'ensemble des appareillage, accessoires, solutions et réactifs chimiques utilisés est cité dans le tableau tableau 07.

Tableau 07 : matériel utilisé lors de notre étude.

Appareillage, verrerie de laboratoire	Ustensiles d'échantillonnage	Solutions et réactifs chimiques
Loupe, pH-mètre, Sonde, Cuve ronde, Pipette à piston avec embouts, Bloc chauffant, Fioles, Spectrophotomètre,	Fourchette, Boite en verre, Bouteilles en verre, Papier aluminium, Sacs noir en plastique.	NaOH, Eau distillée, Acide sulfurique, Phénophtaléines, Thiocyanate de mercure, Acide chlorhydrique, Méthylorange.

Seringue en plastique, récipient de mesure, Erlenmeyer, Comparateur colorimétrique, Burette.		
--	--	--

2.2. Matériel biologique

L'étude est réalisée sur la lentille des eaux douces prélevée au niveau du lac vert à Yakouren (Willaya de Tizi Ouzou) ainsi que sur l'eau de ce lac.

3. Echantillonnage

L'échantillonnage de la lentille et de l'eau au niveau du lac vert à Yakouren a été réalisé le samedi 26-05-2022 à 13 :50.

En premier lieu, nous avons procédé à l'échantillonnage de la lentille au niveau de la rive puis au centre du lac. Les échantillons prélevés sont conservés dans des boîtes en verre.

Ensuite, en utilisant des bouteilles en verre, nous avons prélevé 1L d'eau du lac (figure 17) à laquelle nous avons ajouté 5g de NaOH dans le but de conserver la qualité de l'eau pour une meilleure analyse physicochimique. Les boîtes en verre bien fermées ont été surplace couvertes du papier aluminium et mises dans des sacs noirs afin d'arrêter toutes les réactions physicochimiques de l'eau et des particules qui s'y baignent.



Figure 17 : étapes d'échantillonnage au lac vert (Originelle, 2022).

4. Protocol expérimental

L'observation des échantillons de la lentille d'eau à la loupe binoculaire (Optika) a eu lieu au sein du laboratoire de recherche d'écologie des invertébrés terrestres du département SNV (Sciences de la Nature et de la Vie) de l'UMMTO, alors que les analyses des échantillons des eaux prélevées au niveau du lac vert ont été réalisées au niveau du laboratoire d'analyse des eaux et rejets atmosphériques de l'ENIEM (Entreprise National des Industries de l'Electroménager).

Les paramètres de l'eau évalués pour notre étude sont :

4.1. pH

Le potentiel hydrogène est le paramètre environnemental qui influence fortement sur la croissance bactérienne qui participe au traitement biologique de la matière organique (Sarni et Shel, 2011).

La mesure du pH d'eau du lac vert est réalisée à l'aide d'un pH-mètre (figure18) par rinçage de la sonde avec de l'eau distillée avant l'utilisation, la sécher avec du papier absorbant propre et enfin la placer dans l'échantillon et attendre que le compteur s'équilibre si la mesure reste stable.



Figure 18 : pH-mètre (originelle, 2022).

4.2. Températures

Paramètre physique ayant une influence sur l'intensité de l'activité biologique et le pouvoir de dissolution des sels et des gaz. La variation de la température influence sur la valeur du pH de l'échantillon et donc ils doivent être mesurés et lus simultanément sur le pH-mètre (Sarni et Shel, 2011) (figure 18).

4.3. Demande chimique en oxygène (DCO)

Ce paramètre correspond à mesurer la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique dans un échantillon (Sarni et Shel, 2011).

Mode opératoire (document interne ENIEM, 2022).

- Ouvrir une cuve ronde qui contient de l'acide sulfurique 80-98% et du mercure (II) 0.37-0.74%.
- La tenir inclinée et ajouter lentement sans mélanger 2.0 ml de l'échantillon à analyser à l'aide d'une pipette à piston avec embouts.
- Fermer la cuve à fond, l'insérer dans le récipient de sécurité et secouer en la tenant au bouchon car la cuve s'échauffe.
- La placer ensuite dans le bloc chauffant (figure 19).
- Enclencher le chauffage après 2h, sortir la cuve du bloc chauffant, 10 min plus tard la cuve est encore chaude.
- La secouer et laisser refroidir à température ambiante.
- Nettoyer la cuve à l'extérieur et mesurer à l'aide d'un spectrophotomètre (figure 20).



Figure 19 : bloc chauffant (Originelle, 2022). **Figure 20** : spectrophotomètre (originelle, 2022).

4.4. Fer

Mode opératoire (document interne ENIEM, 2022).

- Remplir deux fioles jaugées de 25 ml à l'aide d'une pipette à piston avec embouts avec 20 ml d'eau du lac. L'une de ces fioles doit contenir 1ml de fer R₁ (Réactif du fer), mélanger.
- rajouter une cuillère de mesure 85mm de fer R₂ (Réactif du fer), mélanger.
- ajouter 1ml de fer R₃, mélanger.
- rajouter 1ml de fer R₄ et mélanger. Ajuster le volume des deux fioles dans les deux fioles à 25 ml avec de l'eau distillée et mélanger.

- Après 5 min, transvaser dans les cuves rectangulaires et déterminer après une minéralisation à l'aide d'un spectrophotomètre.

4.5. Nickel

Mode opératoire (document interne ENIEM, 2022).

- A l'aide d'une seringue en plastique, verser 5 ml d'eau du lac dans chacun des deux récipients de mesure A et B.

- Placer un récipient de mesure à la position A dans un comparateur (figure 21). N'ajouter du réactif qu'au récipient de mesure B.

- Ajouter une cuillère de mesure de NI-1 (Réactif du nickel), fermer le récipient et mélanger.

- Ajouter 5 gouttes de NI-2 (Réactif du nickel), fermer le récipient et mélanger.

- Ouvrir le récipient après 1 min et placez-le à la position B du comparateur.

- Faire glisser le comparateur jusqu'à ce que les couleurs soient identiques dans le trou d'inspection du haut.

- Lire la valeur sur les languettes du comparateur.

- Après usage, rincer soigneusement les récipients et les refermer.

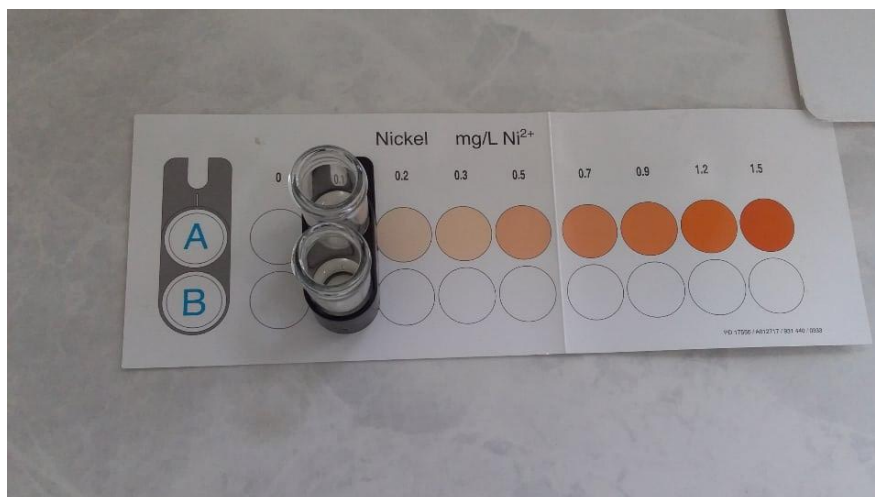


Figure 21 : échelle colorimétrique du nickel (originelle, 2022).

