

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة عمار ثليجي بالأغواط  
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم  
FACULTE DES SCIENCES  
قسم البيولوجيا  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



## Mémoire

*En vue de l'obtention du diplôme de Master*

*Filière : Sciences Biologiques*

*Option : Microbiologie appliquée*

### THEME

---

## Adaptation des cyanobactéries à différentes conditions environnementales

---

**Présenté par :**

*Annag Ratiba et Chennoufi Chahra*

**Devant le jury :**

**Président(e) :** Djebli Ahmed, Maitre de conférences B.

**Rapporteur :** Benaceur Farouk et Bouazzara Houria.

**Examineur (rice) s :** Benamar Ibrahim, Maitre-assistant B.

**Soutenu publiquement le :** 23 / 06 /2022.

## *Remerciements*

*Avant toute chose, Nous remercions Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la force, le courage, la patience et les moyens à fin de pouvoir accomplir ce modeste travail et puis nous remercions nos parents pour leur soutien moral et pour leurs prières.*

*Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de biologie, Facultés des sciences, Université Ammar de Telidji de Laghouat.*

*Nous tenons à remercier particulièrement tous les employeurs du laboratoire de biologie et le laboratoire de recherche (Laboratoire de ressource en eau, sol et environnement) pour les facilitations qu'ils nous ont portés pour la réalisation de ce travail.*

*Nous remercions vivement notre encadreur Dr. Benaceur Farouk d'avoir accepté d'encadrer ce travail avec beaucoup de compétence.*

*Un grand merci à notre Co-encadreur Dr. Bouazzara Houria pour son soutien et son encouragement prodigué et de nous avoir guidé.*

*Nos remerciements vont également vers les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail.*

*Nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Chennoufi C et Annag R.*

## Résumé :

Cette recherche vise à étudier l'effet de pH (6, 8, 10) et de la salinité à différentes concentrations (0.1, 0.3, 0.6, 0.9%) sur la croissance de deux espèces de cyanobactéries (*Arthrospira plantensis* et *Gloeocapsa* sp), qui ont été isolées de barrage de Tadjmout, Laghouat, Algérie. Ces deux espèces ont été maintenue en culture en Batch supporté par le milieu synthétique de BG11. Les résultats obtenus montrent que *Arthrospira plantensis* et *Gloeocapsa* sp préfèrent un pH alcalin, mais ils sont aussi peuvent se développer en pH légèrement acide. En cas de la salinité, ces deux espèces ont pu adapter à toutes les différentes concentrations de salinité, mais la croissance optimale était en salinité élevée (0.9%). Pour *Arthrospira plantensis*, contrairement à *Gloeocapsa* sp qu'était en faible salinité (0.1%). Donc *Arthrospira plantensis* et *Gloeocapsa* sp peuvent considérées comme des halotolérantes alcalophiles et peuvent être des légèrement acidophiles.

**Mots clés :** Cyanobactéries, Adaptation, pH, Salinités, *Arthrospira plantensis*, *Gloeocapsa* sp.

## Abstract :

This research aims to study the effect of pH (6, 8, 10) and salinity at different concentrations (0.1, 0.3, 0.6, 0.9%) on the growth of two species of cyanobacteria (*Arthrospira platensis* and *Gloeocapsa* sp), which were isolated from the Tadjmout dam, Laghouat, Algeria. These two species were maintained in Batch culture supported by the synthetic medium of BG11. The results obtained show that *Arthrospira platensis* and *Gloeocapsa* sp prefer an alkaline pH, but they can also grow in a slightly acidic pH. In case of salinity, these two species were able to adapt all the different concentrations of salinity, but the optimal growth was in high salinity (0.9%). For *Arthrospira platensis*, adversely to *Gloeocapsa* sp which was in low salinity (0.1%). So *Arthrospira platensis* and *Gloeocapsa* sp are considered as halotolerant alkalophiles and can be slightly acidophiles.

**Mots clés :** Cyanobacteria, Adaptation, pH, Salinity, *Arthrospira plantensis*, *Gloeocapsa* sp.

## المخلص:

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثير الـ pH (6, 8, 10) ومستويات مختلفة من الملوحة (0.1, 0.3, 0.6, 0.9%) على نمو نوعين من البكتيريا الزرقاء (*Arthrospira platensis* و *Gloeocapsa* sp)، والذي تم عزلهما من سد تاجموت، بولاية الاغواط، الجزائر. تم الحفاظ على هذين النوعين في زراعة Batch المدعومة بالوسط الصناعي BG11. وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن *Arthrospira platensis* و *Gloeocapsa* sp يفضلان درجة حموضة قلوية، لكنهما يمكن أن ينمو أيضاً في الـ pH حمضي بعض الشيء. في حالة الملوحة، كان هذان النوعان قادرين على التكيف مع جميع تركيزات الملوحة المختلفة، ولكن النمو الأمثل كان في الملوحة العالية (0.9%) بالنسبة لـ *Arthrospira platensis*، على عكس *Gloeocapsa* sp الذي كان منخفض الملوحة (0.1%). إذا فإن *Arthrospira platensis* و *Gloeocapsa* sp من محبي الوسط القلوي ويمكن أن يكونا من محبي الحموضة بعض الشيء.

**الكلمات المفتاحية:** السيانوبكتيريا، التكيف، الـ pH، الملوحة، *Arthrospira plantensis*, *Gloeocapsa* sp.

## Tables de matière

Remerciements	
Résumé	
Sommaire	
Liste des figure	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction .....	1

## Partie bibliographique

### Chapitre 01 : Généralités sur les cyanobactéries et leurs toxines

1.1. Généralités .....	3
1.2. Classification.....	3
1.3. Caractéristiques morphologiques .....	4
1.4. Habitat et Écologie .....	5
1.5. Métabolites secondaire et pigments .....	6
1.6. Croissance et prolifération .....	6
1.7. Cyanotoxines .....	8
1.8. Facteurs influençant la production des toxines .....	8
1.8.1. Lumière .....	8
1.8.2. Les nutriments et le fer .....	9
1.8.3. pH .....	9
1.8.4. Température .....	9
1.8.5. Effet du zooplancton .....	9
1.9. Caractéristiques d' <i>Arthrospira platensis</i> et <i>Gloeocapsa</i> sp .....	9
1.9.1. <i>Arthrospira platensis</i> .....	10
1.9.2. <i>Gloeocapsa</i> sp .....	10

## **Chapitre 02 : Cyanobactéries, adaptation et utilisation dans divers domaines**

2.1. Adaptation des cyanobactéries aux différents facteurs environnementaux .....	11
2.1.1. Température .....	11
2.1.2. Lumière .....	11
2.1.3. pH .....	11
2.1.4. Salinité .....	12
2.2. Utilisations des cyanobactéries dans divers domaines .....	12
2.2.1. Complément alimentaire .....	12
2.2.2. Médicament .....	12
2.2.3. Agro-culture .....	12
2.2.4. Industriel .....	13
2.2.5. Les utilisations d' <i>Arthrospira platensis</i> et <i>Gloeocapsa</i> sp.....	13
2.2.5.1. Domaines d'utilisations d' <i>Arthrospira platensis</i> .....	13
2.3. Le rôle écologie de cyanobactéries .....	14

## **Partie expérimentale**

### **3. Matériel et méthodes**

3.1. Présentation de la région d'étude.....	16
3.1.1. Situation géographique .....	16
3.1.2. Présentation de site d'échantillonnage .....	16
3.1.3. Présentation de barrage infero- flux Tadjmout (pont Oued M'zi) .....	17
3.2. Méthodes et techniques utilisées .....	18
3.2.1. Echantillonnage .....	18
3.2.2. Isolement des cyanobactéries .....	18
3.2.3. Préparation des milieux de culture .....	18
3.2.3.1. Protocole .....	19
3.2.3.2. Détermination de la concentration optimale en sel pour la croissance .....	19
3.2.3.3. Détermination du pH optimal pour la croissance.....	20

3.2.4. Lectures de la densité optique .....	21
---	----

#### **4. Résultats**

4. 1. Aspect macroscopique et microscopique des cultures de cyanobactéries isolées .....	22
4. 1.1. Aspect macroscopique .....	22
4. 1.2. Aspect microscopique .....	22
4.1.2.1. Aspect microscopique de <i>Gloeocapsa</i> sp .....	22
4.1.2.2. Aspect microscopique d' <i>Arthrospira platensis</i> .....	23
4.2. Croissance des cultures de cyanobactéries isolées sur les différentes conditions de culture .....	24
4.2.1. Effet de pH sur la croissance de <i>Gloeocapsa</i> sp .....	24
4.2.2. Effet de pH sur la croissance d' <i>Arthrospira platensis</i> .....	24
4.2.3. Effet de la salinité sur la croissance de <i>Gloeocapsa</i> sp .....	25
4.2.4. Effet de la salinité sur la croissance d' <i>Arthrospira platensis</i> .....	26
<b>Discussions</b> .....	27
<b>Conclusion et perspectives</b> .....	30
<b>Références bibliographiques</b> .....	31
<b>Annexes</b> .....	35

## Liste des figures :

<b>Figure 01 :</b> Diversité morphologique des cyanobactéries. A: <i>Chroococcus</i> sp, B: <i>Oscillatoria</i> sp, C: <i>Spirulina</i> sp, D: <i>volvox</i> sp, E: <i>Anabaena</i> sp .....	05
<b>Figure 02 :</b> Différentes forme de <i>spiruline</i> (Charpy et al., 2008). .....	10
<b>Figure 03 :</b> Morphologie de <i>Gloeocapsa</i> sp .....	11
<b>Figure 04 :</b> Carte géographique de la wilaya de Laghouat (CDF, 2021). .....	16
<b>Figure 05 :</b> Photos satellites de situation géographique de la commune Tadjmout – wilaya Laghouat (Google maps, 2020). .....	17
<b>Figure 06 :</b> Barrage infero-flux Tadjmout, Laghouat 2022.....	17
<b>Figure 07 :</b> Les cultures de <i>Gloeocapsa</i> sp et <i>Arthrospira platensis</i> incubées à température ambiante à l'intérieur et à côté d'une fenêtre, a) Après 18 jours de l'incubation des cultures. b) Avant d'incubation des cultures.....	19
<b>Figure 08 :</b> Les différentes concentrations ont été préparées de la salinité pour <i>Gloeocapsa</i> sp et <i>Arthrospira platensis</i> . .....	20
<b>Figure 09 :</b> Les différents niveaux ont été préparés du pH pour <i>Gloeocapsa</i> sp et <i>Arthrospira platensis</i> .....	20
<b>Figure 10 :</b> Photo du Spectrophotomètre (2022).....	21
<b>Figure 11 :</b> Aspect macroscopique des cultures de <i>Gloeocapsa</i> sp et d' <i>Arthrospira platensis</i> après 16 jours d'incubation. ....	22
<b>Figure 12 :</b> <i>Gloeocapsa</i> sp sous microscope optique à l'objectif 40 (GX400). .....	23
<b>Figure 13 :</b> <i>Arthrospira</i> sp sous microscope optique à l'objectif 40 (GX400) .....	23
<b>Figure 14 :</b> Effet de pH 6 et pH8 et pH10 sur la densité cellulaires de <i>Gloeocapsa</i> sp. ....	24
<b>Figure 15 :</b> Effet de pH 6 et pH8 et pH10 sur la densité cellulaires d' <i>Arthrospira platensis</i> . 25	
<b>Figure 16 :</b> Effet des différentes concentrations de la salinité (0.1, 0.3, 0.6 et 0.9%) sur la densité cellulaires de <i>Gloeocapsa</i> sp. ....	26
<b>Figure 17 :</b> Effet des différentes concentrations de la salinité (0.1, 0.3, 0.6 et 0.9%) sur la densité cellulaires d' <i>Arthrospira platensis</i> .....	27

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01 :</b> Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries, I.C.B.N. et I.C.N.B. ....	03
<b>Tableau 02 :</b> Caractéristiques morphologiques communes aux bactéries et aux algues du phytoplancton .....	04
<b>Tableau 03 :</b> Effets indésirables des proliférations de cyanobactéries dans les milieux aquatiques (Affsa /Afsset 2006) .....	07
<b>Tableau 04 :</b> Effet toxique des cyanotoxines. ....	08
<b>Tableau 05 :</b> Classification de la <i>spiruline</i> ( <i>Arthrospira platensis</i> ) (Fox, 1999).....	10
<b>Tableau 06 :</b> Classification de <i>Gloeocapsa</i> sp (Bouazzara et al., 2020).....	11

## Liste des abréviations

<b>C°</b>	Degrés Celsius.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone.
<b>E.D</b>	Eau distillée.
<b>L / l</b>	Litre.
<b>m</b>	Mètre.
<b>Km<sup>2</sup></b>	Kilo mètre carré.
<b>µm</b>	Micro mètre.
<b>ml</b>	Millilitre.
<b>min</b>	Minute.
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxygène.
<b>%</b>	Pourcentage.
<b>pH</b>	Potentiel hydrique.
<b>T°</b>	Température.
<b>Chl a</b>	Chlorophylle a.
<b>Cd</b>	Cadmium.
<b>Pb</b>	Plomb.
<b>nm</b>	Nano mètre.
<b>(m/v)</b>	Masse volumineuse

# **Introduction**

## Introduction

---

Le terme "Cyanobactéries", le plus utilisé désigne les microorganismes procaryotes à pigmentation généralement de couleur bleu-vert (Couté, 1985), elles appartiennent au règne des eubactéries (Woese, 1987), et la classe Cyanophyceae, qui regroupe environ 120 genres et 1500 espèces (Bourrelly, 1985). Ils sont considérées comme ancestrales (depuis 3,5 milliards d'années) (Schopf, 1992), des photo-autotrophes, aérobies à Gram négatif, de taille variable de moins de 2 à 40 µm de diamètre, ils se présentent soit sous forme unicellulaire, les cellules sont alors solitaires ou réunies en colonies, soit sous forme pluricellulaire (Kaebernick et Neilan, 2001).

