

Popular Democratic Of Algeria

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministry Of High Education And Scientific Research

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Abbes Laghrour University Khenchela



جامعة عباس لغرور خنشلة

Faculty Of Natural And Life Sciences

كلية علوم الطبيعة والحياة

Department Of Molecular And Cellular Biology

قسم البيولوجيا الجزيئية والخلوية

Mémoire Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

THEME

Activités antibactérienne et antioxydante des cyanobactéries

Présenté par : **Bouhzem Lamya**

Gasmi Oumaima

Djeridi Hanane

Devant le jury :

Présidente : BOUTARFA Soumia M.C.B Université de khenchela

Directrice : BENREDJEM Lamia M.C.B Université de khenchela

Examinatrice : HANOUN Saida M.C.B Université de khenchela

Année universitaire : 2022/2023



Remerciements

Avant tout nous remercions "Allah" le tout puissant de nous avoir donné la santé, la force, le courage, la patience afin d'accomplir ce modeste travail.

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier infiniment et avec gratitude notre directrice de mémoire Dr. BENREDJEM Lamia qui a fait tous pour nous orienter et nous guider pour réaliser ce travail ainsi que pour la confiance qu'il nous a témoignée. Nos remercions également Dr. BOUTARFA Soumia d'avoir accepté de présider notre jury de la soutenance et Dr.

HANOUN Saida qui nous a fait l'honneur d'examiner notre travail.

Je remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Un grand merci à tous



Dédicace

Je dédie ce travail

Je dédie le fruit de mes efforts à mon ange de la vie, à l'amour inébranlable qui ne change pas, à celle qui a veillé à m'instruire avec sa patience et ses sacrifices et m'a entouré de sa tendresse, ma chère

Maman.

A mon support dans ma vie qui m'a appris et m'a dirigé vers la gloire,
mon père.

Mon cher frère **BADI**, il ne peut pas être là, mais il restera toujours avec moi.

A mes sœurs KHADIDJA, AMIRA, ZHOURE, IMEN et MAROIA.

A mes deux petite à la maison : AMDJAD et AMIR.

A mes meilleures amies : BELKISSE, ZAROILA, MARWA, LINA,

ISMAHANE, SOUHA et CHAHINAZ.

A mon binôme LAMYA et HANANE, merci pour ces merveilles cinq ans ;
je vous aime.

Et pour toutes les personnes que je n'ai pas mentionnées mais je n'ai pas oublié.

OUMAIMA

Dédicace



Je dédie ce travail

A mes chers parents sources de mes joies et la lumière de mes yeux et le
bonheur de ma vie

A ma chère Maman "DZIRYA" tu représentes pour moi le symbole de l'espoir et
la tendresse, merci pour tes encouragements et mon soutien je t'aime ma mère.

A ma cher mon père Dieu ait pitié de lui, mais il restera toujours avec moi dans
ma cours

Après mon père je dédie ce travail à mon oncle "HOCIN" merci pour tes
sacrifices et ton soutien

A mes sœurs : NABILA, MALIKA et HALIMA

A mes frères : MADANI, HAROUN, HASSAN et surtout RACHID et BELKESEM

A mes fidèles amies : LINA, SOUHA, SALMA, RANIA, BOUTHAYNA, ISMAHAN,
ZAROIALA, BELKISS, MARWA et ARIDJ

A mon binôme OUMAIMA et HANANE tous les mots ne sauraient exprimer
mon amour pour vous

A tous ceux qui aiment la Science

LAMYA



Dédicace

Je dédie ce travail

Je commence par rendre "**Allah**" grâce à Dieu et sa bonté, pour la patience, la
compétences et le courage qu'il m'a donné pour arriver à ce stade

A mon cher père "**Amar**" rien ne peut exprimer l'amour, l'estime, le
dévouement et le respect que j'ai pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts
fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

A ma chère Maman "**Aïcha**" tu représentes pour moi le symbole de l'espoir et la
tendresse, merci pour tes encouragements et mon soutien je t'aime ma mère.

À mon cher mari "**HARRATH SOUFIANE**" je te remercie de me soutenir et de me
donner le courage et la capacité de faire ce travail avec amour et respect, et un
grand merci à son honorable famille.

A mes très chers et adorables frères et sœurs : SAMIRA qui m'a soutenu
toujours HAMIDA et MORAD, AHMED ABD AL HAKIM, MOUSSA Sans oublier
tous mes amis : LAMYA, OUMAIMA, LINA, ISMAHAN, SALMA, SOUHA, RANIA,
ZAROUALA, MARWA et BELKISSE.