4.6. Zinc

Mode opératoire (document interne ENIEM, 2022).

- A l'aide d'une seringue en plastique, verser 1 ml d'échantillon d'eau de lac vert dans chacun des deux récipients de mesure A et B.
- Placer un récipient de mesure à la position A du comparateur (Figure 22). N'ajouter du réactif qu'au récipient de mesure B.
- Ajouter 2 gouttes de ZN-1 (réactif du zinc), fermer le récipient et mélanger.
- Ajouter 2 gouttes de ZN-2 (réactif du zinc) fermer le récipient et mélanger.
- Ajouter 5 gouttes de ZN-3 (réactif du zinc), fermer les récipients et mélanger.
- Ouvrir le récipient après 1min et placer-le à la position B du comparateur.
- Faire glisser le comparateur jusqu'à ce que les couleurs soient identiques dans le trou d'inspection du haut.
- Lire la valeur sur la languette du comparateur.
- Après usage, rincer soigneusement les récipients et les refermer.



Figure 22 : échelle colorimétrique du zinc (originelle, 2022).

4.7. Chrome

Mode opératoire (document interne ENIEM, 2022).

- A l'aide de la seringue en plastique, verser 5 ml d'échantillon d'eau de lac vert dans chacun des deux récipients de mesure A et B.
- Placer un récipient de mesure à la position A du comparateur (Figure 23). N'ajouter du réactif qu'au récipient de mesure B.

- Ajouter 5 gouttes de Cr-1 (réactif du chrome), fermer le récipient et mélanger.
- Ajouter 5 gouttes de Cr-2 (réactif du chrome), fermer le récipient et mélanger.
- Ouvrir le récipient après 3min et placer-le à la position B du comparateur.
- Faire glisser le comparateur jusqu'à ce que les couleurs soient identiques dans le trou d'inspection du haut.
- Lire la valeur sur la languette du comparateur.
- Après usage, rincer soigneusement les récipients et refermer-les.

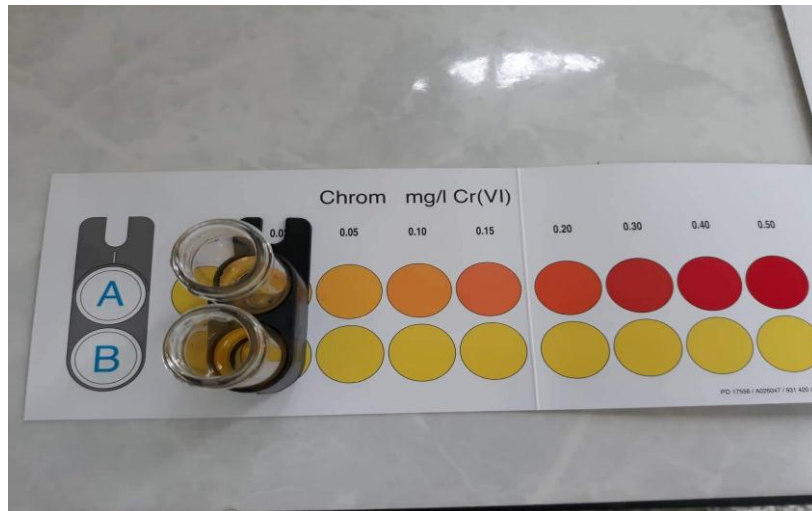


Figure 23 : échelle colorimétrique du chrome (originelle, 2022).

4.8. Phosphate

Mode opératoire (document interne ENIEM, 2022).

- Ouvrir une cuve ronde, ajouter à l'aide d'une pipette à piston avec embouts 0.2 ml d'eau du lac à analyser et un R₂ du phosphate total 45, fermer à fond, mélanger.
- placer dans le bloc chauffant et enclencher le chauffage à 120°C.
- Après 30 min, sortir la cuve du bloc chauffant et laisser refroidir à température ambiante.
- Ajouter R₃ du phosphate total 45 et 0.2 ml de R₄, fermer à fond et mélanger.
- Nettoyer la cuve à l'extérieur et mesurer avec un spectrophotomètre après 10 min.

4.9. Teneur en chlore

Mode opératoire (document interne ENIEM, 2022).

- Ouvrir la cuve ronde et ajouter à l'aide d'une pipette à piston avec embouts 1ml d'eau du lac et 1 ml de R₂ (thiocyanate de mercure II), fermer et mélanger.
- Nettoyer la cuve à l'extérieur et mesurer après 3min.

4.10. Dureté

La dureté de l'eau ou le titre hydrométrique (TH), est un indicateur de la minéralisation de l'eau, il correspond à sa concentration en calcium et en magnésium. Plus l'eau en contient, plus elle est considérée comme dur.

Mode opératoire (document interne ENIEM, 2022).

- Prélever 50 ml d'eau du lac vert à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter l'EDTA (sel tétrasodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique) par goutte jusqu'à ce que la solution change de couleur).
- Le nombre de goutte ajouté à l'eau avant qu'elle ne change de couleur indique sa dureté.

4.11. Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)

Ces deux paramètres permettent de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes contenus dans l'eau, c'est à dire l'alcalinité d'une eau.

Elle se mesure par la neutralisation d'un certain volume d'eau par une solution diluée d'un acide minéral grâce au point d'équivalence étant déterminé par des indicateurs colorés (Hakmi, 2006).

4.11.1. Détermination du Titre alcalimétrique (TA)

Mode opératoire (document interne ENIEM, 2022).

- Prélever 50 ml d'eau du lac vert à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter 1 à 2 gouttes de phénophtaléine, ce qui donne une coloration rouge.
- Verser ensuite doucement l'acide chlorhydrique dans la capsule à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution à un pH=8.3.

4.11.2. Détermination de Titre alcalimétrique complet (TAC)

Mode opératoire (document interne ENIEM, 2022).

- Prélever 50 ml d'eau de lac à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter 2 gouttes de méthylorange où une couleur jaune apparaitre.
- Verser ensuite doucement l'acide chlorhydrique dans la capsule à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'au virage du jaune au jaune orangé à pH=4.3.

Chapitre IV

Résultats et discussion

Les résultats de l'étude que nous avons menée sur la lentille des eaux douces au niveau du lac vert à Yakouren (Willaya de Tizi Ouzou) et des analyses physicochimiques effectuées au sein du laboratoire de l'ENIEM sont exposés au long de ce chapitre.

1. Analyses physicochimiques de l'eau du lac

Les analyses physicochimiques de l'eau du lac vert effectuées au niveau du laboratoire d'analyse des eaux et des rejets atmosphériques au niveau de l'Entreprise Nationale des Industries de l'Electro-Ménager « ENIEM » ont donné les résultats suivants.