Aujourd'hui les cyanobactéries jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement de notre écosystème aquatique et terrestre, mais plusieurs de ces espèces emmagasinent dans leurs cellules des poisons naturels appelés cyanotoxines, ces toxines sont libérées dans l'eau lors de lyse ou de la mort de la cellule qui peuvent présenter des problèmes pour la santé humaine et animale.

*Athropsira platensis* est une cyanobactérie multicellulaire photosynthétique et filamenteuse, (environ 0.3 à 1 mm de diamètre) (Léonard, 1968). Elle forme d'énormes populations dans les eaux tropicales et subtropicales qui fournée de grande quantité de sels comme le carbonate et le bicarbonate avec un pH alcalin de 9.5 favorable à sa croissance (Soni et al., 2017).

*Gloeocapsa* sp appartient au règne Eubactéria, classes Cyanophyceae, ordre Chroococcales, famille Microcystaceae qui présente quelques caractéristiques qui sont : sphérique entre 1 et 17 µm de diamètre, agrégées en une macroscopique mucilagineux, masse amorphe qui colonise les substrats humides et pierreux et, moins souvent, l'écorce des arbres ou les milieux aquatiques (métaphyton ou plancton) (Bouazzara et al., 2020). Gacheva et al. (2013) et Soni et al (2017) et Nasri (2007), ont montré la capacité du genre *Gloeocapsa* sp et *Arhrspira platensis* à se développer dans une large gamme de température (15°C-40°C), et un pH de 6 à 9. En cas de salinité, les cyanobactéries tolèrent des concentrations élevées de salinité et ont été trouvées dans les sols arides et salins (Lund, 1962).

Ces deux espèces sont connues par leurs utilisations dans différents domaines (pharmaceutique, industrie, cosmétique, alimentaire, production de biodiésel).

L'objectif de ce travail et d'étudier l'adaptation des deux espèces de cyanobactéries *Gloeocapsa* sp et *Arthrospira platensis* aux conditions de croissance prélever au barrage de Tadjmout (Laghouat) par conséquent nos objectifs sont :

- 1) Isolement la souche de *Gloeocapsa* sp et *Arthrospira platensis*.
- 2) Préparer un milieu de culture approprié pour les cyanobactéries (milieu BG11).

## Introduction

---

- 3) Tester l'adaptation de ces souches de cyanobactérie isolées, en 3 pH (6, 8 et 10) et 4 salinités (0.1 ; 0.3 ; 0,6 et 0,9%).

Ce manuscrit de mémoire s'organise en 3 parties :

**La première partie** est une synthèse bibliographique qui se divise en deux chapitres, le premier est consacré des données disponibles sur les cyanobactéries, leurs proliférations dans les écosystèmes aquatiques continentaux et les toxines produites par ces microorganismes. L'accent est mis sur le genre *Gloeocapsa* et *Arthrospira platensis* en raison de leurs propriétés bénéfiques pour l'homme dans divers domaines. Le deuxième chapitre est consacré à l'adaptation des cyanobactéries aux différentes conditions environnementales et leurs utilisations dans divers domaines. **La deuxième partie** est consacré aux différents matériels et méthodes utilisées dans ce travail y compris : la présentation de sites d'étude et de site d'échantillonnage et de barrage infero- flux Tadjmout (pont Oued M'zi), la récolte et l'isolement des cyanobactéries, préparation des milieux de culture (BG11), préparation les différentes concentrations de salinité (0.1, 0.3, 0.6, et 0.9%) et différents niveaux de pH (6, 8, et 10). **La troisième partie** est consacrée aux principaux résultats et discussion menées dans notre étude. Et enfin une conclusion et perspective.

# **Synthèse bibliographique**

**Chapitre 01 :**  
**Cyanobactéries,**  
**généralités et leurs**  
**toxines**

# Chapitre 01 : Cyanobactéries, généralités et leurs toxines

## 1.1. Généralités

Anciennement appelées algues bleues, cyanophycées ou cyanophytes, les cyanobactéries sont des procaryotes photosynthétiques, elles peuvent être de couleur variée suivant la prédominance du vert de la chlorophylle, du bleu de la phycocyanine et du rouge de la phycoérythrine, elles ont toutes les teintes possibles : vert, bleu, rouge et violet, mais la couleur bleu vert (bleu canard) est la plus fréquente (Bourrelly, 1985). Ces microorganismes peuplent une grande variété du milieu aquatique (les eaux saumâtres, les eaux douces courantes (rivières, lacs et oueds), les eaux stagnantes (flaques, trous d'eau, petites mares, étangs, marais, l'eau contenue dans un réservoir ou un puits, les eaux usées)) (Thebault *et al.*, 1995). Elles regroupent environ 120 genres et plus de 1500 espèces, mais seulement 22 genres comprenant 40 espèces sont à l'origine d'efflorescences toxiques (Thebault et Lesne, 1995).

## 1.2. Classification

La classification des cyanobactéries dépend à la fois du code international de nomenclature botanique (I.C.B.N., Greuter *et al.*, 2000) et du code international de nomenclature des bactéries (I.C.N.B., Lapage *et al.*, 1992). L'approche botanique s'appuie essentiellement sur le mode de reproduction et la morphologie. L'approche bactériologique est basée sur les caractères physiologiques et génotypiques de cultures pures. Dans la nomenclature botanique, les cyanobactéries appartiennent toutes à la classe des cyanophycées qui est divisée en deux sous classes, la première est coccogonophycidées, trois ordres existent dans cette sous classe sont : (Chroococcales, Pleurocapsales et Oscillatoriales), et la deuxième est hormogonophycidées qui divisée en deux ordres sont : (Nostocales et Stigonématales). Dans la nomenclature bactériologique, les cyanobactéries se répartissent dans 5 sections. Ces sections correspondent globalement aux ordres botaniques : Section I : Chroococcales + Chamaesiphonales ; Section II : Pleurocapsales ; Section III : Oscillatoriales ; Section IV : Nostocales et Section V : Stigonématales (Rippka, 1988).

**Tableau 01 :** Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries, I.C.B.N. et I.C.N.B.

Classification bactériologique (I.C.N.B.)	Classification botanique (I.C.B.N)	Description	Exemples d'espèces
Section I	Chroococcales	Formes unicellulaires ou coloniales, à multiplication par fission binaire et/ou formation d'exospores.	<i>Gloeocapsa atrata</i> Kütz
Section II	Pleurocapsales	Formes coloniales à multiplication par fissions multiples donnant des baeocytes.	<i>Pleurocapsa minor</i> Hansgirg

## Chapitre 01 : Cyanobactéries, généralités et leurs toxines

<b>Section III</b>	Oscillatoriales	Formes filamenteuses unisériées, non hétérocystes, sans ramification, à division cellulaire perpendiculaire à l'axe du trichome.	<i>Arthrospira platensis</i>
<b>Section IV</b>	Nostocales	Formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), à division cellulaire dans un seul plan.	<i>Anabaena Fuscovaginata</i>
<b>Section V</b>	Stigonematales	Formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), présentant des ramifications (vraies ou fausses), à division cellulaire dans plusieurs plans.	<i>Hapalosiphon Fontinalis</i>

### 1.3. Caractéristiques morphologiques

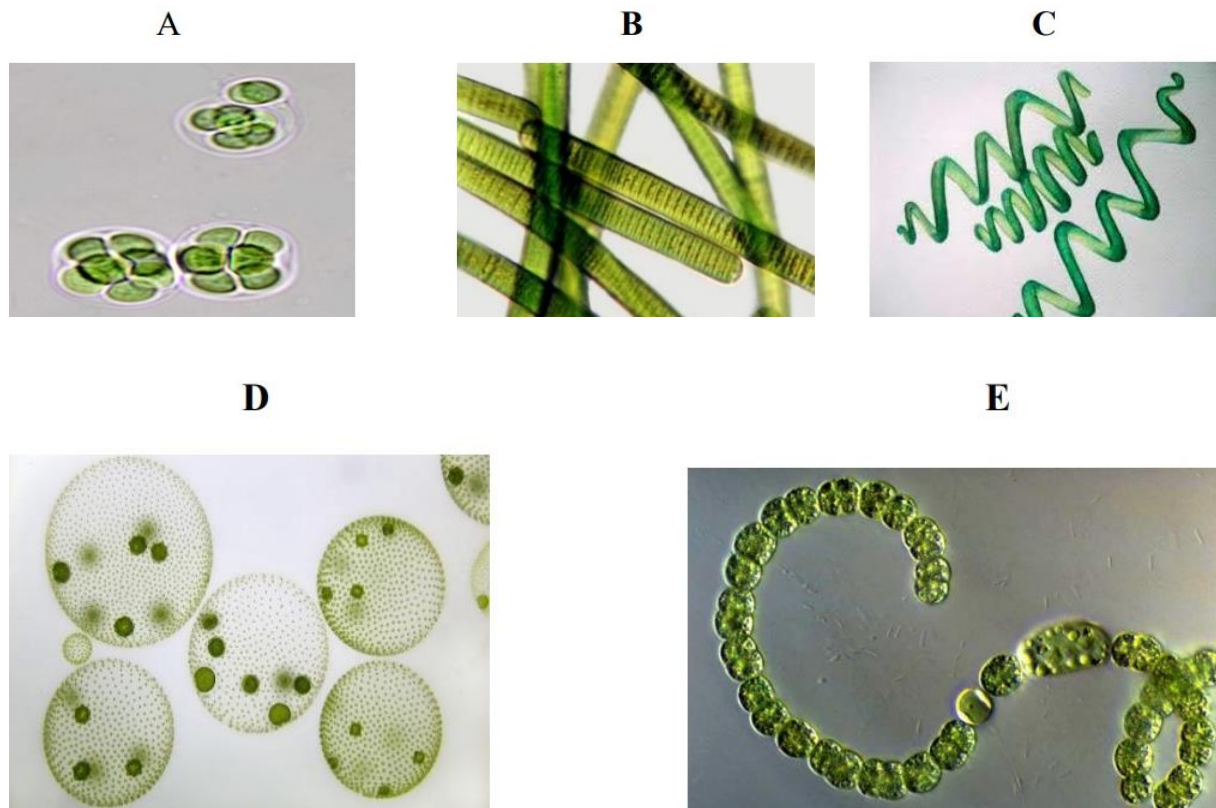
L'organisation morphologique de ces organismes est très variée : unicellulaires libres ou en colonie, pluricellulaires filamenteux avec une gaine (appelés filaments) ou sans (appelés trichomes), avec ou sans ramification ou encore avec ou sans cellules différenciées. Ces organismes présentent trois types cellulaires différents (Komàrek et *al.*, 2003) :

- Les cellules végétatives de forme variées rondes, ovoïde, oblongues, quadratiques et avec un contenu cellulaire homogène ou non, avec ou sans vacuoles à gaz ;
- Les hétérocystes, cellules spécialisées dans la fixation de l'azote atmosphérique, rencontrés uniquement chez les représentants des ordres des Nostocales et des Stigonematales ;
- Les akinètes, cellules de résistance à la paroi épaisse et qui contiennent des réserves permettant aux espèces qui les possèdent (ordres des Nostocales et des Stigonematales) de survivre en conditions environnementales défavorables.

Les cyanobactéries présentent des propriétés morphologiques communes à la fois aux algues et /ou aux bactéries, qui sont représentés dans le tableau 02.