HANANE

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

IntroductionError! Bookmark not defined.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1. Les cyanobactéries

1. Généralité sur les cyanobactéries	2
1.2. Diversités et morphologies des cyanobactéries	2
1.2.1. Morphologie des cyanobactéries.....	2
1.2.2. Pigments photosynthétiques.....	5
1.3. Division et reproduction	5
1.4. Écologie	6
1.4.1. Une bactérie ubiquitaire	6
1.4.2. Symbiose.....	6
1.5. Les conditions de développement.....	6
1.5.1. Mobilité verticale et horizontale	6
1.5.2. Nutriments.....	7
1.5.3. Température	7
1.5.4. Le pH et source de CO ₂	7
1.5.5. Prédation	8

Chapitre 2. Classification des cyanobactéries

1. Classification des cyanobactéries.....	9
1.1. Classification morphologique.....	11
1.2. Classification moderne des cyanobactéries	11

Chapitre 3. Activité antioxydante des cyanobactéries

1. Définition d'un antioxydant	13
2. Les types des antioxydants	14
2.1. Antioxydants endogènes.....	14
2.2. Antioxydants exogènes.....	16

3. Les mécanismes d'action des antioxydants	17
4. Défense antioxydante	18
4.1. Superoxyde dismutase (SOD)	18
4.2. Glutathion peroxydase	18
4.3. La catalase	18

Chapitre 4. Molécules bioactives des cyanobactéries

1. Définitions	19
2. Classification des molécules bioactive	20
3. Quelques substances naturelles d'origine cyanobactérienne aux propriétés antioxydantes ..	21
3.1. Les composés phénoliques	21
3.2. Flavonoïdes	23
3.3. Les alcaloïdes	24
3.4. Les tanins	24

PARITIE EXPERIMENTAL

Chapitre 5. Matériel et méthodes

1-Matériel	25
2. Méthode	25
2.1. Préparation des extraits organiques	25
2.2. Etude de l'activité antibactérienne	26
2.2.1. Souche bactérienne et inoculum	26
2.2.2. Méthode de diffusion en milieu solide.....	26
2.2.3. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)	27
2.3. Etude de l'activité antioxydante	27

Chapitre 6. Résultats et discussion

1. Activité antibactérienne.....	29
2. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI).....	30
3. Activité antioxydante	30
Discussion	31
Conclusion.....	Error! Bookmark not defined.
Références bibliographiques.....	34

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 1	les formes des cyanobactéries	3
Figure 2	les types des cellules des cyanobactéries H (hétérocyste), K (Akinète)	4
Figure 3	Arbre phylogénétique basé sur 21 protéines conservées comprenant les plus récents changements dans la classification des cyanobactéries	12
Figure 4	Système biologique de défense antioxydante	13
Figure 5	Les antioxydants enzymatiques et non enzymatiques	14
Figure 6	Schématisation des molécules intervenant dans la production cellulaire	17
Figure 7	Structures chimiques et importance des polyphénols :(A) acide cinamique, (B) acide hydroxybenzoïque, (C) flavonoïdes, (D) lignanes et (E) tocophérols obtenus à partir de différentes cyanobactéries et algues	23
Figure 8	Observation microscopique de <i>Cyanobium</i> sp.	25
Figure 9	Observation microscopique de <i>Pseudanabaena</i> sp.	25
Figure 10	Illustration de la méthode d'antibiogramme	27
Figure 11	Equation du radical DPPH transformé en DPPHH	28
Figure 12	Activité antibactérienne des extraits organiques des souches de cyanobactéries vis-à-vis <i>S. aureus</i> clinique	29
Figure 13	La lecture du résultat de la concentration minimale inhibitrice .	30
Figure 14	Activité antioxydante de l'extrait méthanolique de la souche <i>Pseudanabaena</i> sp.	31
Figure 15	Activité antioxydante de l'extrait méthanolique de la souche <i>Cyanobium</i> sp. S2	31

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 1	Classification des cyanobactéries selon les systèmes bactériologiques (I.C.N) et botaniques (I.C.B.N)	10
Tableau 2	Différents systèmes enzymatiques d'antioxydants et leurs principales propriétés	15
Tableau 3	Systèmes antioxydants endogènes et leurs fonctions	16
Tableau 4	Composés bioactive importants isolés des cyanobactéries	21