1.1. Résultats des paramètres physicochimiques d'eau du lac analysés au niveau du laboratoire de l'ENIEM

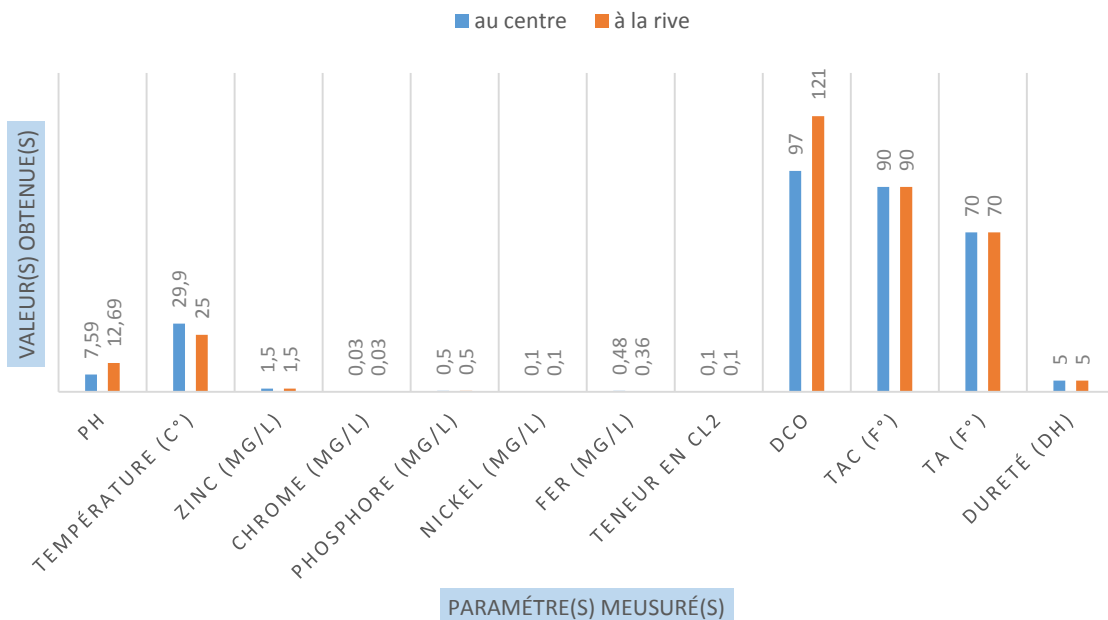


Figure 24 : résultats des paramètres physicochimiques d'eau du lac vert.

Les résultats des analyses physicochimiques de l'eau du lac vert sont interprétés et comparés aux normes réglementaires algériennes selon le décret exécutif N°14-96 du journal officiel correspondant au 09 mars 2014 et le décret exécutif N°06-141 du journal officiel correspondant au 23 Avril 2006 (annexe 01).

1.1.1. Potentiel hydrogène (pH)

Les résultats du pH obtenus sont supérieurs à 7 (7,59 au centre) et (12,69 à la rive), ce qui indique l'alcalinité de l'eau analysée (tableau 03, annexe 01). La valeur du centre est conforme à la norme tandis que celle enregistrée à la rive n'est pas conforme selon le décret exécutif N°14-96 correspondant au 09 mars 2014 (tableau 01, annexe 01).

1.1.2. Températures

La mesure de la température a été réalisée après 48h de prélèvement. La valeur enregistrée au centre du lac est trop élevée (29.9°C) et n'est pas conforme à la norme de la loi réglementaire algérienne contrairement à celle à la rive (25°C) (tableau 01, annexe 01).

1.1.3. Demande chimique en oxygène (DCO)

Les valeurs de la demande chimique en oxygène (DCO) sont relativement proches (97mg/l au centre) et (121mg/l à la rive). La valeur obtenue au centre est conforme à la norme réglementaire algérienne, tandis que celle enregistrée à la rive du lac ne conforme pas à cette dernière (tableau 02, annexe 01).

1.1.4. Fer (Fe)

D'après la figure 25, l'analyse du fer a permis d'enregistrer des valeurs différentes entre le centre (0,48 mg/l) et la rive du lac (0,36 mg/l), néanmoins plus élevées au centre. Nos résultats sont non conformes à la norme réglementaire algérienne (tableau 01, annexe 01).



Figure 25 : résultat d'analyse du fer (originelle, 2022).

1.1.5. Dureté (TH)

Les mesures de la dureté de l'eau du lac vert ont révélé un résultat commun au centre et à la rive. Les valeurs obtenues (TH>5 mg/l) sont conformes à la norme réglementaire algérienne (tableau 01, annexe 01).

1.1.6. Phosphate (PO₄)

D'après la figure 26, l'analyse de la teneur en phosphate a permis d'enregistrer des valeurs identiques au centre et à la rive du lac (PO₄<0,5). Ils sont donc conformes à la norme réglementaire de la loi algérienne (tableau 01, annexe 01).



Figure 26 : résultats d'analyse du phosphate total (originelle, 2022).

1.1.7. Teneur en chlore (Cl_2)

Selon la norme réglementaire de la loi algérienne (500mg/l) la valeur de la teneur en chlore obtenue (0.1 mg/l) est conforme (tableau 01, annexe 01).

1.1.8. Chrome (Cr)

Selon la norme réglementaire algérienne, la teneur en chlore doit être $< 50 \mu\text{g/l}$ (= 0,05 mg/l) (tableau 01, Annexe 01), ce qui est le cas de nos échantillons dosés qui révèlent une quantité de 0.03 mg/l au centre et à la rive du lac (Figure 27).



Figure 27 : résultat d'analyse du chrome (originelle, 2022).

1.1.9. Zinc (Zn)

Les valeurs du zinc enregistrées sont identiques au centre et à la rive (1,5mg/l) (figure 28). Ces valeurs sont inférieures à la norme réglementaire algérienne (5mg/l) (tableau 01, annexe 01) elles sont donc conformes à cette dernière.



Figure 28 : résultat d'analyse du zinc (originelle, 2022).

1.1.10. Nickel (Ni)

Les valeurs du nickel sont communes au centre et à la rive 0.1mg/l (figure 29) elles ne sont pas conformes aux normes réglementaires de la loi algérienne (tableau 01, annexe 01).

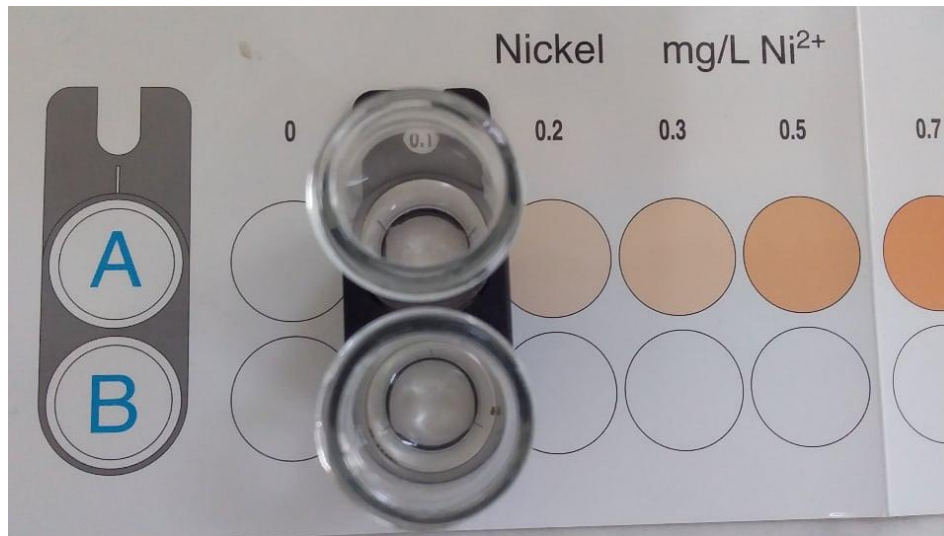


Figure 29 : résultat d'analyse du nickel (originelle, 2022).