**Tableau 02** : Caractéristiques morphologiques communes aux bactéries et aux algues du phytoplancton.

Caractéristiques morphologiques des cyanobactéries	
Communes aux bactéries	Communes aux algues du phytoplancton
-Organisme microscopique. -La présence d'une paroi cellulaire caractéristique des bactéries Gram-, présence de peptidoglycanes. -L'absence de noyau, de plaste, de mitochondrie, d'appareil de Golgi et de réticulum endoplasmique (Stanier, 1988).	-Organisme microscopique. -Présence de chlorophylle a et de phycobiliprotéines (pigments accessoires) et capacité à faire la photosynthèse. -Organisme vivant dans la colonne d'eau.



**Figure 01** : Diversité morphologique des cyanobactéries. **A:** *Chroococcus* sp, **B:** *Oscillatoria* sp, **C:** *Spirulina* sp, **D:** *volvox* sp, **E:** *Anabaena* sp. (site web20).

### 1.4. Habitat et Écologie

Les cyanobactéries sont des organismes ubiquistes qui présentent des caractéristiques écologiques très variées qui leur ont permis de coloniser tous les milieux (Whitton, 2012): les lacs, rivières, estuaires et océans mais aussi les environnements extrêmes tels que les sources géothermales, les déserts, les environnements polaires et alpins, et elles colonisent aussi les surfaces de sols humides, la partie interne des sols arides, la partie superficielle des roches (organisme épilithiques), ou leur partie profonde (organisme endolithique) (Rolland, 2009).

Les cyanobactéries supportant de large variation de : salinité (lac hypersalés), température (sources thermales ; la température dépassant 56 °C, glacié) de pH ; à l'exception des pH<4 car la chlorophylle est sensible à l'acidité de l'eau. Elles préfèrent aussi les concentrations élevées en nutriments, principalement l'azote et le phosphore c'est à dire des milieux eutrophes quoi que certaines prolifèrent en milieu mésotrophe voire oligotrophe l'exemple de lacs d'Alpes (Mez et *al.*, 1997). Lorsqu'elles sont strictement aquatiques, elles peuvent être planctoniques vivants alors dans la colonne d'eau, ou benthique, étant dans ce cas fixées ou très proches des divers substrats (roche, coraux, algues, animaux...) ou se développent même

## **Chapitre 01 : Cyanobactéries, généralités et leurs toxines**

---

à l'intérieur des sédiments (Frémy et Lassus, 2001). Par ailleurs, beaucoup vivent aussi en association avec d'autres êtres vivants étant alors endozoïques (avec des animaux comme des protozoaires, des éponges, des ascidies...), endophytique (avec des végétaux comme des fougères aquatiques, des angiospermes...) ou encore symbiotiques (avec des champignons, constituant les phycobiontes des lichens) (Frémy et Lassus, 2001).

### **1.5. Métabolites secondaire et pigments**

La réalisation de la photosynthèse met en jeu un ensemble de pigments photosynthétiques. Le terme de « pigment » correspond au fait que ces molécules sont colorées, de par leur capacité à capter certaines radiations lumineuses. Les cyanobactéries synthétisent plusieurs types de pigments photosynthétiques sont localisés au niveau des thylacoïdes, libres dans le cytoplasme, contenant la chlorophylle a et les caroténoïdes. Les phycobilisomes, structures macromoléculaires hémisphériques contenant les pigments accessoires se localisent à la surface des thylacoïdes. C'est la proportion de chacun des pigments verts (chlorophylle a), bleu (phycocyanine et allophycocyanine), rouge (phycoérythrine) ou brun (caroténoïdes) qui confère sa coloration à l'espèce. Cette composition en pigments, spécifique des cyanobactéries, leur permet d'exploiter le rayonnement solaire disponible sur une plus grande étendue de longueurs d'ondes, comparé aux autres algues, ainsi la photosynthèse est plus efficace même à faible intensité lumineuse. (Lavoie et *al.*, 2007).

### **1.6. Croissance et prolifération**

La multiplication des cyanobactéries est végétative, c'est-à-dire asexuée. Celle-ci s'effectue par bourgeonnement ou par divisions multiples. Dans des conditions environnementales favorables, les cyanobactéries peuvent connaître des phases de prolifération importante appelées efflorescence ou bloom. Le plus souvent il se forme alors en surface des agrégats flottants appelés « fleurs d'eau », écume ou mousse. Ces blooms sont souvent corrélés à un processus d'eutrophisation, c'est-à-dire à l'enrichissement du milieu en nutriments.

C'est pourquoi un des facteurs principaux favorisant ces proliférations est la présence de phosphore sous forme ortho phosphate, d'azote et de fer en concentration élevée. En effet les cyanobactéries présentent plus d'affinités pour le phosphore que les autres algues. De plus elles sont capables de le stocker. Concernant l'azote, les cyanobactéries peuvent fixer l'azote atmosphérique dans leurs hétérocystes ce qui les rend très compétitives par rapport aux autres algues lorsque l'azote est limitant (Blais, 2002).

Les facteurs influençant les proliférations sont :

- La stabilité des colonnes d'eau

## Chapitre 01 : Cyanobactéries, généralités et leurs toxines

- Les conditions météorologiques : température (air, eau à 15-30 °C) et luminosité (intensité lumineuse modérée).
- Les conséquences de l'eutrophisation. En effet lors de ce processus, certaines cyanobactéries sont capables d'utiliser le sulfure d'hydrogène qui se forme et qui est toxique pour la plupart des organismes. Elles peuvent également survivre dans des conditions de faible oxygénation et de faible disponibilité en lumière, conditions défavorables aux autres algues. Il survient alors un déséquilibre dans la composition du phytoplancton qui laisse place aux cyanobactéries (Lavoie *et al.*, 2007).

Les Effets indésirables des proliférations de cyanobactéries : Les proliférations de cyanobactéries elles-mêmes et les toxines produites au cours de ces proliférations ont des effets négatifs à différents niveaux (Tab. 03).

**Tableau 03:** Effets indésirables des proliférations de cyanobactéries dans les milieux aquatiques (Affsa/Afsset, 2006).

Impact	Conséquences
Sur l'environnement	-Modification de l'aspect de la ressource (coloration inhabituelle, des irisations en surface, écumes). -Nuisance olfactive lors de la décomposition des fortes biomasses.
Sur les organismes du milieu	-Diminution de la biodiversité. -Perturbation des réseaux trophiques (impasse trophique, forte compétition avec les autres espèces phytoplanctoniques). -Mortalité de poissons (intoxication ou diminution de la teneur en oxygène). -Mortalité d'oiseaux par intoxication directe ou via leur alimentation (mollusques, poissons). -Intoxications d'animaux domestiques ou sauvages par abreuvement (Briand <i>et al.</i> , 2003).
Sur les usages de l'eau	-Coloration, odeur, texture décourageant la baignade. -Irritations de la peau et des muqueuses suite à des baignades. -Perturbations du fonctionnement des procédés de traitement des eaux d'alimentation. -Dégradation de la qualité organoleptique des eaux d'alimentation mal traitées. -Risques sanitaires (ingestion, inhalation ou exposition par dialyse si les toxines sont mal éliminées). -Perturbation des appareillages de dialyse par colmatage accéléré, si le traitement en amont est insuffisant.

### 1.7. Cyanotoxines

Les cyanotoxines sont des molécules intracellulaires, de structures variées. Elles sont synthétisées par des cyanobactéries en phase de croissance et se retrouvent dans l'eau lors de la mort ou de la lyse cellulaire. Une même toxine peut être produite par des espèces différentes. Ainsi, les microcystines ont déjà été observées chez des espèces du genre *Microcystis*, mais également chez des espèces des genres *Anabaena*, *Planktothrix* ou encore

## Chapitre 01 : Cyanobactéries, généralités et leurs toxines

*Nostoc*. Une même espèce peut produire différentes toxines. C'est ainsi qu'*Anabaena spiroïdes* peut produire de l'anatoxine-a mais également des microcystines et des saxitoxines. De plus, la quantité de toxine produite est très variable au sein d'une espèce et dépend des conditions environnementales. (Affsa/Afsset, 2006).

Les cyanotoxines recouvrent une grande variété de structures chimiques et de mécanismes de toxicité et sont généralement classées selon leur mode d'action : les hépatotoxines (organe cible principal : le foie, les neurotoxines (organe cible : le système nerveux) et les dermatotoxines (organe cible : la peau) (Tab. 04). Elles peuvent également être classées selon leur structure moléculaire en trois familles : les peptides cycliques, les alcaloïdes et les lipopolysaccharides.

**Tableau 04** : Effet toxique des cyanotoxines.

Cyanotoxine	Effet toxique
<b>Dermatotoxines</b> (exp : aplysiatoxine).	Peuvent causer des irritations et créer des problèmes d'allergies. En contact avec la peau, ces toxines peuvent provoquer des sensations de brûlures ainsi que des démangeaisons rougeâtres et boursoufflées.
<b>Hépatotoxines</b> (exp : microcystines).	Favoriseraient l'apparition de troubles chroniques du foie et du tube digestif.
<b>Neurotoxines</b> (exp : les anatoxine-a).	Affectent le fonctionnement du système nerveux. En stimulant constamment les muscles, elles peuvent provoquer des crampes, une grande fatigue et même une paralysie.

### 1.8. Facteurs influençant la production des toxines

**1.8.1. Lumière** : Les cyanobactéries sont capables de croître à de faibles intensités lumineuses. En plus, les cyanobactéries possèdent des pigments tels que l'allophycocyanine qui absorbe à des longueurs d'ondes de 650 nm, la phycocyanine à 620 nm et la phycoérythrine à 565 nm. Ces pigments leur permettent de capter la lumière dans la région du rouge-orangé du spectre. (Chorus et Bartram, 1999 ; Valentine, 2004).

**1.8.2. Les nutriments et le fer** : Le fer est parmi les micronutriments importants pour le développement des cyanobactéries en raison du rôle qu'il joue dans la photosynthèse. Plusieurs expériences ont démontré qu'un enrichissement en fer favorise la croissance des cyanobactéries relativement aux algues eucaryotes (Hyenstrand et al., 1998). La disponibilité de nutriments tels que les macroéléments, à savoir le phosphore et dans une moindre mesure, l'azote, est essentiel pour la croissance des cyanobactéries. Ces microorganismes peuvent ainsi se développer dans des eaux eutrophes carencées en azote, lorsque le rapport des

## Chapitre 01 : Cyanobactéries, généralités et leurs toxines

concentrations d'azote et de phosphore devenait inférieur à une valeur seuil de 4,5 (Codd et Poon, 1988).

**1.8.3. pH :** Le pH de l'eau joue également un rôle important dans la production de toxines par les cyanobactéries. Bien que l'on ait souvent observé une dominance de cyanobactéries lorsque le pH est élevé (Shapiro, 1997).

**1.8.4. Température :** La température optimale de production de toxines s'étend de 15 à 25 °C, selon les espèces. Par exemple aux températures inférieures à 25 °C, *Anabaena* sp produit de la microcystine LR plutôt que de la microcystine RR, qui est préférentiellement produite à des températures supérieures (Lavoie et al., 2007 ; Msagati et al., 2006).

**1.8.5. Effet du zooplancton :** Il a été observé une augmentation de la production de microcystine par *Microcystis* lors d'une exposition directe au zooplancton (Lavoie et al., 2007).

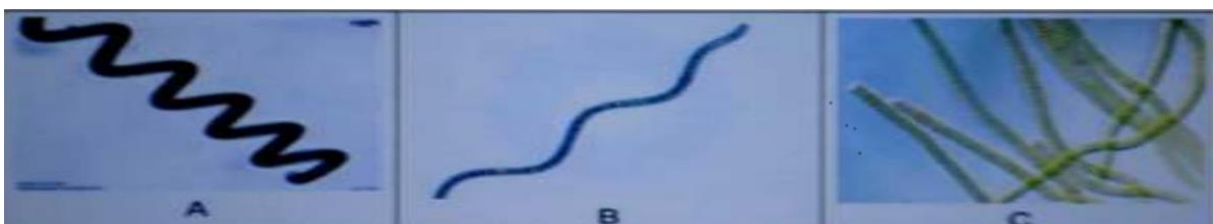
### 1.9. Caractéristiques d'*Arthrospira platensis* et *Gloeocapsa* sp

Nous avons choisis les deux espèces d'*Arthrospira platensis* et *Gloeocapsa* sp car elles ont nombreux avantages pour l'homme et une grande capacité à les utiliser dans plusieurs domaines, pour *Arthrospira platensis* (utilisé dans production pharmaceutique, industrie, cosmétique et alimentaire) et *Gloeocapsa* sp (utilisé dans la biorestauration des eaux usées et l'élimination des métaux lourds (Cd et Pb à 96%), production biodiésel)., Autres caractéristiques qui nous ont fait choisir ces deux espèces sont : ses taux de multiplication qu'est rapide, ses manipulations et isolement qui sont relativement facile.