Liste des abréviations

N₂ : Diazote

I. C. B. N.: International code of Botanical Nomenclature

I.C.N. B.: International conference of Nanotechnology and Biosensors

SOD: Superoxyde Dismutase

GPx : Glutathion Peroxydase

ERO : Espèces Réactives de l'oxygène

ROS : Reactive Oxygene Species

H₂O₂ : Peroxyde Hydrogène

GSH : Glutathion

GSSG : Glutathion oxydé

CAT : Catalase

HO* : Radical alkonyle

ROO* : Radical peroxyde

HOCl : Acide hypochlorique

UV : Le rayonnement Ultra-Violet

EPS : Exopolysaccharides

DPPH : Diphenyl-picrylhydrazyle

BMH : Bouillon Muller-Hinton

DMSO : Diméthylsulfoxyde

CMI : Concentration Minimale inhibitrice

Résumé

Les cyanobactéries sont un groupe diversifié des bactéries photosynthétiques présentes dans les habitats marins, d'eau douce et terrestre. Cette étude consiste à évaluer les activités antibactérienne et antioxydante des extraits organiques obtenus à partir des trois souches de cyanobactéries : *Pseudomonas* sp., *Cyanobium* sp. S1 et *Cyanobium* sp. S2.

L'activité antibactérienne a été déterminée sur cinq souches bactériennes selon la méthode de diffusion des disques. Les résultats ont montré une activité de l'extrait méthanolique de la souche *Cyanobium* sp. S2 vis-à-vis d'une souche clinique de *S. aureus* et une CMI de 6 (mg/ml). L'activité antioxydante évaluée en utilisant la méthode de piégeage radical de DPPH a montré que les extraits des souches *Pseudomonas* sp. et *Cyanobium* sp. S2 présentent un pouvoir antioxydant considérable avec des EC50 de 13.78mg/ml et 46.29mg/ml.

Mot clés : activité antibactérienne, activité antioxydante, extraits organiques, cyanobactéries

Abstract

Cyanobacteria are a diverse group of photosynthetic bacteria found in marine, freshwater and terrestrial habitats. This study consists in evaluating the antibacterial and antioxidant activities of organic extracts obtained from three strains of cyanobacteria: *Pseudanabaena* sp., *Cyanobium* sp. S1 and *Cyanobium* sp. S2. The antibacterial activity was determined on five bacterial strains according to the disc diffusion method. The results showed activity of the methanolic extract of the *Cyanobium* sp. S2 strain. Against a clinical strain of *S. aureus* and an MIC of 6 mg/ml. Antioxidant activity evaluated using the DPPH radical scavenging method showed that extracts of *Pseudanabaena* sp. and *Cyanobium* sp. S2 exhibit considerable antioxidants power with EC50 values of 13,78 mg/ml and 46,29 mg/ml.

Keywords: Antibacterial Activity, Antioxidant Activities, organic extracts, Cyanobacteria.

الملخص:

إن البكتيريا الزرقاء هي مجموعة متنوعة من بكتيريا التركيب الضوئي الموجودة في الأماكن البحرية و المياه العذبة و الأرضية.

تتكون هذه الدراسة من تقييم الأنشطة المضادة للبكتيريا و مضادات الأكسدة للمستخلصات العضوية التي تم الحصول عليها من ثلاث سلالات من البكتيريا الزرقاء *Pseudanabaena* sp., *Cyanobium* sp. S1 و *Cyanobium* sp. S2 تم تحديد النشاط المضاد للبكتيريا على خمس سلالات بكتيرية وفقا لطريقة انتشار القرص. أظهرت النتائج فعالية المستخلص الميثانولي لسلالة *Cyanobium* sp. S2 ضد سلالة سريرييه *S. aureus* و التركيز الأصغر المثبط 6 مل/م < غ النشاط المضاد للأكسدة تم تقييمه باستعمال طريقة مسح قوي للجذور ل DPPH اظهر إن مستخلصات السلالات *Pseudanabaena* sp., *Cyanobium* sp. S2 تمثل قدرة كبيرة للأكسدة مع EC 50 بقيم 13,78 و 46,29.

الكلمات المفتاحية : النشاط المضاد للبكتيريا, الأنشطة المضادة للأكسدة, المستخلصات العضوية, البكتيريا الزرقاء.