1.1.11. Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)

Les valeurs du titre alcalimétrique complet sont identiques au centre et à la rive (90°F= 900 mg/l). Ces valeurs sont supérieures à la norme réglementaire algérienne (65mg/l) (tableau 01, annexe 01).

Les résultats obtenus montrent que les valeurs du pH et de la DCO au centre, de la température à la rive du lac sont conformes aux normes réglementaires selon le décret exécutif N°14-96 du journal officiel algérien, ainsi que la dureté, le phosphate, la teneur en chlore, en chrome et en zinc. Tandis que les valeurs du pH et de la DCO à la rive, de la température au centre ainsi que le nickel, le titre alcalimétrique et le fer sont non conformes aux normes réglementaires algériennes. En outre, la dureté est TH>5 ce qui nous indique que l'eau du lac vert est douce (tableau 04, annexe 01).

2. Identification de la lentille

D'après la qualité de l'eau du lac vert et la description morphologique suite à l'observation sous la loupe binoculaire effectuée au laboratoire, la lentille prélevée au niveau de lac vert est *Lemna minor* L. cela est confirmé par le logiciel Plant net.



Figure 30 : face supérieure de *Lemna minor* (originelle, 2022).



Figure 31 : face inférieure de *Lemna minor* (originelle, 2022).

2.1. Critères d'identification

L'identification de *Lemna minor* est basée sur le plan morphologique et l'observation à la loupe binoculaire (figure 30 et 31). Les critères utilisés pour cette identification sont présentés dans le tableau 09.

Tableau 08 : critères d'identification de *Lemna minor*.

A l'œil nu	Sous la loupe
Fleur verte, sans corolle	3 à 5 nervures sur sa face inférieure
Végétation vivace	Une seule racine centrale de 3 à 5 mm
Couleur vert clair (pâle)	
1-5 mm de diamètre	
Feuilles planes, ovales à allongées	
Feuillage persistant	

2.2. Systématique de la lentille *Lemna minor* L.

Tableau 09 : Systématique de la lentille *Lemna minor* récoltée au lac vert à Yakouren.

Règne	plantea
Embranchement	angiospermes
Classe	Liliopsida (monocotylédone)
Sous-classe	arécidés
Ordre	arales
Famille	Lemnacées (classification classique) Aracées (classification phylogénétique)
Sous-famille	Lemnoidées
Genre	<i>Lemna</i>
Espèce	<i>Lemna minor</i> L.

3. Discussion des résultats

Correspondant à la concentration d'ions d'hydrogène, le pH permet de mesurer l'acidité ou l'alcalinité d'une eau (Savary, 2010). Le pH dosé au lac vert est alcalin, variable du centre à la rive (7,59 - 12,69) (annexe 02). Cela peut être expliqué par l'abondance de la MO qui entoure le lac avec un taux élevé ainsi qu'aux reliefs calcaires de la région sans oublier l'activité photosynthétique élevée de la lentille (Bouزيد-Lagha, 2021) qui consomme une grande quantité de CO₂ dissous conduisant à l'augmentation de la concentration des bicarbonates dans l'eau du lac (Belkheir et Bouزيد-Lagha, 2021). Au centre du lac, le taux de pH présente un léger caractère alcalin ce qui est dû au faible taux de la matière organique. Les valeurs du pH obtenues sont dans le même intervalle que ceux obtenus par Abioye et Mahmoud (2005), Elhouati (2009) dans son étude sur le suivi des caractéristiques physicochimiques et phytoplanctoniques du lac de Réghaia (Willaya d'Alger), Mama et *al.* (2012) dans leur étude sur la caractérisation physicochimique et l'évaluation du risque d'eutrophisation du lac Nokué (Bénin), Boukermi et Hamdello (2018) dans leurs travaux sur la caractérisation et l'évaluation de la qualité physicochimique et de la pollution organique des eaux du barrage Bouhamdane (Willaya de Guelma), Chadli et Benhassaini (2019) dans leurs travaux sur l'ingénierie des eaux usées par l'utilisation de macrophytes sous climat aride : cas de *Lemna minor* L.

Les valeurs du titre alcalimétrique de l'eau du lac vert variant entre 70°F et 90°F, sont hautement supérieures aux résultats trouvés par Khrifi et Achi (2016) durant leurs études sur la caractéristique physicochimique du bassin versant de l'Oued Charef (Willaya de Guelma) et Makomo *et al.* (2016) dans leurs études sur la caractérisation physicochimique et l'étude sur la mise en équilibre calco-carbonique des eaux de trois fourrages de la ville de Brazzaville au Congo. L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions hydrogène (H^+) en présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH), comme elle peut donner une indication sur le degré d'oxydation des composés organiques, ainsi connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates, et éventuellement en hydroxydes contenus dans l'eau (Aouissi, 2010).

La température de l'eau est un facteur écologique très important qui agit pratiquement sur la totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Chapman et Kimstch, 1996). Elle influe sur beaucoup de paramètres, tels que l'oxygène dissous (dioxygène) indispensable à la vie aquatique qui diminue avec les températures élevées dans l'eau (CPEPESC FC, 2015). Les eaux à température trop élevée peuvent entraîner un manque d'oxygène dissous et une accumulation de dépôts nauséabonds, mais aussi la croissance accélérée des végétaux notamment les lentilles vertes (CPEPESC FC, 2015). La température mesurée au laboratoire de l'ENIEM pour l'eau du lac reflète une différence entre le centre et la rive où la valeur maximale est enregistrée au centre (29,9 C°). Les valeurs de la température enregistrées dans le lac vert à Yakouren sont concordantes avec celles obtenues par Kouassi *et al.* (2007) dans le lac du Barrage Hydroélectrique de Taabo, Ossey *et al.* (2008) dans le lac de barrage de Buyo, par Alikou *et al.* (2010) dans le lac de barrage de Taabou, par Konan *et al.* (2013) dans le lac de barrage d'Ayamé 1, Dimon *et al.* (2014) dans le lac Ahémé en Côte d'Ivoire et par Adou *et al.* (2016) dans le lac d'Ayamé 2. Ces dernières varient entre 25 °C et 33°C.

Les valeurs de températures agissent sur la DCO de l'eau ce qui fait que cette dernière est maximale à la rive et minimale au centre. Les valeurs de la DCO élevées montrent que les lentilles d'eau produisent une plus grande quantité d'oxygène dissous. Ces dernières sont proches de celle trouvée par Benhassaini et Chadli (2019) dans la station d'épuration à boues activées de Méchria (Willaya de Naama) et supérieures à celles de Sarni et Sehl (2011) dans la station d'épuration de l'entreprise Nationale des Electro-Industries à Azazga (Willaya de Tizi Ouzou) et Boukermi et Hamdellou (2018) dans le barrage de Bouhemmdane (Willaya de Guelma).