#### 1.9.1. *Arthrospira platensis*

*Athrospira platensis* (Léonard, 1968) est une algue bleu vert microscopique, planctonique, vivant en eau douce, d'aspect spiralée de 0.3 à 1 mm de long, se présente sous formes de filaments constitués des cellules juxtaposées.

La reproduction d'*Athrospira platensis* (Léonard, 1968), asexuées, se fait par division des filaments (Boutalbi, 2014). Cette forme hélicoïdale lui donne l'allure d'un minuscule ressort ce qui lui a valu son appellation de « spiruline », on trouve cependant des spirulines ondulées et des spirulines parfois droites (Geitler, 2005) (Fig. 02).



**Figure 02 :** Différentes forme de spiruline ( Charpy et al.,2008).

A : forme ondulée, B : forme spiralée, C : forme droite

## Chapitre 01 : Cyanobactéries, généralités et leurs toxines

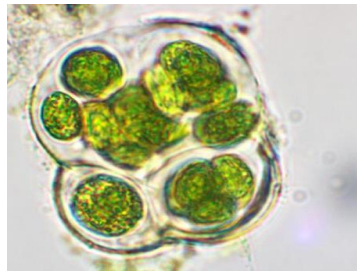
C'est procaryote vrai, elle est de type GRAM négative (Boutalbi, 2014). Elle est non mobile ou mobile (par glissement ou à l'aide de vacuole à gaz), mais ne possède jamais de flagelles (Pierlovisi, 2007).

**Tableau 05:** Classification de la *spiruline* (*Arthrospira platensis*) (Fox, 1999).

Règne	Monera
Sous-règne	Procaryote
Embranchement	Cyanophyta
Classe	Cyanophyceae
Ordre	Oscillatoriales
Famille	Oscillatoriaceae
Genre	<i>Arthrospira</i>
Espèce	<i>Arthrospira platensis</i>

### 1.9.2. *Gloeocapsa sp*

*Gloeocapsa* (du grec gloia (gélatineux) et du latin capsa (cas)) est un genre de cyanobactéries, unicellulaires (ordre des Chroococcales), avec des cellules simples ou groupées enfermées dans des couches concentriques de mucilage. Habitant à la fois l'eau douce et l'eau salée, et on les trouve sur les rochers ou les sols humides. Certains sont symbiotiques avec des champignons, formant des lichens.



**Figure 03 :** Morphologie de *Gloeocapsa sp*

**Tableau 06 :** Classification de *Gloeocapsa sp* (Bouazzara et al., 2020).

Domaine	Eubacteria
Embranchement	Cyanobacteria
Classe	Cyanophyceae
Ordre	Chroococcales
Famille	Microcystaceae
Genre	<i>Gloeocapsa</i>

**Chapitre 02 :  
Cyanobactéries,  
adaptation et  
utilisation dans  
divers domaines**

### **2.1. Adaptation des cyanobactéries aux différents facteurs environnementaux**

Les cyanobactéries sont caractérisées par une croissance massive du printemps jusqu'au début de l'automne. Leur croissance dépend d'abord de la température, de la lumière ainsi que de la présence de sources inorganiques d'azote et de phosphore (Nasri, 2006 ; Mur et *al.*, 1999 ; Haider et *al.*, 2003). Un pH plutôt basique (compris entre 6 et 9) avec des concentrations assez importantes en azote et en phosphore, une bonne oxygénation, une intensité lumineuse pas très forte et une faible profondeur (Nasri, 2006 ; Skulberg et *al.*, 1984 ; Charmichael et *al.*, 1990).

#### **2.1.1. Température**

Le facteur le plus important affectant sur la croissance des cyanobactéries est la température, jusqu'à ce qu'elles atteignent des taux de croissance élevés, et disparaissent parfois au cours de l'année (Gayral, 1975). Les cyanobactéries prolifèrent à une température pour la croissance entre 15 C° et 30 C° (Carmichael et *al.*, 1990), Sachant que les cyanobactéries possèdent un optimum de croissance à des Température élevées autour de 25 C° (Robarts et Zohary, 1987), et en plus elles capables de tolérer et de survivre à des Température bien plus basses (Briand, 2001).

#### **2.1.2. Lumière**

Les cellules sont capables d'ajuster le fonctionnement de leur appareil photosynthétique en fonction de l'éclairement. Les cyanobactéries doivent faire face à des conditions lumineuses très changeantes en quantité et en qualité qui dépendent de la latitude, de cycle diurne, des saisons, et de la climatologie (Smith, 1982). Les cyanobactéries se développent bien à la lumière et ont la capacité de tolérer de faibles niveaux de lumière (Carmichael et *al.*, 1990 ; Mur et *al.*, 1999), la forte luminosité d'été étant habituellement photo-inhibitrice (Shulberg et *al.*, 1984 ; Carmichael et *al.*, 1990 ; Mur et *al.*, 1990). Ces micro-organismes capables de croître dans une intensité lumineuse extrêmement faible en raison d'exigences moindres

#### **2.1.3. pH**

La biomasse des cyanobactéries et des chlorophytes augmentent à pH acide (Tiffany, 1951). En revanche, les cyanobactéries préfèrent un pH compris entre 6 et 9 avec des concentrations élevées d'azote et d'oxygène et une intensité lumineuse modérée (Bote, 1984). Le pH et le carbone inorganique dissous évoluent lors des efflorescences de cyanobactéries, avec généralement de fortes valeurs de pH lors de leur croissance et donc des diminutions importantes en carbone ionrganique dissous, généralement défavorables pour les autres communautés phytoplanctoniques (Shapiro, 1997).

## **Chapitre 02 : Cyanobactéries, adaptation et utilisation dans divers domaines**

---

### **2.1.4. Salinité**

La salinité était considérée comme l'une des plus importants facteurs écologiques affectant la croissance et les activités métaboliques des plantes et micro-organismes. Les cyanobactéries tolèrent des concentrations élevées de salinité et ont été trouvées dans les sols arides et salins (Lund, 1962).

## **2.2. Utilisations des cyanobactéries dans divers domaines**

Après de nombreuses recherches sur les cyanobactéries, il a été constaté qu'elles peuvent être introduites dans plusieurs domaines de la vie, dont l'alimentation et la médecine, et qu'elles ont un rôle important dans l'environnement, en plus des cosmétiques.

### **2.2.1. Complément alimentaire**

Les cyanobactéries sont une source d'aliments tels que les complexes Sucre, protéines, acides aminés, phycocyanine, chlorophylle, bêta-carotène, minéraux, glucides et vitamines. Il est utilisé dans l'industrie avicole, les aquariums et l'aquaculture. Séché *Spirulina* est composée de 24 % de glucides, de 51 à 71 % de protéines, de 8 % de matières grasses et de 5 % d'eau. C'est une riche source de Divers nutriments essentiels et minéraux alimentaires, tels que la vitamine B12 et le fer, respectivement. Il est important pour la synthèse de l'ADN et participe à la production d'hémoglobine (Zahra et al., 2019 ; Khan et al., 2005 ; Campanella et al., 2002).

### **2.2.2. Médicament**

Les cyanobactéries sont utilisées pour améliorer la santé, elles ont montrées une bioactive intéressante, antibactérien, antiviral, anti-inflammatoire, antimoral (Zahra et al., 2019 ; Gadmann et Portman, 2008 ; Mayer et al., 2009). L'apratoxine dérivé de différents types de cyanobactéries, il a la capacité de résister à une variété de lignées cellulaires cancéreuse, la curaquine A dérivée de *Lyngbya majusculata* est efficace contre le cancer de sein (Zahra et al., 2019 ; Gerwick et al., 1994).

### **2.2.3. Agro-culture**

Les cyanobactéries sont utilisés comme bio-engrais naturel et contribue à améliorer la productivité dans une variété d'agriculture et Conditions environnementales (Zahra et al., 2019 ; Sang, 2005). Dans le secteur agricole, le phosphore est le deuxième élément le plus important Ce qui est nécessaire à la croissance et au développement des plantes. Les cyanobactéries peuvent augmenter le phosphate du sol en raison de Améliorer leur production d'acides organiques (Zahra et al., 2019 ; Wilson, 2006). Les cyanobactéries peuvent aider à réduire la salinité du sol, la croissance des mauvaises herbes et la pourriture, et à augmenter le sol biomasse (Zahra et al., 2019 ; Saadatnia et Riahi, 2009). Les produits dérivés des espèces de

## **Chapitre 02 : Cyanobactéries, adaptation et utilisation dans divers domaines**

---

spiruline pourraient ouvrir la voie à une agriculture durable, assurant ainsi une production alimentaire pour répondre aux demandes d'une population croissante et la protection de l'environnement (Zahra et al., 2019 ; Godlewska et al 2019).

### **2.2.4. Industriel**

Les microalgues convertissent l'énergie solaire en biomasse riche en biomolécules servant à produire des biocarburants (graisses, protéines et glucides) À des taux plus élevés que les cultures oléagineuses. Les carburants premiums issus des microalgues sont le biodiesel, le biogaz et le bioéthanol (Alberto et al., 2019 ; Costa et al., 2017 ; Juvia, 2011 ; Gouvêia et al., 2017). La concentration de lipides et de glucides dans la spiruline est d'environ 10 et 15 %, respectivement (Alberto et al., 2019 ; Moraes et al., 2016). Par exemple, *Spirulina platensis* pourrait être un producteur de bioéthanol prometteur, puisque la concentration en glucides dans sa biomasse peut atteindre 50 % (Alberto et al., 2019 ; Salla et al., 2016).

### **2.2.5. Les utilisations d'*Arthrospira platensis* et *Gloeocapsa sp***

Pour l'*Arthrospira platensis*:

- On peut l'utiliser dans le cosmétique : (épiderme, systèmes pileux et capillaire, ongles lèvres, dents).
- On peut utiliser comme complément alimentaire : elle est riche en éléments nutritives.
- On peut utiliser dans le pharmaceutique.

Pour la *Gloeocapsa sp*:

- Elle a un rôle écologique important dans la fixation de Nitrogène.
- Elle a un rôle dans l'épuration des eaux usées.
- Elle possède une capacité d'éliminer les métaux lourds.

#### **2.2.5.1. Domaines d'utilisations d'*Arthrospira platensis***

Les études récentes ont permis de redécouvrir de très nombreux domaines de valorisation d'*A. platensis* (Fox, 1999). Elle est reconnue pour sa haute valeur nutritionnelle (Sautier et Trémolière, 1976). Ses parois polysaccharidiques sont faciles à ingérer répondant parfaitement à la demande des marchés diététiques. Elle est considérée comme l'aliment futur depuis que la NASA l'a choisie comme aliment idéal pour les cosmonautes grâce à sa richesse exceptionnelle en protéines, en vitamines et en acides aminés essentiels (Carlos et al., 2003). Fixatrice d'ions métalliques au niveau de sa paroi cellulaire, elle possède un champ d'action très prometteur dans l'épuration des eaux urbaines et surtout industrielles, grâce à sa faculté de se charger en métaux lourds, généralement polluants. L'efficacité thérapeutique a été testée jusqu'à présent sur le taux de cholestérol élevé,

## **Chapitre 02 : Cyanobactéries, adaptation et utilisation dans divers domaines**

---

le diabète, la stimulation immunitaire, les infections virales, le cancer et la protection contre les fortes irradiations. *A. platensis* est particulièrement indiquée pour traiter les quatre plus importantes maladies de déficience dues à la malnutrition à savoir, la malnutrition protéique par sa richesse en protéines, l'anémie nutritionnelle par ses fortes teneurs en fer et en vitamine B12, la xérophtalmie par son taux élevé en provitamine A, le goitre endémique par sa teneur élevée en Iode (Pascaud, 1993).

*A. platensis* est aussi utilisée comme fertilisant en agriculture et comme complément d'alimentation des animaux (Gotaas, 1959 ; Santillon, 1974). En outre, elle est particulièrement intéressante en industrie pour la production du pigment bleu "la phycocyanine", un colorant naturel bleu non toxique qui peut, éventuellement, remplacer les colorants synthétiques dans les industries alimentaires (Dainippon, 1980) et cosmétiques. Son action comme stimulant du système immunitaire, et ses propriétés anti-cancérigènes (Schwartz et Shklar, 1988) le rendent d'un grand intérêt dans les industries pharmaceutiques et parapharmaceutiques. Grâce à sa fluorescence, ce pigment est aussi utilisé comme un traceur biochimique en microscopie et en cytométrie de flux. En cosmétologie, *A. platensis* est utilisée dans des crèmes et lotions pour la peau. C'est en raison de tous ces avantages qu'*A. platensis* connaît, depuis une dizaine d'années, un regain d'intérêt et que des produits variés dérivés de cette espèce commencent à apparaître sur le marché alimentaire, parapharmaceutique et cosmétique (Seshadri et Jeeji Bai, 1992).