Introduction

Introduction

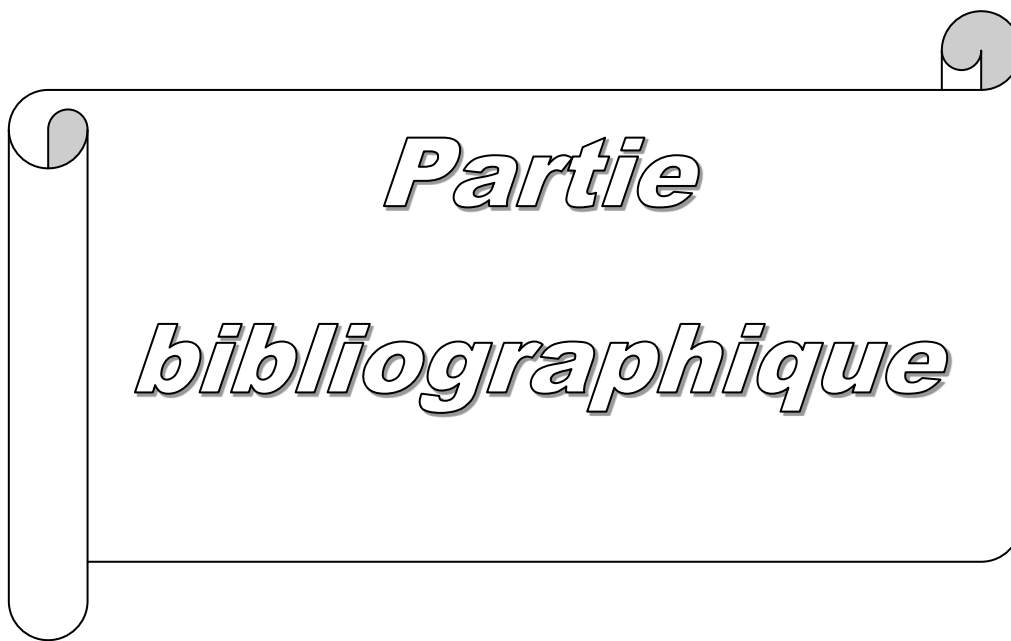
Les cyanobactéries appelées autrefois algues bleues vert sont des procaryotes photosynthétique (**Oufdou et Oudra, 2009**). L'activité photosynthétique des cyanobactéries dépend de la récolte de l'énergie solaire, absorbée vers d'autres formes d'énergies pour la production d'aliments et des métabolites (**Mandel et al., 2020 ; Singh et al., 2017**). Les cyanobactéries sont des microorganismes qui vivent un large éventail d'habitats englobent des écosystèmes d'eau douce, marins et terrestre (**Kultshar et Liewellyn, 2016**). Morphologiquement les cyanobactéries peuvent être unicellulaires ou filamenteuse et avoir des formes sphériques, en bâtonnet et en spirale (**Kultshar et Liewellyn, 2016**). Étant donné le large éventail d'activités associées aux cyanobactéries particulièrement antioxydante et antimicrobienne (**Bouallegue et Araar, 2021**). Le travail vise à étudier des substances bioactives produites par des cyanobactéries. L'objectif de notre travail :

- Étudier l'activité antibactérienne des cyanobactéries.
- L'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait méthanolique vis-à-vis des radicaux libres en utilisant la méthode de DPPH.

Notre travail sera présenté plusieurs parties :

- Partie bibliographique: le premier chapitre est consacré aux généralités et aux caractéristiques des cyanobactéries ; le deuxième chapitre sur la classification morphologiques et modernes des cyanobactéries ; le troisième chapitre sur l'activité antioxydante des cyanobactéries et le quatrième chapitre sur les composés bioactifs des cyanobactéries.
- La deuxième partie de notre étude décrit le matériel biologique utilisé et les méthodes d'études utilisées lors du travail expérimental.
- La troisième partie de ce mémoire expose l'ensemble des résultats obtenus et la discussion.

Le mémoire se termine par une conclusion qui présente la synthèse globale des chapitres et résume les résultats obtenus.



Partie

bibliographique



Chapitre 1.

Les cyanobactéries

1. Généralité sur les cyanobactéries

Les cyanobactéries (algues bleues-vert, cyanophycées, oxyphotobactéries) (**Mechaala et Bendjeddou, 2016**) sont des micro-organismes aquatiques aux propriétés similaires aux bactéries et aux algues (**Bouchareb, 2016**).

Ce sont les seuls organismes procaryotes appartenant au groupe des bactéries à Gram négatif capables de photosynthèse oxygénée produisant de l'oxygène et capables de produire des substances carbonées par photosynthèse (**Mechaala et Bendjeddou, 2016 ; Bouallegue et Araar, 2021**).

Les algues bleues ont joué un rôle important dans l'évolution de notre planète en créant une atmosphère aérobie sur terre, c'est-à-dire une colonisation oxygénée et rocheuse, et elles constituent les premiers éléments organiques de l'humus qui permettent à d'autres plantes de se développer.