La dureté totale de l'eau (TH) est un paramètre rattaché directement à la quantité de calcium et de magnésium dans une eau (Rodier, 1978). Selon Khammar (2019), les résultats obtenus nous montrent que l'eau du lac étudié est trop douce ($TH > 5$ °F) contrairement aux valeurs très élevées obtenues par Toumi et *al.* (2016) dans leur étude sur la qualité physicochimique de l'eau du lac des Oiseaux (Extrême NE-Algérien) et Achour et *al.* (2019) lors de leur étude sur l'optimisation de procédés physicochimiques visant le traitement de l'eau du barrage de Babar (Willaya de Khenchla).

Il est communément admis que la concentration en phosphore dans les eaux joue un rôle déterminant sur le développement des végétaux aquatiques, c'est un composant vital qui transforme la lumière solaire en énergie utilisable par les producteurs. C'est principalement sous forme de phosphate que les ces végétaux absorbent le phosphore bien qu'il puisse mobiliser aussi une fraction souvent indéterminée du phosphore total (Martin, 1987). En outre, cet élément est dans la majorité des cas le facteur limitant du processus d'eutrophisation (Vollenweider, 1980). Les valeurs de concentration en phosphate au lac vert sont inférieures à 0,5 mg/l suite à sa consommation par *Lemna minor*, c'est un élément nutritif qui favorise sa croissance. Nos résultats sont inférieurs à ceux de Sarni et Sehl (2011) lors leur étude sur l'impact biologique et évaluation de la croissance de *Lemna minor* dans la station d'épuration de l'entreprise Nationale des Electro-industries d'Azazga.

En général, l'eau contient toujours des chlorures mais en proportions très variables, leurs teneurs augmentent généralement avec le degré de minéralisation de l'eau (Rejsek, 2002). Selon Achour et *al.* (2019), les demandes en chlores sont souvent corrélées à la nature et à la quantité de la matière organique présente dans les eaux. En se référant au décret exécutif N°14-96 du journal officiel correspondant au 09 mars 2014 (annexe 01), l'eau du lac étudié est une eau de très bonne qualité vue le taux de chlorure réduit (0.1mg/l) qu'elle contient.

Les analyses physicochimiques des éléments traces métalliques ont montré que le taux du Fer au niveau du lac est très faible, il évolue de la rive au centre en raison de sa sédimentation. Contrairement au chrome et au nickel qui apparaissent sous forme de traces avec des taux qui sont respectivement 0,03 mg/l et 0.1 mg/l. tandis que, le zinc est le métal le plus présent dans l'eau de ce lac avec une valeur de 1.5 mg/l.

L'étude physicochimique que nous avons menée sur l'eau du lac vert à Yakouren a révélé que l'eau de ce dernier est très douce, caractérisée par un pH alcalin, une température moyenne de 27,45°C, une demande chimique en oxygène DCO élevée et un titre alcalimétrique très fort, une teneur en phosphates et en chlores très faibles. De plus, les éléments traces

métalliques tel que Zn et Cr sont présents dans cette eau avec des valeurs conformes aux normes réglementaires selon le décret exécutif N°14-96 du journal officiel correspondant au 09 mars 2014 contrairement aux valeurs de Ni et Fe qui dépassent ces normes (annexe 01).

Conclusion

Conclusion

Ce travail est focalisé sur l'étude des facteurs abiotiques de l'eau du lac vert à Yakouren appartenant à la forêt de Beni Ghobri (willaya de tizi ousou) afin d'identifier la lentille d'eau douce *Lemna minor* qui forme un tapis végétal à la surface de cette dernière où les conditions écologiques favorables pour sa survie sont disponibles (exposition au soleil, des températures adéquates, un pH alcalin, une MO consistante, ...).

L'identification de la lentille échantillonnée a permis de la classer dans la famille des Lemnacees dont le nom de l'espèce est *Lemna minor* qui vit dans des eaux calmes stagnantes douces, assez chaudes, exposée au soleil où les nutriments notamment les oligoéléments sont présents en quantités suffisantes afin d'assurer sa survie et accomplir ses fonctions écologiques.

L'étude physicochimique de l'eau du lac vert a fait ressortir des valeurs conformes aux normes réglementaires algériennes selon le décret exécutif N°14-96 du journal officiel correspondant au 09 mars 2014 telles que la dureté, le zinc, le chrome, la teneur en chlore et en phosphate, une DCO minimale de 97 mg/l ainsi que d'autres non conformes tels qu'un pH alcalin, une température moyenne de 27,47 °C, un taux de nickel et de fer élevé, un titre alcalimétrique très fort eu ne DCO maximale de 121 mg/l, néanmoins, ces conditions restent favorables à la survie et au développement de la lentille étudiée.

Au terme de ce travail, et pour compléter la présente étude, il serait intéressant de :

- Approfondir l'étude en s'intéressant aux conditions de survie de *Lemna minor* et à sa variation quantitative et qualitative en fonction des variations saisonnières.
- Valoriser cette lentille dans divers domaines tels que l'alimentation, et surtout l'épuration des eaux usées et les lacs eutrophisés.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Achour S, Modjad H, Hellal H, Kelili H, 2019. Essais d'optimisation des procédés de clarification et de désinfection d'eau de barrage de la région de Khenchela (EST Algérien). *Larhyss Journal*. Vol 37. P 151-174.
- Adou Y.E, Blahoua K.G, Bamba M, Yao S.S, Kouamélan E.P, N'douba V, 2017. Premières données sur l'inventaire du peuplement ichtyologique d'un lac Ouest africain situé entre deux barrages hydroélectriques : Lac D'ayamé 2 (Côte D'ivoire). *Journal Of Applied Biosciences*. Vol 110. P 10808-10818.
- Ait Abdedelaziz F, Ben Hamlat F, 2016. Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de trois sources d'eau des trois communes Abi Youcef-Yakouren - Bouzeuguene. Mémoire de fin d'étude, université UMMTO. P 69.
- Aliko N.G, Da Costa K.S, Konan K.F, Ouattara A, Gourène G, 2010. Fish diversity along the longitudinal radient in a man-made lake of west Africa, taabo hydroelectric reservoir, Ivory Coast. *Ribarstvo*. Vol 68 (2), P 47-60.
- Allalou Y, 1986. Contribution à l'étude préliminaire de quelques propriétés des sols forestiers de la kabylie du Djurdjura. Mem D.E.S. Bio.Veg. Inst,Bio. Tizi-Ouzou. P 46.
- Anonyme, 2019. Eutrophisation. Milieumarinfrance.
- Anonyme, 2020. Youmatter. Eutrophisation. Définition, causes, conséquences et solutions.
- Anonyme, 2022. Milieu Marin France : Le service public d'information sur le milieu marin.
- Aouissi A, 2010. Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-Est De L'Algérie).
- Arvalis-Institut du végétal, 2012. Réussir l'implantation et l'entretien d'une bande enherbée.
- Ater M, Aït Ali N, Kasmi H ,2006. Tolérance et accumulation du cuivre et du chrome chez deux espèces de lentilles d'eau : *Lemna Minor L.* Et *Lemna Gibba L.* *Journal Of Water Science*. Vol. 19 (1). P57-67.
- Bema A, Slimani R, 2016. L'étude de stress oxydatif chez une plante aquatique *Lemna Minor L.* Toxicologie appliquée. Mémoire de Master, université Larbi Tébéssi. P 97.
- Blake G, Dubois J.P, 1974. L'épuration des eaux par les plantes aquatiques. *Revue Scientifique*. P 47.
- Boukermi R, Hamdellou A, 2018.Caractérisation et évaluation de la qualité physico-chimique et de La pollution organique des eaux du Barrage Bouhamdane (W. de Guelma). Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Constantine. P 39.
- Bour H, 2019. La lentille d'eau Mankai, super-aliment de demain ? *Santé magazine*.