### **2.3. Le rôle écologique de cyanobactéries**

Les cyanobactéries sont connues pour être capables de photosynthèse (Sabart, 2009 ; Des Marais, 2000) et ont ainsi contribué à une augmentation de la concentration en oxygène dans l'océan, puis dans l'atmosphère, permettant le développement de la vie aérobie (Sabart, 2009 ; Dismukes et *al.*, 2001). Les cyanobactéries jouent un rôle dans le cycle de l'oxygène. Ils sont répartis dans le picoplancton et le nanoplancton des océans tempérés et tropicaux et contribuent en grande partie à la production primaire (Sabart, 2009 ; Goericke et Welschmeyer, 1993 ; Moran, 2007). Il existe certains des genres des cyanobactéries qui fixent l'azote atmosphérique, qui a un rôle écologique et économique important (Sabart, 2009 ; Bergman et *al.*, 1997 ; Zehr et *al.*, 2001). Par exemple d'*Anabaena* qui vit en symbiose avec *Azolla* (fougère aquatique utilisée comme engrais vert) dans les rizières en Asie (Sabart, 2009 ; Peters et Meeks, 1989). Les espèces de cyanobactéries peuvent être utilisées pour dégrader certains colorants textiles des eaux usées comme l'indigo, le rimazol Blue brillant R (RBBR) (Zahra et *al.*, 2019 ;

## **Chapitre 02 : Cyanobactéries, adaptation et utilisation dans divers domaines**

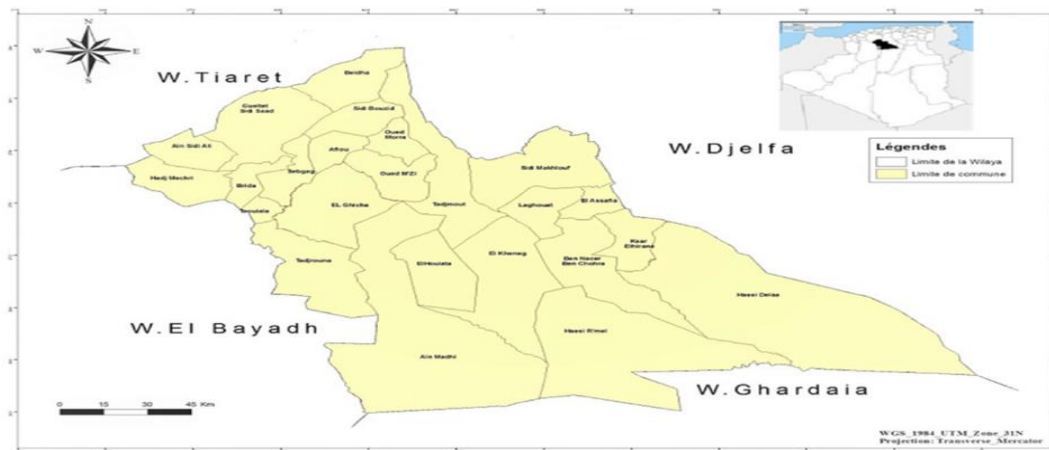
Dellamatrice et *al.*, 2017), noire soufré. Les cultures bleues *Gloeocapsa pleurocapsoides* et *Phormidium ceylanicum* ont été utilisés pour éliminer les colorants azoïques périodiques. D'autres types de cyanobactéries comme la *Spiruline* peuvent éliminer complètement l'azote de eaux usées (Zahra et *al.*, 2019 ; Chevalier et *al.*, 2000). Les cyanobactéries peuvent jouer un rôle de premier plan dans la désinfection des substances huileuses des eaux usées et aider à dégradation des hydrocarbures (Zahra et *al.*, 2019 ; Cohen, 2002), et aussi sont des candidats pour éliminer les contaminations du sol. Les cyanobactéries peuvent aider à lutter contre la désertification. En combinaison avec des bactéries, des Algues, les lichens ou des champignons qui forment des croûtes biologiques du sol dans régions géographiques distinctes (Zahra et *al.*, 2019 ; Rossi et *al.*, 2017).

# **Partie expérimentale**

### 3.1. Présentation de la région d'étude

#### 3.1.1. Situation géographique

Notre étude a été menée à la wilaya de Laghouat (Située au centre du pays à 400 km au sud de la capitale Alger) et plus précisément la commune de Tadjmout. La Wilaya de Laghouat est une wilaya d'Algérie en Afrique du Nord. Elle compte 455 602 habitants sur une superficie de 35 413 km<sup>2</sup>. La densité de population de la Wilaya de Laghouat est donc de 12,9 habitants par km<sup>2</sup>. Laghouat, Aflou et Tadjmout sont les plus grandes villes de la Wilaya de Laghouat parmi les 24 villes qui la compose. Elle est limitée par les wilayas suivantes : Au Nord : Tiaret ; Au Sud : Ghardaïa ; A l'Est : Djelfa ; A l'Ouest : El-Bayadh.



**Figure 04 :** Carte géographique de la wilaya de Laghouat (site web21)

#### 3.1.2. Présentation de site d'échantillonnage

Tadjmout est une municipalité des provinces de Laghouat, située à 48 km au nord-ouest de la ville de Laghouat, bordée au nord par la wilaya de Djelfa, au sud de Hawaita et dans l'étranglement, à l'ouest de Oued M'zi, Ain Madi, Sidi Bouzid et Al Bayda, et à l'est de Sidi Makhoulf et Laghouat. Tadjmout est le troisième rassemblement de population après la municipalité de Laghouat et la municipalité d'Aflou, qui est née de la division administrative de l'année 1984, et se trouve sur une superficie totale de 620 kilomètres carrés et était dans l'ancien point de passage où divers convois venant du sud et se dirigeant vers le col nord, et sa zone s'étend vers les frontières avec la wilaya de Tiaret se trouve au point frontière appelé région Hassyan Al-Deeb, avec une population d'environ 26846 personnes. La municipalité compte plusieurs centres de population, dont les plus importants sont : Al-Hajeb, qui est le plus grand rassemblement résidentiel en dehors du siège de la municipalité, ainsi qu'AlHutaiba et Miska.



**Figure 05 :** Photos satellites de situation géographique de la commune Tadjmout – wilaya Laghouat (Google maps, 2020).

### 3.1.3. Présentation de barrage infero- flux Tadjmout (pont Oued M’zi)

Laghouat possède un barrage mystique qui est considéré comme un chef-d'œuvre scientifique de génie et un surnaturel pour stocker et exploiter les eaux souterraines, car il est unique au niveau africain et le deuxième au niveau mondial après le barrage d'Afghanistan. Le barrage souterrain a été construit en 1949 et les travaux ont été achevés en 1951 par une entreprise française,

L'Oued M'zi constitue l'un des plus importants cours d'eau dans l'Atlas Saharien Central, il prend sa source au niveau d'Aflou dans le massif de Djebel Amour, vers le Sud-est de Laghouat il rejoint l'Oued Messaad d'où il prend le nom de l'Oued Djedi qui se débouche dans le Chott Melghir au sud de Biskra après un parcours de 450 kms formant ainsi un système endoréique typique des régions arides et semi-aride (F.SolielHavoup, 1974).



**Figure 06 :** Barrage infero-flux Tadjmout, Laghouat 2022.

### 3.2. Méthodes et techniques utilisées

La dynamique des populations de cyanobactéries a été étudiée par des dénombrements de cellules et colonies sous microscopie optique, isolement et identification de la souche sélectionnée puis la culture en Batch (Le procédé est réalisé dans un système clos (fermé) dans lequel un même volume de milieu non renouvelé est utilisé pour la croissance des microorganismes ; la quantité de nutriments est donc limitée ce qui permet la croissance du microorganisme jusqu'à épuisement des substances nutritives pour tester les différentes conditions environnementales sur la croissance de cyanobactérie isolée.

#### 3.2.1. Echantillonnage

Des échantillons d'eau ont été prélevés dans des endroits dont la couleur varie de l'incolore, du bleuâtre et du brunâtre au vert d'une coloration spécifique de l'eau. Les recherches ont été menées au mois de février 2022 au barrage de Tadjmout.

Environ 300 ml d'échantillons d'eau ont été recueillis dans trois bouteilles stériles de 150 ml à chaque endroit, les bouteilles stériles sont plongées dans l'eau superficiel à une distance qui varie de 20 à 25 cm de la surface assez loin des bords. Les échantillons ont été transportés au laboratoire dans une glacière et gardés en attente d'une analyse à 4°C.

#### 3.2.2. Isolement des cyanobactéries

L'isolement a été réalisé avec une seringue stérile et nous avons choisis *Gloeocapsa* sp et *Arthrospira platensis* à cause de leurs abondances dans l'échantillon et la facilité qu'elle présente pour l'isolement. Chaque cellule est introduite dans un flacon contenant le milieu de culture approprié pour les cyanobactéries.

#### 3.2.3. Préparation des milieux de culture

Les souches d'algues et de cyanobactéries sont cultivées sur un milieu unique, le milieu BG11 (Les cyanobactéries peuvent se développer dans différents milieux de culture comme milieu Zarrouki, milieu Hiri et milieu Aiba Ogawa, et entre eux le milieu BG11 (Bleu-Green medium). Nous avons choisis le milieu BG11 parce qu'il assure la croissance des cyanobactéries et il peut subvenir leurs besoins nutritionnels.). La recette utilisée au laboratoire est simplifiée car elle nécessite uniquement la préparation de 2 solutions A et solution minérale (Voir annexe 01). Ensuite stérilisée en autoclave à 120 °C pendant 20 min. Et le pH final est 6.

### 3.2.3.1. Protocole

Pour constituer la population des microbes, les échantillons ont été enrichis avec des supports liquides BG11 et incubé à température ambiante à l'intérieur (23±2 °C) à côté une fenêtre permettant suffisamment de lumière du soleil pendant 18 jours. 180 mL de BG11 a été ajouté à 20 ml de l'échantillon.



a)



b)

**Figure 07 :** Les cultures de *Gloeocapsa* sp et *Arthrospira platensis* incubées à température ambiante à l'intérieur et à côté d'une fenêtre) Après 18 jours de l'incubation des cultures. b) Avant d'incubation des cultures.

### 3.2.3.2. Détermination de la concentration optimale en sel pour la croissance

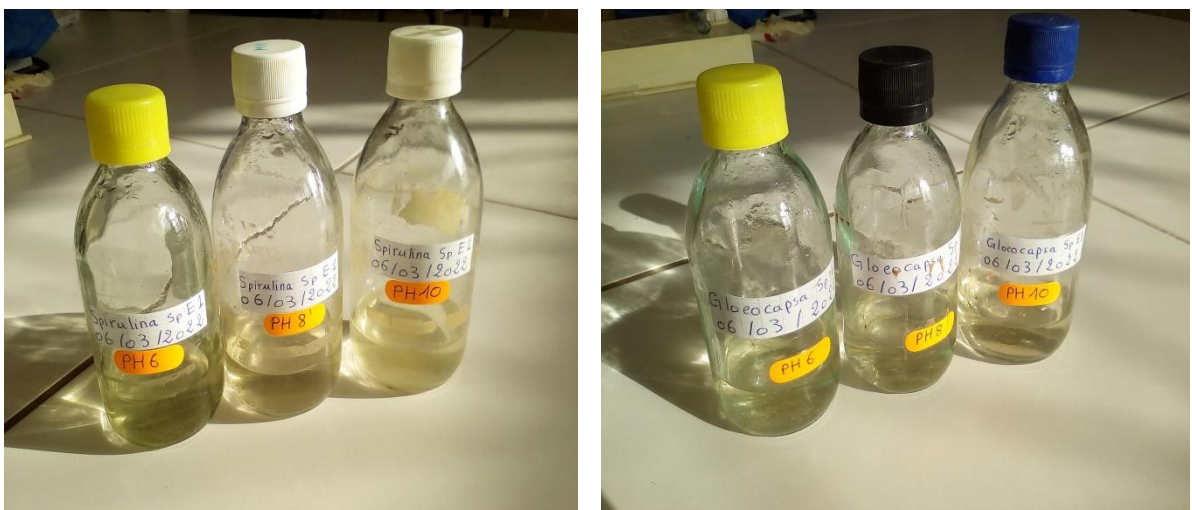
Le milieu BG11 a été préparé avec différents concentration en NaCl (m/v) de 0,1, 0,3, 0,6 et 0,9 %. Cinq millilitres de chaque culture de bouillon a été ajouté à 45 ml du milieu liquide avec du sel à différentes concentrations et incubés à température ambiante (23 °C). Et près d'une fenêtre permettant la lumière du soleil pendant 14 jours. La densité optique de chaque culture a été mesurée au début et après chaque deux jour. Les cultures à chaque niveau de salinité ont été reproduites deux fois.