Références bibliographiques

- Caractéristiques chimiques d'un lac eutrophe en milieu tropical : la conductivité comme indicateur de trophie du lac de Buyo (Côte D'ivoire). *Journal De La Société Ouest-Africaine Dechimie*. Vol 25. P 87-108.
- Chadli A, Benhassaini H, 2019. Ingénierie écologique des eaux usées par l'utilisation de macrophytes sous climat aride : Cas de *Lemna minor L*. *L'eau, l'industrie, les nuisances*. Vol 424. P 77-80.
- Chapman D, Kimstach V, 1996. Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring. ISBN: 0419215905 (HB) 0419216006 (PB), chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London.
- Chergui A, Duran-doiz L, Georges B, Sibille L, 2020. La lentille d'eau comme fertilisant. Projet lentille d'eau. Master sol- eau - environnement. Université Sorbonne, France.
- Chytry M, 2009 : <https://www.biolib.cz/en/image/id105268/>
- Commission de protection des eaux, du patrimoine, de l'environnement, du sous-sol, des chiroptères, de franche comte, 2015. <https://cpepesc.org/6-nature-et-pollutions/2-eaux-et-milieus-aquatiques-sources-de-pollutions-et-atteintes/2-qualite-des-eaux-pollutions-etat-des-cours-deau/2-bonne-qualite-ou-pollution-des-eaux/parametres-physiques-et-chimiques-de-leau-indicateurs-des-pollutions/les-differents-parametres-physiques-et-chimiques-des-eaux-et-commentaires/>.
- Devidal S, Rivard-Sirois C, M.F Pouet, M.F, Thomas O, 2007. Solutions curatives pour la restauration des lacs présentant des signes d'eutrophisation, rapport interne, observatoire de l'environnement et du développement durable. Thèse d'université de Sherbrooke Rappel, Sherbrooke, Québec, Canada. P 51.
- Dimon F, Dovonou F, Adjahossou N, Chouti W, Mama D, Alassane A, Boukari M, 2014. Caractérisation physico-chimique du lac Ahémé (Sud Bénin) et mise en relief de la Pollution des sédiments par le plomb, le zinc et l'arsenic. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 037, P 36-42.
- Djori A, 2012. Contribution à l'étude de mise au point de la phytoremédiation : application à l'élimination d'un pesticide par la plante aquatique *Lemna Gibba L*. Thèse de Magister, Université De Saad Dahlab, Blida. P 76.
- Durand J, 1951. Sur quelques sols de la forêt de l'Akfadou et des environs de Yakouren (Grande Kabylie). *Ann. Inst. Nat. De La Rech. Agro. (Inra)*, N°2, Série A. P110-126.

Références bibliographiques

- Dynamique des apports en éléments majeurs et nutritifs des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. Vol 5(3). P 1278-1293.
- El houati H, 2009. Suivi des caractéristiques physico-chimiques et phytoplanctoniques du lac de Réghaia (Wilaya d'Alger). Mémoire de Master, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Faculté des Sciences Biologiques. P 81.
- Evaluation Spatio-Temporelle des charges solides et caractérisation hydrochimique des eaux du lac du barrage hydroélectrique D'Ayamé 1 (Côte D'ivoire). *Bulletin De L'institut Scientifique, Rabat, Section Sciences De La Terre*. Vol 35. P 17-25.
- Fortier J. F, Florentain A, Terver D, Nicolas, 2007. Aquaportail. Dernière mise à jour le 28/02/2020.
- Galvez-Cloutier R, Ize S, Arsenault S, 2002. La détérioration des plans d'eau : Manifestations et moyens de lutte contre l'eutrophisation. *Vecteur Environnement*. Vol 35, N°6. P 18-37.
- Gelard J. P, 1978. Carte géologique du Nord Est de la Kabylie. Schéma structural, échelle 1/200000. Travaux du laboratoire associé Au C.N.R.S.
- Hakmi A, 2006. Traitement des eaux « Traitement de l'eau de source Bousfer ». Mémoire d'université de science de la technologie, Oran. P 1-5.
- Hartman W.A, Martin D.B, 1985. Effect of four agricultural pesticides on *Daphnia Pulex*, *Lemna Minor* and *Potamogeton Pectinatus*. *Bull Environ Contam Toxicol*. Vol 35.
- Hillman W S, Culley Dd, 1978. Les utilisations de la lenticule. Vol 66. P442-451.
- Hilton J, Hare M, Bowes M.J, Jones J.I, 2006. How green is my river? A new paradigm of eutrophication in Rivers. *Sci Total Environ*. Vol 365. P 66-83.
- Huang X.D, Dixon D.G, Greenberg B.M, 1995. Increased polycyclic aromatic hydrocarbon toxicity following their photomodification in natural sunlight. *In: Impacts On Duckweed Lemna Gibba L. G3. Ecotox Environ Saf*. Vol 32. P 194-200.
- Hydroélectrique De Taabo (Côte D'ivoire). *European Journal Of Scientific Research*. Vol 18 (3), P 464-478.
- Indicateur de trophie du lac de Buyo (Côte d'Ivoire). *Journal de la Société Ouest Africaine de Chimie*. Vol 25. P 87-108.
- Kherifi N et Achi I, 2016. Caractéristiques physico-chimiques d'un cours d'eau (cas de l'Oued Charef) dans la région de Guelma (Nord-est algérien). Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master. Université 8 Mais 1945, Guelma. P 68.

Références bibliographiques

- Konan K.S, Kouassi K.L, Konan K.F, Kouamé K.I, Aka K, Gnakri D, 2013. Evaluation des charges solides et caractérisation hydrochimique des eaux du lac du barrage hydroélectrique d'Ayamé 1 (Côte d'Ivoire). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre*. Vol 35. P 17-25.
- Kouassi K.L, Gone D.L, Meledje N.H, Wognin A.V, Aka K, 2007. Hydrologie et évolution spatio-temporelle des charges solides en suspension dans le lac du barrage hydroélectrique de Taabo (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*. Vol 18 (3). P 464-478.
- Kupfer M, Corolla J, P In Doris, 2019: *Lemna Minor L*. <https://Doris.Ffessm.Fr/Ref/Specie/2227>.
- Lacorsiere S, 2008. Réponse des communautés de diatomées et de l'indice Idec à un transfert de substrat le long d'un gradient d'eutrophisation Dans les rivières du Québec. Mémoire présenté à l'université du Québec à Trois-Rivières, comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de l'environnement. P 46.
- Landolt E, 1986. The family of Lemnaceae monographic Study. *Veroeffentlichungen Des Geobotanischen Institutes der Eth, Stiftung Rubel Zurich*. Vol 1. P 71.
- Le Driant F, 2008 : *Lemna gibba L. /Lentille bombée/Araceae/Fiche détaillée fleurs des Hautes-Alpes*. https://www.florealpes.com/fiche_lemnagibba.php.
- Lecomte V, 2012. Copyright 2022. Ecotoxicologie.Fr.
- Leng Jh, Stambolie, Bell R, 1995. Lenticule : Une source potentielle de fourrage à haute valeur protéique pour les animaux domestiques et les poissons. *Revue N°1*. Vol 7. P13.
- Les D.H, Crawford D.J, Landolt E, Gabel J.D, Kimball R.T, 2002. Phylogeny and systematics of Lemnaceae. *The Duckweed Family Systematic Botany*. Vol 27(2). P 221-240.
- Lesfar S, 2004. Modélisation de la croissance de *Lemna Minor L*. et de la cinétique d'enlèvement du phosphore et de l'azote sous un environnement contrôlé. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise en sciences appliquées en Génie Civil Université Montréal. P129.
- Lopez J; Carballeira A, 1993. Interspecific differences in metal bioaccumulation and Plant-water concentration ratios in five aquatic bryophytes. *Hydrobiologia*. Vol 263(2). P 95-107.
- Machery- Najel GmbH et Co. KG in Document interne ENIEM, 2022. Neuman-Neander-Str.6-8. D-52355 Duren (Allemagne).
- Makomo H, Ntalani H, Moraya-El D, Fulbert Bouaka; Ouamba J;m, 2019. Caractérisation physico-chimique et étude sur la mise en équilibre calco-carbonique des eaux des trois forages de la ville de Brazzaville, Congo. *Afrique Science*. Vol 15(5). P 101-115.

Références bibliographiques

- Mama D, Chouti W, Alassane A, Changotade O, Alapini F, Boukari M, 2011. Étude Dynamique des apports en éléments majeurs et nutritifs des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. Vol 5 (3). P 1278-1293.
- Meddour R, 2010. Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie exemple des groupements forestiers et pré forestiers de la Kabylie Djurdjurienne. Thèse de Doctorat d'état en Science Foresterie. Université UMMTO.
- Menesguen A, Duchemin M. J, Klein G, Bartram J, Nush E, Fraga S, Jean-Pierre Dugue, Jean Duchemin M, Boualam M, Volterra L, 2003. Eutrophisation et Santé Luxembourg. Office des publications officielles des communautés européennes.
- Messaoudene M, Ourdani A, Loukkas A, Marchal R, 2008. Propriété physique du bois de chêne zen de la forêt de Ait Ghobri (Algérie) bois et forêt des tropiques. N°284. Vol (4).
- Messikh H, Guerraichi Y, 2020. Etude de la qualité physico-chimique et organoleptique des eaux destinées à la consommation humaine du forage Ras El Ain (Boumerzoug), Constantine. Université des Frères Mentouri, Constantine 1. P 44.
- Mohan B.S, Hosetti B.B, 1997. Potential phytotoxicity of lead and cadmium to *Lemna Minor* Grown in Sewage Stabilisation Ponds. *Environpollut*. Vol 2. P 233-238.
- Moro A, 2004 : Département des sciences de la vie, université de Trieste. <http://luirig.altervista.org/pics/index5.php?recn=27689&page=1>.
- Ndang Ekouma D, 2006. Etude de la cinétique et modélisation de la biosorption de quelques métaux Lourds : Cd²⁺, Cu²⁺ Et Zn²⁺ par la plante aquatique *Lemna Gibba L* : Thèse de Magister en Génie de Procédés Université de Saad Dahlab, Blida. P 196.
- Nemery J, 2018. Phosphore et eutrophisation. (Encyclopédie de l'environnement. P 1-7.
- Ossey B.Y, Mambo V, Sanogo T.A, Houenou P.V, 2008. Étude analytique des caractéristiques chimiques d'un lac eutrophe en milieu tropical : La conductivité comme indicateur de trophie du lac de Buyo (Côte d'Ivoire). *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*. Vol 25. P 87-108.
- Pinay G, Gascuel C, Menesguen A, Souchon Y, Le Moal M, Levain A, Moatar F, Pannard A, Souchu P, 2017. L'eutrophisation : Manifestations, causes, conséquences et prédictibilités. Synthèse de l'expertise scientifique collective Cnrs. Ifremer. Inra. Irstea.N°51903. P 148.
- Premières données sur l'inventaire du peuplement ichtyologique d'un lac ouest Africain situé entre deux barrages hydroélectriques : Lac d'Ayamé 2 (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*. Vol 110. P 10808-10818.

Références bibliographiques

- Quezel P, 1956. Contribution à l'étude des forêts de chênes caduques d'Algérie. Mem. Soc. Hist. Nat. De L'Afrique Du Nord, Nouvelle Série, N°1, Alger. P 57.
- Radu P, Ioana C .M, Mihai R, Madalina L.G.I, Gabriel P, Nicolai C, Mihai G, Cristina I. C, Gheorghe S, 2017. Duckweed utilization for fresh water conservation (Management). *In: Recirculated Aquaculture Systems. International Journal of Conservation Science.* Vol 8 (2). P 715-722.
- Rejsek F, 2002. Analyse des eaux : Aspects règlementaires et techniques. ISBN: 2866174208. Edition Sceran. Paris. P 360.
- Rodier J, 1978. L'analyse e L'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 6^{ème} Edition. Paris Dunod. P 1135.
- Samecka-Cymerman A, Kempers A. J, Klön K, 2000. Concentrations of heavy metals in aquatic bryophytes used for biomonitoring in rhyolite and trachybasalt areas: a case study with *Platyhypnidium Rusciforme* from the sudety mountains. *Annales botanici fennici.* Vol 37. P 95-104.
- Sanchis PY, 2020. Eutrophisation : Définition, causes, conséquences et solution.
- Sarni S, Shel S, 2011. Etude de l'impact biologique et évaluation de la croissance d'une Lemnacee : *Lemna Minor L.* au niveau de la station d'épuration de l'entreprise Electro-Industries D'Azazga. UMMTO. P 73.
- SAVARY P. (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. *Territorial Voiron.* P 261.
- Smith Vh, 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. *Environ Sci Pollut Res.* Vol 10. P 126-139.
- Smith Vh, Tilman Gd, Nekola Jc, 1999. Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs On freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environ Pollut.* Vol 100. P 179-96.
- Strother S, 1981. Toxic effects of exogenous sorbose on *Lemna Minor* and some other angiosperm. *Ann Bot.-London.* Vol 47. P 531-533.
- Tkalec M, Vidakovic Cifrek Z, Regula I, 1998. The effect of oil industry «high density brines» on duckweed *Lemna minor L.* *Chemosphere.* Vol 13. P 2703-2715.
- Tkalec M, Vidakovic Cifrek Z, Regula I, 1998. The effect of oil industry «High Density Brines» on Duckweed *Lemna Minor L.* *Chemosphere.* Vol 13. P 2703-2715.
- Toumi A, Reggam A, Alayat H, Houhamdi M, 2016. Caractérisation physico-Chimique des eaux de l'écosystème lacustre : cas du lac des oiseaux (Extrême Ne- Algérien). *J. Mater. Environ. Sci.* Vol 7 (1). P139-147. Physico-chemical characterization of waters of the lake ecosystem: Case of Lake of Birds (Far NE-Algerian). *J. Mater. Environ. Sci.* vol7. P 139-147.