**Figure 08 :** Les différentes concentrations ont été préparées de la salinité pour *Gloeocapsa* sp et *Arthrospira platensis*.

### 3.2.3.3. Détermination du pH optimal pour la croissance

L'utilisation d'acide chlorhydrique concentré, le pH ajusté de 10 à 8 et 6. Quarante-cinq millilitres ont été versés dans des flacons de culture stériles et inoculés avec 5 ml de bouillon de BG11 de chaque isolat. Les cultures ont été incubées dans la chambre température (23 °C) à côté d'une fenêtre permettant suffisamment de lumière du soleil et les densités optiques mesurées au début et après tous les deux jours pendant deux semaines. Les cultures à chaque condition de pH ont été répliquées deux fois.



**Figure 09 :** Les différents niveaux ont été préparés du pH pour *Gloeocapsa* sp et *Arthrospira platensis*.

### 3.2.4. Lectures de la densité optique

La densité optique de chaque culture de bouillon a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre de marque (UV-1800 SHIMADZU spectrophotomètre) à longueur d'onde de 686 nm et après chaque deux jour pendant 16 jours.



**Figure 10:** Photo du Spectrophotomètre (2022).

# **Résultats et Discussion**

### 4. 1. Aspect macroscopique et microscopique des cultures de cyanobactéries isolées

#### 4. 1.1. Aspect macroscopique

L'observation des caractères morphologiques des cyanobactéries récoltées dans le barrage de Tadjmout au cours de ce travail, nous a permis d'identifier le genre *Gloeocapsa* sp et l'espèce *Arthrospira platensis*. Pour la première algue subaérienne forme souvent des masses gélatineuses vertes, rouges, brunes ou orange sur des substrats dans l'eau ou tout près, et pour la deuxième algue colore le milieu en couleur verte et forme des masses gélatineuses vertes foncées (Fig. 11).



**Figure 11 :** Aspect macroscopique des cultures de *Gloeocapsa* sp et d'*Arthrospira platensis* après 16 jours d'incubation.

#### 4. 1.2. Aspect microscopique

##### 4.1.2.1. Aspect microscopique de *Gloeocapsa* sp

Les cellules sphériques, non flagellées, ne forment pas de filaments, mais sont solitaires ou forment des groupes de 2, 4 ou 8 cellules dans des masses gélatineuses. Chaque cellule est entourée d'une épaisse gaine mucilagineuse homogène ou lamellée de couleur jaune, brune, rouge ou même bleue ou violette (Fig. 12).



**Figure 12 :** *Gloeocapsa* sp sous microscope optique à l'objectif 40 (GX400).

### 4.1.2.2. Aspect microscopique d'*Arthrospira platensis*

Structure droite pluricellulaire se présente sous formes de filament constitué des cellules juxtaposées et dépourvue de cellules différenciées. Les cellules individuelles du filament sont plus larges que longues (Fig. 13).



**Figure 13 :** *Arthrospira* sp sous microscope optique à l'objectif 40 (GX400).

### 4.2. Croissance des cultures de cyanobactéries isolées sur les différentes conditions de culture

#### 4.2.1. Effet de pH sur la croissance de *Gloeocapsa* sp

La croissance de *Gloeocapsa* sp dans différentes conditions de pH est illustrée dans la figure 14. *Gloeocapsa* sp a préféré un pH alcalin, le taux de croissance le plus élevé était à pH 10 avec des moyennes de densité optique allant jusqu'à 0.064 dans le 16 jours et il était de 0.056 à pH 8. *Gloeocapsa* sp a pu se développer en pH légèrement acide, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement faibles que le pH alcalin.

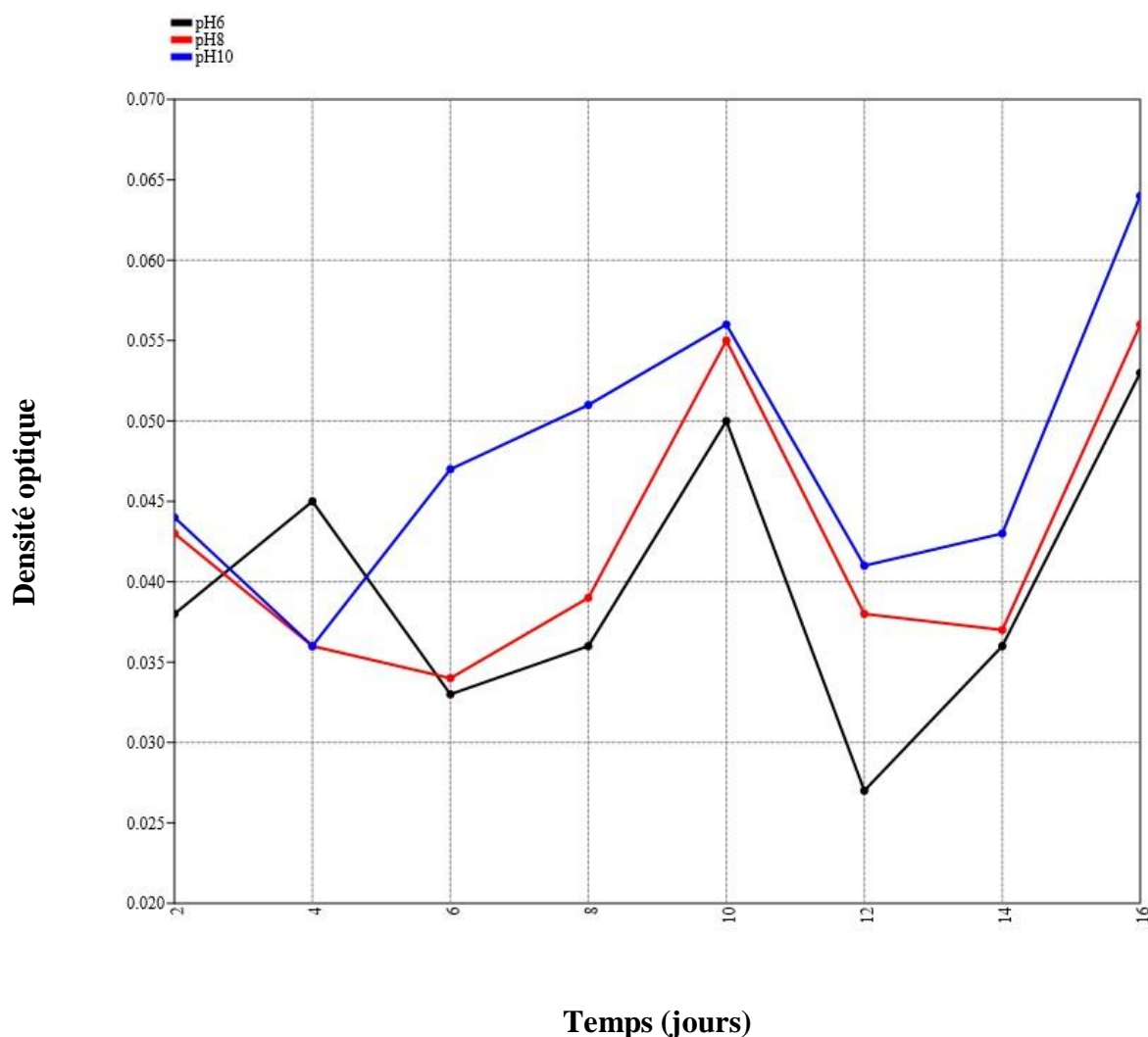


Figure 14 : Effet de pH 6, pH8 et pH10 sur la densité cellulaire de *Gloeocapsa* sp.

## Résultats et Discussion

### 4.2.2. Effet de pH sur la croissance d'*Arthrospira platensis*

La croissance d'*Arthrospira platensis* dans différentes conditions de pH est illustrée dans la figure 15. *Arthrospira platensis* a préféré un pH alcalin, le taux de croissance le plus élevé était à pH 10 avec des moyennes de densité optique allant jusqu'à 0.083 dans le premier jour et il était de 0.064 à pH 8 après 14 jours. *Arthrospira platensis* a pu se développer en pH légèrement acide, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement faibles que le pH alcalin.