Références bibliographiques

- Vialard N et *al.*, 2007. Lentille d'eau. <https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/556/lentille-d-eau>.
- Wang W, 1986. Toxicity tests of aquatic pollutants by using common Duckweed. *Environ. Pollut.B.* Vol 11. P 1-14.
- Wayne A, 2001: "Treatment of Lemnaceae" Lemna corporation 1408 Northland Drive Suite 310 St. Paul, Minnesota. 55120, USA.
- Welcomme R.L, 1 985. Fao Fisheries Technical Paper. *River Fisheries.* Vol 262.

Annexes

Annexe 01

Tableau 01 : normes réglementaires des paramètres physicochimiques évalués selon le décret exécutif N° 14-96 du journal officiel algérien correspondant au 9 mars 2014.

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	- Eaux conventionnelles : 1 - Eaux dessalées ou déminéralisées : 1,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanures	µg/l	70
	Mercure	µg/l	6
	Nickel	µg/l	70
	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
	Zinc	mg/l	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/l	0,2
	Fluoranthène, Benzo (3,4)fluoranthène, benzo (11,12)fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène, benzo (3,4) pyrène	µg/l	0,01
	Benzène	µg/l	10
	Toluène	µg/l	700
	Ethylbenzène	µg/l	300

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques (suite)	Xylènes	µg/l	500
	Styrène	µg/l	100
	Agents de surface régissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2
	Epychlorehydrine	µg/l	0,4
	Microcystine LR	µg/l	1
	Pesticides par substance individualisée	µg/l	
	- Insecticides organochlorés persistants		0,1
	- Insecticides organophosphorés et carbamates		0,1
	- Herbicides		0,1
	- Fongicides		0,1
	- P.C.B		0,1
	- P.C.T		0,1
	- Aldrine		0,03
	- Dieldrine		0,03
	- Heptachlore		0,03
	- Heptachlorépoxyde	0,03	
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
	Bromates	µg/l	10
	Chlorite	µg/l	0,07
	Trihalométhanes par substance individualisée :	µg/l	
- Chloroforme	200		
- Bromoforme	100		
- Dibromochlorométhane	100		
- Bromodichlorométhane	60		
Chlorure de vinyle	µg/l	0,3	
1,2-Dichloroéthane	µg/l	30	
1,2-Dichlorobenzène	µg/l	1000	
1,4-Dichlorobenzène	µg/l	300	
Trichloroéthylène	µg/l	20	
Tetrachloroéthylène	µg/l	40	
Radionucléides	Particules alpha	Picocuriel/L	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	30
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15
Paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0

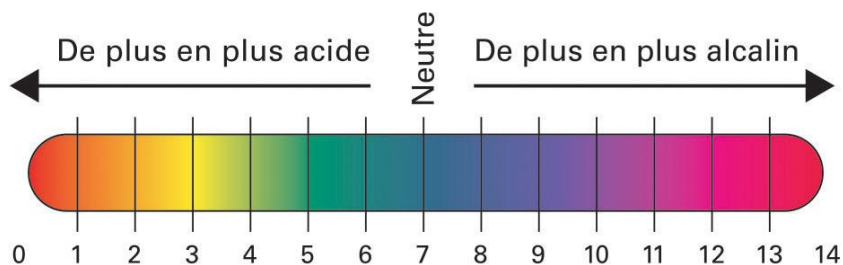
GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres Organoleptiques	couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur 25 C	Taux dilution	4
	Saveur 25 C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l CaCO ₃	65 pour les eaux dessalées ou déminéralisées (valeur minimale)
	Calcium	mg/l	200
	Chlorure	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité 20 °C	µS/cm	2800
	Dureté (TH)	mg/l en CaCO ₃	500
	Fer total	mg/l	0,3
	Manganèse	µg/l	50
	Phosphore	mg/l	5
	Potassium	mg/l	12
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

Tableau 02 : valeur limite de la DCO selon décret exécutif N° 06-141 du journal algérien officiel correspondant au 19 Avril 2006.

paramètre	unité	Valeur limite
DCO	Mg/l	120

Tableau 03 : Classification des eaux selon leur pH (C.I.E, 2005).

pH < 5	Acidité forte → présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée → majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense



Echelle du potentiel hydrogène (pH).

Tableau 04 : Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale) (Khammar, 2019).

TH	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+ 40
Eau	Très douce	douce	Moyennement douce	dure	Très dure

Annexe 02

Tableau 01 : résultats des paramètres physicochimiques d'eau du lac vert analysés au niveau du laboratoire de l'ENIEM.

Le paramètre analysé	Au centre du lac	A la rive du lac
pH	7,59	12,69
Température (C°)	29,9 C°	25 C°
Zinc (Zn)	1,5 mg/l	1,5 mg/l
Chrome (Cr)	0,03 mg/l	0,03 mg/l
Phosphate (P)	<0.5mg/l	< 0.5mg/l
Nickel (Ni)	0,1 mg/l	0,1 mg/l
Fer (Fe)	0,48 mg/l	0,36 mg/l
Teneur en Cl₂	0,1 mg/l	0,1 mg/l
DCO (Demande Chimique en Oxygéné)	97 mg/l	121 mg/l
Titre alcalimétrique complet (TAC)	90 F°	90 F°
Titre alcalimétrique (TA)	70 F°	70 F°
Dureté (TH)	> 5	> 5

Résumé

Le présent travail a pour but d'identifier la lentille verte au sein du lac vert à Yakouren (forêt de Beni Ghobri) tout en valorisant l'eau de ce dernier après son analyse. Pour répondre à cette problématique, plusieurs observations et analyses physicochimiques ont été réalisées telles que la DCO, la dureté, le pH etc.

La caractérisation et l'identification de la lentille de ce lac ont été basées sur des critères morphologiques ainsi que microscopiques tels que la forme, la couleur et la taille des feuilles etc., ce qui nous a permis d'identifier *Lemna minor L.* dans le lac étudié.

Cette lentille vit dans un habitat à caractéristiques physicochimiques favorables tel qu'un pH alcalin, des températures moyennes de 27,45 °C, une DCO minimale de 97 mg/l et une dureté supérieure à 5. En outre, la teneur en éléments traces métalliques (Cr, Zn) est conforme aux normes réglementaires algériennes, tandis que les valeurs obtenues du Fe, et du Ni sont non conformes à ces dernières. Par ailleurs, la quantité du Cl₂ est presque nulle (0.01 mg/l).

Mots clés : *Lemna minor L.*, lac vert, lentilles vertes, Yakouren.

Abstract

The present work aims at identifying the green lentil within the green lake in Yakouren (Beni Ghobri forest) while valorizing the water of the latter after its analysis. To answer this problem, several observations and physicochemical analyses were carried out such as the COD, the hardness, the pH etc.

The characterization and identification of the duckweed in this lake was based on morphological and microscopic criteria such as the shape, color and size of the leaves etc., which allowed us to identify *Lemna minor L.* in the lake studied.

This duckweed lives in a habitat with favorable physicochemical characteristics such as an alkaline pH, average temperatures of 27,45 °C, a minimum COD of 97 mg / l and a hardness above 5. While the content of metallic trace elements (Cr, Zn) is in accordance with the Algerian regulatory standards, while the values obtained of Fe, and Ni are not in accordance with them. Moreover, the quantity of Cl₂ is almost null (0,01 mg/l).

Key words: *Lemna minor L.*, green lake, green lentils, Yakouren.