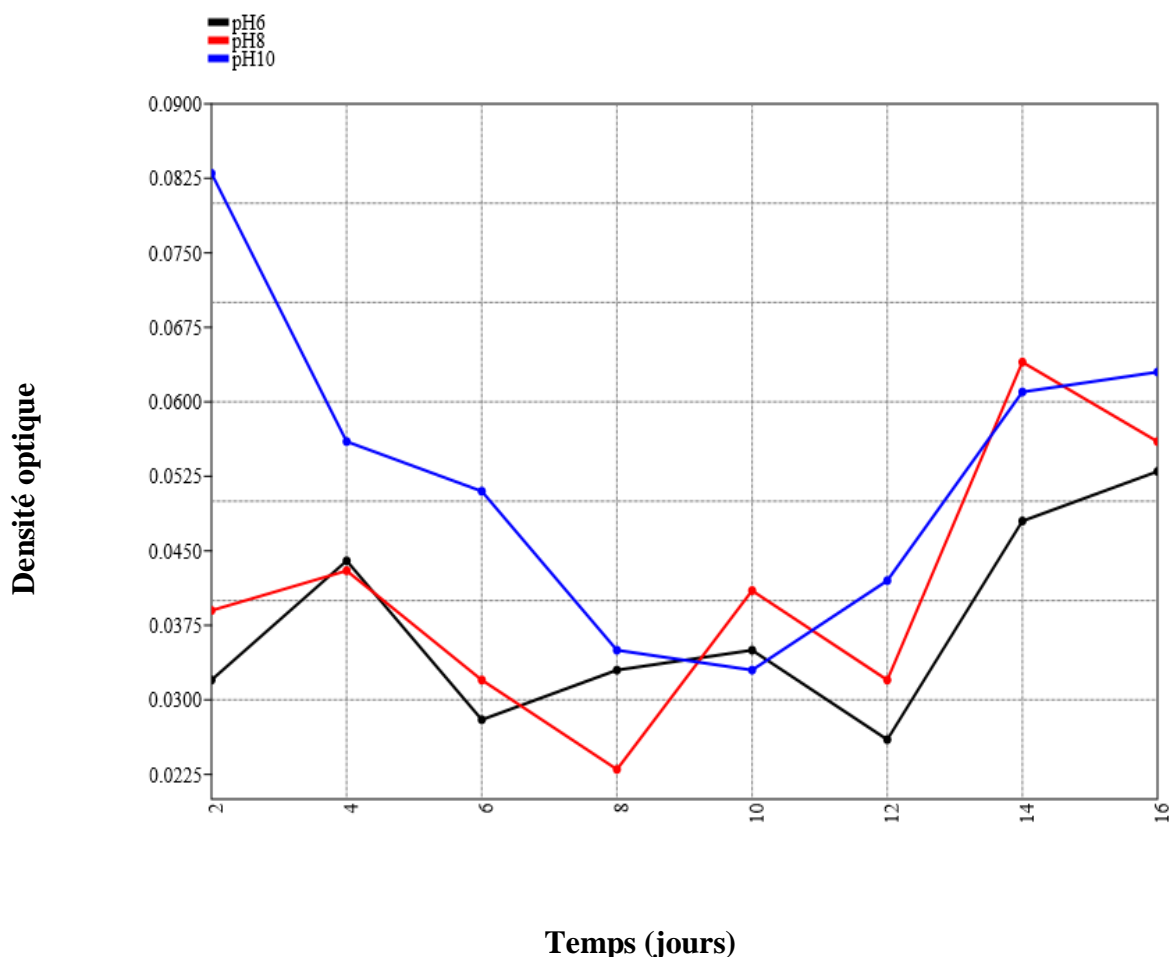


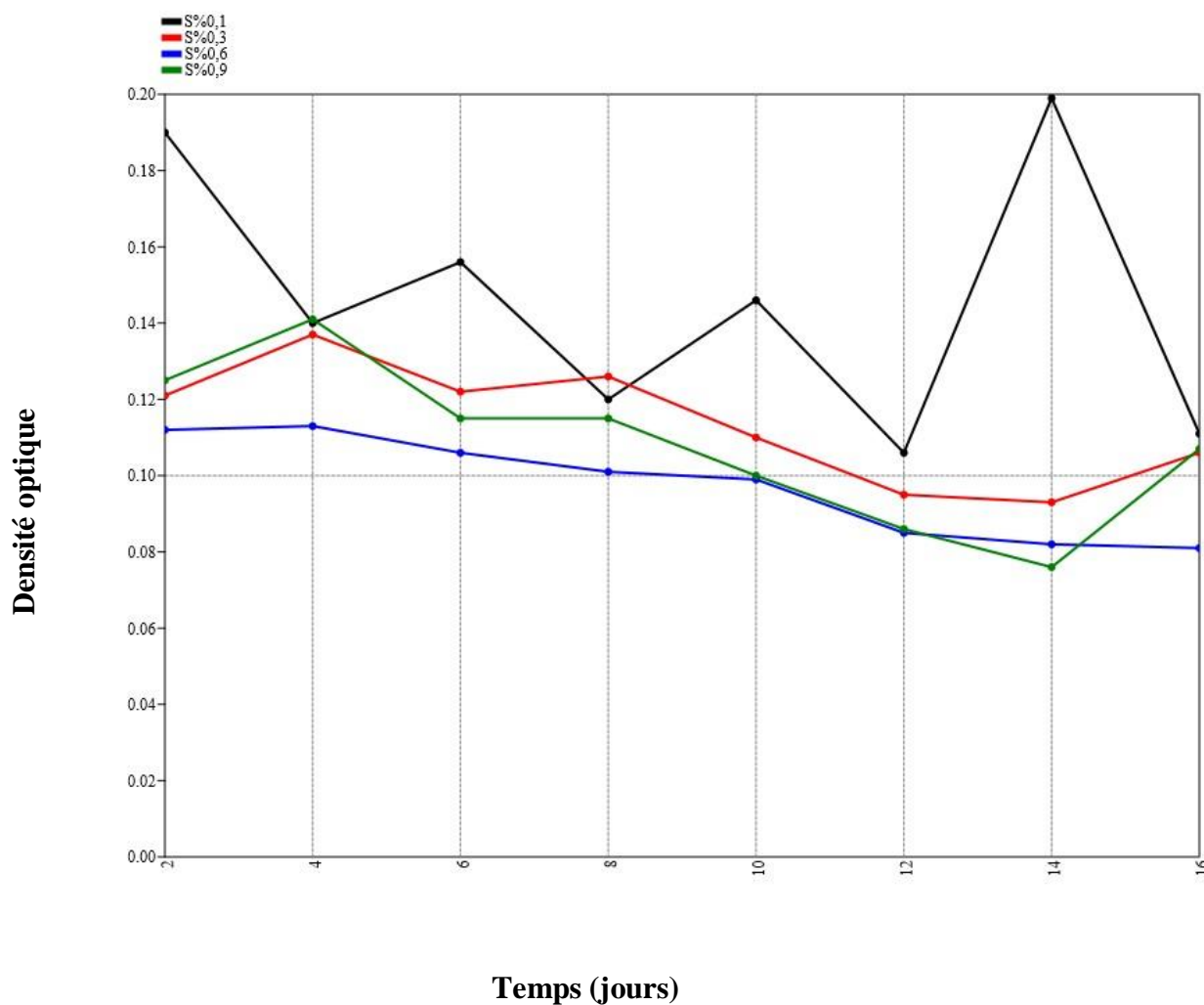
Figure 15 : Effet de pH 6 et pH8 et pH10 sur la densité cellulaires d'*Arthrospira platensis*

### 4.2.3. Effet de la salinité sur la croissance de *Gloeocapsa* sp

La croissance de *Gloeocapsa* sp dans différentes concentrations en NaCl (m/v) de 0.1, 0.3, 0.6 et 0.9 % est illustrée dans la figure 16. *Gloeocapsa* sp a préféré une salinité faible, le taux de croissance le plus élevé était à NaCl 0.1 % avec des moyennes de densité optique allant jusqu'à 0.199 après 14 jours et il était de 0.137 à NaCl 0.3% et 0.113 à NaCl 0.6% après 4eme jours. *Gloeocapsa* sp a pu se développer à une salinité élevée 0.9 %, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement plus faibles à une salinité faible. La croissance de

## Résultats et Discussion

*Gloeocapsa* sp a clairement été affectée positivement à une salinité élevée, mais leur croissance était aussi importante aux autres concentrations en NaCl ce qui confirme leur capacité à se développer aux différentes conditions de salinités.



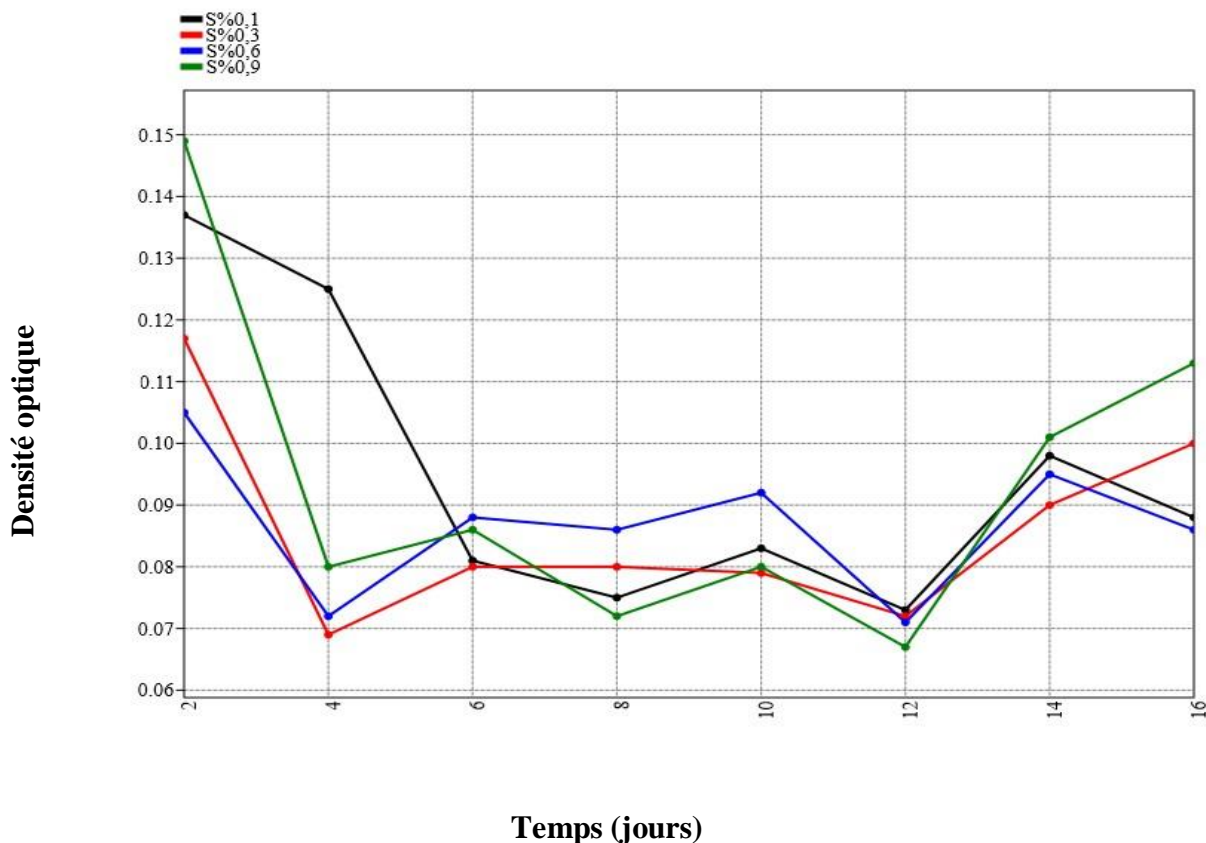
**Figure 16 :** Effet des différentes concentrations de la salinité (0.1, 0.3, 0.6 et 0.9%) sur la densité cellulaire de *Gloeocapsa* sp.

### 4.2.4. Effet de la salinité sur la croissance d'*Arthrospira platensis*

La croissance d'*Arthrospira platensis* dans différentes concentrations en NaCl de 0.1, 0.3, 0.6 et 0.9 % est illustrée dans la figure 17. *Arthrospira platensis* a préféré une salinité élevée, le taux de croissance le plus élevé était à NaCl 0.9 % avec des moyennes de densité optique allant jusqu'à 0.149 dans le premier jour. Elle a pu se développer à une salinité faible, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement faibles à une salinité élevée. La croissance de

## Résultats et Discussion

d'*Arthrospira platensis* a clairement été affectée positivement à une salinité faible, mais leur croissance était aussi importante aux autres concentrations en NaCl ce qui confirme leur capacité à se développer aux différentes conditions de salinités.



**Figure 17 :** Effet des différentes concentrations de la salinité (0,1, 0,3, 0,6 et 0,9%) sur la densité cellulaires d'*Arthrospira platensis*.

## 5. Discussion

Durant cette dernière décennie, un intérêt particulier est porté aux cyanobactéries. En effet, les métabolites extracellulaires des cyanobactéries sont dans la plupart des cas des substances actives dont les activités biologiques sont diverses et multiples : antifongique, antibactérienne, stimulatrice de la croissance cellulaire etc., d'où ils peuvent constituer une source potentielle d'actifs biologiques pour l'industrie pharmaceutique, agroalimentaire et cosmétique.

Ce travail s'intègre dans cette voie de recherches et ils ont utilisés les cyanobactéries *Gloeocapsa* sp et *Arthrospira platensis* comme modèle d'étude. Ces micro-algues sont connues par leur utilisation dans différents domaines (pigment alimentaire, complément alimentaire, produit pharmaceutique et cosmétique, biodiésel, biofertilisant.etc.).

## Résultats et Discussion

---

Le style de vie des cyanobactéries implique une dépendance vis-à-vis des facteurs physicochimiques de l'environnement tels que pH et salinité. (Mary I., 2003).

L'analyse des principaux paramètres physico-chimiques (pH et salinité) ont montrés que les cyanobactéries de genre *Gloeocapsa* sp et d'*Arthrospira platensis* ont pu se développer très bien dans des environnements à pH alcalins mais une croissance a été observée aussi à pH légèrement acide. Dans ce cas, nous suggérons que *Gloeocapsa* sp et *Arthrospira platensis* ont été alcalophile et qu'ils pourraient être des légèrement acidophile, également a rapporté par plusieurs des auteurs comme Bouazzara et al., 2020 et Nasri, 2006 ; Skulberg et al., 1984 ; Charmichael et al., 1990 ; Soni et al., 2017, Sjors et Alessandro, 2010 ; Habib, Parvin, Huntington, et Hasan, 2008. Ainsi, d'autres études ont rapporté que le pH supérieur à 9 ou inférieur à 6 pouvait inhiber la photosynthèse et nuire à la morphologie des cyanobactéries (Rai et Rajashekhar, 2016). Et Selon Stumm et Morgan (1996), le pH dans les systèmes lacustre varie de 6 à 10 selon le degré trophique. Il augmentée en période à forte production primaire. Par ailleurs, Brock (1973) rapporte qu'un pH du milieu inférieur à 5 élimine la vie et croissance des cyanobactéries. En cas de salinité, La croissance optimale de *Gloeocapsa* sp était à faible concentration d'NaCl, aussi a rapportée par Bouazzara et al., 2020, tandis que la croissance optimale d'*Arthrospira platensis* était à concentration élevée de NaCl, a rapportée également par Soni et al., 2017 ; Sjors et Alessandro, 2010; Habib, Parvin, Huntington, et Hasan, 2008. Mais leurs croissances était aussi importante aux autres concentrations en NaCl ce qui confirme leur capacité à se développer aux différentes conditions de salinités et sont considérés comme des halotolérantes. En effet, l'analyse de ces résultats montre que les conditions de pH et salinités qui affectent la croissance de la *spiruline* et *Gloeocapsa* sont souvent bien observés. Les conditions de stress, entre autres de l'excès de NaCl ou de pH, inhibant la croissance, orientent le métabolisme du carbone vers la synthèse d'autre métabolites secondaires comme moyen de dissipation de l'excès d'énergie due à l'inhibition de la photosynthèse. Ceci confirme le fait que les cyanobactéries ont de stratégie de défense de l'espèce contre les différents facteurs de stress.

En conclusion l'étude de l'impact des conditions environnementales sur la croissance des cyanobactéries devrait par conséquent prendre en considération la grande variabilité biogéographique des souches étudiées et les différentes stratégies adaptatives de ces souches en fonction de l'environnement multifactoriel dans lequel elles vivent. Les cyanobactéries sont connues par leur plasticité écologique exceptionnelle (Morris et al., 2001). On les rencontre aussi bien dans le milieu aquatique que dans le milieu terrestre, dans la glace des pôles que dans les sables des déserts, en eau douce qu'en eau de

## Résultats et Discussion

---

mer et même dans des zones polluées par les rejets humains et industriels (De Philippis et Vincenzini, 1998). Cette distribution, large et ubiquitaire, reflète une large capacité d'adaptation qui se manifeste par un large spectre de propriétés biochimiques et une grande variabilité métabolique (De Philippis et Vincenzini, 1998).

L'apport essentiel de ce travail est qu'il teste certains paramètres physicochimiques sur la croissance des cyanobactéries ce qui permet de modéliser et d'optimiser la production des cyanobactéries en vue de leur exploitation industrielle future.

Les différentes stratégies adaptatives des cyanobactéries génèrent une large gamme de métabolites extracellulaires ayant des activités biologiques diverses et qui peuvent être considérées pour autant des substances bioactives. C'est ainsi que la recherche de nouveaux principes actifs s'est orientée ces dernières années vers les cyanobactéries et leurs substances extracellulaires.

# **Conclusion et perspectives**

## Conclusion et perspectives

---

### Conclusion

L'observation des caractères morphologiques des cyanobactéries isolées de barrage de Tadjmout de Laghouat, nous a permis d'identifier le genre *Gloeocapsa sp* et *Arthrospira sp*.

Il ressort de cette étude :

- Que la variation des paramètres physico-chimiques telle que (Salinité, pH) a un effet sur la croissance des cyanobactéries (*Gloeocapsa sp*).
- *Gloeocapsa sp* et *Arthrospira platensis* ont pu se développer en pH acide, mais les densités cellulaires étaient toutes relativement plus faibles que le pH alcalin.
- En cas de salinité, le taux de croissance idéal de *Gloeocapsa sp* était en salinité faible (0.1 %) mais elle a pu se développer à une salinité élevée 0.9 %, et sa croissance était aussi importante aux autres concentrations en NaCl. Contrairement à *Arthrospira platensis* qui était en salinité élevée (0.9%), par conséquent, ils pourraient être classés comme halotolérante.

Il y a beaucoup d'études que nous aimerions faire, mais malheureusement nous n'avons pas pu fournir le matériel nécessaire et aussi le temps n'a pas suffi, par conséquent nos perspectives sont les suivantes :

- Etudier d'autres facteurs qui influent la croissance d'*Arthrospira platensis* et *Gloeocapsa sp* comme la température et la lumière.
- Analyser le pourcentage des protéines, lipides et quelques composants nutritionnels dans ces deux espèces.
- Etudier l'optimisation de la croissance d'*Arthrospira platensis* et *Gloeocapsa sp* dans le milieu BG11 modifié par ses concentrations en azote et en carbone.
- Etudier d'autres espèces de cyanobactérie.

# Références

## Références bibliographiques

---

1. **AFSSA. (2006).** (Agence française de sécurité sanitaire des aliments) et **AFSSET** (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail). Risques sanitaires liés à la présence de cyanobactéries dans l'eau-Évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et autres activités récréatives. Paris.
2. **Blais, S. (2002).** La problématique des cyanobactéries (algues bleu-vert) à la baie Missisquoi en 2001. *Agrosol*. 2002, 13 (2) : 103-110.
3. **Bourelly, P. (1985).** Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. III. Les algues bleues et rouges, les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. 2e éd., Soc. Nouv. Ed. Boudée, Paris, 606 pp.
4. **Boutalbi, S. (2014).** Criblage chimique et l'activité biologique de spiruline (*Arthrospira platensis*). Master 2 Biotechnologie végétale, université Kasdi Merbah Ouargla.
5. **Bouazzara, H., Benaceur, F., Chaibi, R., Boussebci, I., et Bruno, L. (2020).** Combined effect of temperature, pH and salinity variation on the growth rate of *Gloeocapsa* sp. In batch culture method using Aiba and Ogawa medium. *Eurasia j Biosci.* 14: 7101\_7109.
6. **Briand J.-F., Jacquet S., Bernard C., et Humbert J.F. (2003).** Health hazards for terrestrial vertebrates from toxic cyanobacteria in surface water ecosystems. *Vet. Res.* 34, 361-377.
7. **Carlos J., Belen R.C., Diego L., et Xavier N.F. (2003).** The Feasibility of industrial production of *Spirulina* (*Arthrospira*) in Southern Spain. *Aquaculture*. 217: 179-190
8. **Charpy, L., Langlade, M.J., Alliod, R. (2008).** La spiruline peut-elle être un autant pour la santé et le développement en Afrique ? Rapport d'expertise pour le ministère de l'agriculture et de la pêche 49p.
9. **Costa, J.A.V., Freitas, B.C.B., Rosa, G.M., Maraes, L., Morais, M.G., et Mitchell, B.G. (2019).** Operational and economic aspects *Spirulina*\_ based biorefinery. *Bioresource Technology*, 292(2019), p 8\_10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121946>.
10. **Couté, A. (1985).** Essai préliminaire de comparaison de deux Cyanophycées cavernicoles calcifiées : *Geitleria calcarea* Friedmann et *Scytonema julianum* Meneghini. *Archiv Hydrobiol.*, 71 (1-2), 91-98.

## Références bibliographiques

---

11. **Dainippon. Ink and chemicals Inc. (1980).** Production of highly purified alcoholophilic phycocyanin. Japanese Patent 8077890.
12. **De philippis R., Faraloni C., SILI C. and Vincenzini M. (2005).** Populations of exopolysaccharide-producing cyanobacteria and diatoms in the mucilaginous benthic aggregates of the Tyrrhenian Sea (Tuscan Archipelago). *Science of the Total Environment*. 353: 360-368
13. **Fox, R.D. (1999).** *Spiruline* Technique, pratique et promesse. EDISUD, Aix-en-Provence p246. ISBN 2674490100068. P. 18-129.
14. **Frémy, J.M., Lassus P. (2001).** Toxines d'algues dans l'alimentation. Ed. Ifremer.
15. **Gacheva, G.V., Gigova, L.G., Ivanova, N.Y., Pilarski, P.S., Lukavský, J. (2013).** Growth, biochemical and enzymatic responses of thermal cyanobacterium *Gloeocapsa* sp. (Cyanophyceae) to temperature and irradiance 1–11. <https://doi.org/10.1111/pre.12016>.
16. **Gaysina LA, Saraf A, Singh P (2019).** Cyanobacteria in Diverse Habitats, Cyanobacteria. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814667-5.00001-5>.
17. **Geitler, I. (2005).** Cyanophyceae. In: Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, Leipzig, Akad. Verslagsges. 1932. Reprinted 1971, New York, Johnson. P.1-1196.
18. **Gotaas H.B. (1959).** Compostage et Assainissement, Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
19. **Greuter, W., Mc Neil, J., Barrie, F.R., Burdet, H.M., Demoulin, V., Filgueiras, T.S., Nicolson, D.H., Silva, P. C., Skog, J.E., Trehane, P., Turland, N.J., et Hawksworth, D.L. (2000).** International Code of Botanical nomenclature (Saint Louis Code). 138, Koeltz scientific Books, 474 pp.
20. <https://www.pinterest.co.uk/pin/787707791048380575>
21. <https://www.researchgate.net/figure/Carte-de-la-wilaya-de-Laghouat-Map>
22. **Kaebnick, M., et Neilan, B.A. (2001).** Ecological and molecular investigations of cyanotoxin production. *FEMS Microbiol Ecol*, 35, 1-9.
23. **Komàrek, J., Komàrková, J., et Kling H. (2003).** Filamentous cyanobacteria. In: *Freshwater algae of North America*, Elsevier (Ed), USA, 117-196.
24. **Lapage, S.P., Sneath, P.H.A., Lessel, E.F., Skerman, V.B.D., See Liger, H. P.R., et Clark, W.A. (1992).** International Code of Nomenclature of Bacteria (1990 revision). American society of Microbiology, Washington D. C., 199 pp.

## Références bibliographiques

---

25. Lavoie, I., Laurion, I., Warren, A., et Vincent W.F. (2007). Les fleurs d'eau de cyanobactéries, revue littéraire. INRS rapport n°916, xiii, 124p.
26. Léonard, J. (1968). Discovery, ecology and nutritional utilization of *Spirulina platensis*. Communication à la réunion du Swedish. Council for Applied Research, Stockholm, 11.
27. Mez, K., Beattie, K.A., Codd, G.A., Hanselmann, K., Hauser, B., Naegeli, H., Preisig, H.R. (1997). Identification of a microcystin in the benthic cyanobacteria linked to cattle deaths on alpine pastures in Switzerland. *Eur. J. Phycol.* 32: 111-117.
28. Morris G.A., Li P., Puaud M., Liu Z., Mitchell J.R. and Harding S.E. (2001). Hydrodynamic characterization of the exopolysaccharide from the halophilic cyanobacterium *Aphanothece halophytica* GR02: a comparison with xanthan. *Carbohydrate Polymers.* 44:261-268.
29. Msagati, T.A., Siame, B.A., Shushu, D.D. (2006). Evaluation of methods for the isolation, detection and quantification of cyanobacterial hepatotoxins. *Aquat Toxicol.* 2006 Jul 20; 78(4):382-97. Epub 2006 Apr 27.
30. Nasri, H. (2007). Isolement, mise en culture et étude du potentiel toxique des cyanobactéries de divers plans d'eau de la Wilaya d'El TAREF, Algérie. (Thèse de Doctorat). Université d'ORAN\_ M.B, ORAN.
31. Pierlovisi, C. (2007). L'Homme et la spiruline : Un avenir commun ? Composition chimique. Intérêts alimentaires et activités biologiques Paris V. René Descartes, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Paris (162).
32. Rippka, R. (1988). Recognition and identification of Cyanobacteria. *Methods Enzymol.*, 167, 28-68.
33. Sabart, M. (2009). Variations spatiotemporelles dans la dynamique, la diversité génétique et le potentiel toxique de population de *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) dans plusieurs écosystèmes aquatiques du centre de la France. (Thèse de Doctorat). Université de SAVOIE, France.
34. Santillon C. (1974). Cultivation of the *Spirulina* for the Human Consumption and for Animal Feed. International Congress of Food Science and Technology. September. Madrid Spain.
35. Schwartz, J., et Shklar, G. (1988). Regression of experimental hamster cancer by beta carotene and algae extracts. *Oral Maxillofac. Surg.* 45: 510-515.
36. Seshadri, C.V., et Jeeji Bai, N. (1992). *Spirulina*, ETTA national symposium, MCRC, Madras, Inde.

## Références bibliographiques

---

37. **Sguera, S. (2008).** *Spirulina platensis* et ses constituants: intérêts nutritionnels et activités thérapeutiques. (These de Doctorat). Université HENRI POINCRE\_NANCY 1.
38. **Shapiro, J. (1997).** The role of carbon dioxide in the initiation and maintenance of blue-green dominance in lakes. *Freshw. Biol.* 37: 307-323.
39. **Soni, R.A., Sudhakar, K., et Rana, R.S. (2017).** *Spirulina*\_ From growth to nutritional product: A review. *Trends in Food Science et Technology*, 69(2017), p 157\_171. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.010>.
40. **Stanier, G. (1988).** Fine structure of cyanobacteria. In: *Methods in Enzymology*, Packer, L., Glazer, A.N. (Ed), San Diego, 167:157-172.
41. **Thébault, L., Lesne, J.P. (1995).** Les toxines des cyanobactéries : quels risques pour la santé. *TSM*, 12: 937-940.
42. **Valentine, M.B. (2004).** Floraisons de cyanobactéries au lac Saint-Augustin, dynamique à court terme et stratification. Université Laval Québec.
43. **Whitton, B.A. (2012).** The ecology of cyanobacteria 2: their diversity in time and space.
44. **Woese, C.R. (1987).** Bacterial evolution. *Microbiol. Rev.* 51, 221-271.
45. **Zahra, Z., Choo, D.H., Lee, H., et Parveen, A. (2020).** Cyanobacteria: Review of current potentials and Applications. *Environments*, p 11\_17. Dio: 10.3390/7020013.

# **Annexes**

**Annexe 1**

**Tableau :** Composition de Blue-Green medium (BG11).

Solution A	La solution de sels métalliques
- NaNO <sub>3</sub> 1,5 g	- H <sub>3</sub> BO <sub>4</sub> 2,86g
- K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> 0,04 g	- MnCl <sub>2</sub> , 4H <sub>2</sub> O 1,81g
- MgSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O 0,0 75 g	- ZnSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O 0,222g
- CaCl <sub>2</sub> , 2H <sub>2</sub> O 0,0 36 g	- Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O 0 ,39g
- Acide citrique 0,006g	- CuSO <sub>4</sub> , 5H <sub>2</sub> O 0,079g
- EDTA 0,001g	- Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 6H <sub>2</sub> O 49,4 mg
- Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 0,02g	- Eau distillée 1000 ml
- Citrate de fer ammoniacal 0,006g	
- Solution de sels métalliques 1 ml	
- Eau distillée 1 000 ml	

pH final est 6

**Solution pour augmenter le pH :**

NaOH.....1g

Eau distillée .....100ml



**Figure 2:** *Spirulina* séchée dissoute dans l'ED.

Annexe 2



**Figure 3 :** Les différentes concentrations de salinité et les niveaux du pH préparés pour *Arthrospira platensis*.



**Figure 4 :** Les différentes concentrations de salinité et les niveaux du pH préparés pour *Gloeocapsa* sp.