- **Apparition des cyanobactéries**

Les cyanobactéries ou algues bleu-vert, font partie des plus vieux organismes apparus sur terre il y a près de 3,5 milliards d'années. Tandis que des publications plus récentes indiquent que leur apparition s'est faite il y a 2,7 milliards d'années. Cependant, la datation des premières fossiles cyanobactéries est sujette à controverse. Au cours du Précambrien, leur prolifération a joué un rôle essentiel dans la formation d'une atmosphère riche en oxygène. On peut cependant affirmer que l'apparition massive d'oxygène (O₂) dans l'atmosphère a eu lieu il y a 2,4 milliards d'années, grâce à l'activité photosynthétique de cyanobactéries primitives (**Falkouski et Knoll, 2007**).

1.2. Diversités et morphologies des cyanobactéries

1.2.1. Morphologie des cyanobactéries

Les cyanobactéries se présentent sous de nombreuses formes et tailles (Figure 1). Cependant, elles sont classées en trois principaux types d'organisation morphologique : unicellulaire, colonie et multicellulaire filamenteux (**Sidi-Sadegh, 2021**).

- Formes unicellulaires: vivant en solitaires ou en colonies, elles peuvent être de forme sphérique ou ovoïde. Cette collection constitue l'ordre des *Chromococques* (**Arnaout, 2021**).

- Formes coloniales: très diverses, des structures monocouches aux structures amorphes en passant par les formes cubiques, sphériques et linéaires (**Sidi-Sadegh, 2021**).
- Formes filamenteuses : apparaît sous forme de trichomes ou de filaments, linéaires ou hélicoïdaux (**Sidi-Sadegh, 2021**), ce groupe constitue l'ordre des Chamaesiphonales (**Amaout, 2021**).

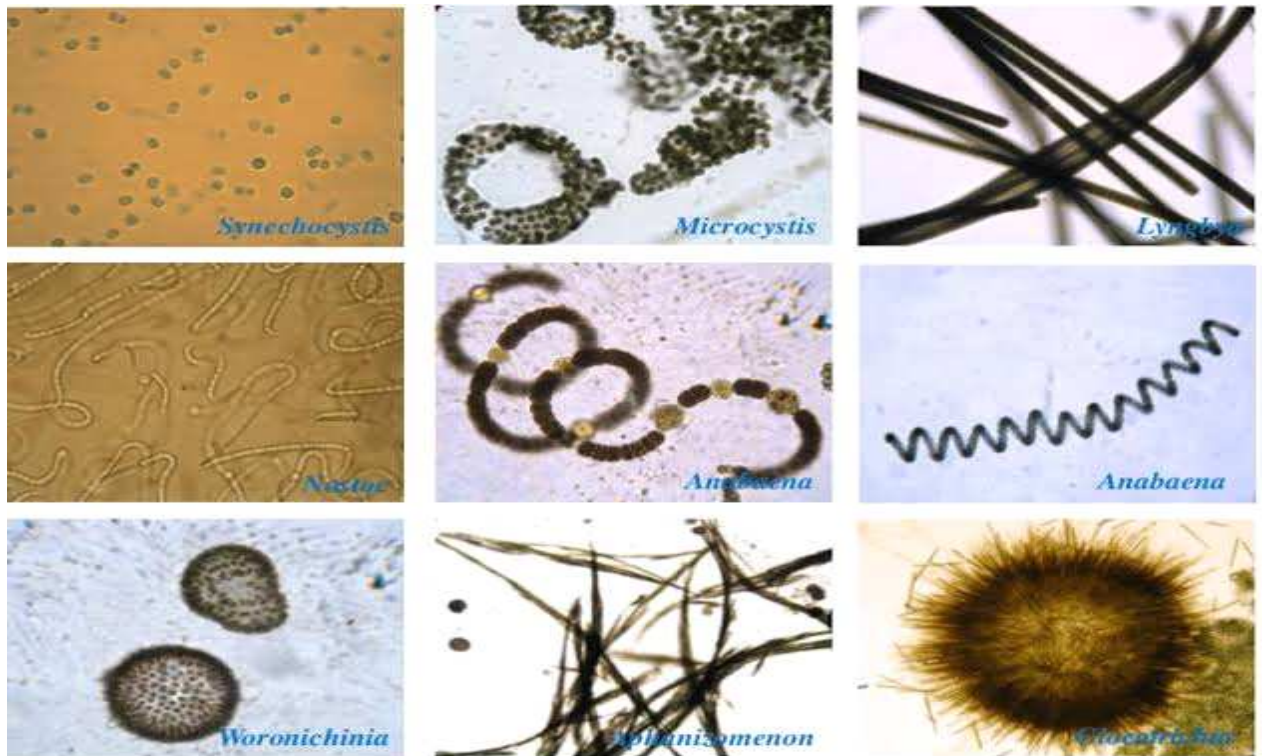


Figure 1. Les formes des cyanobactéries (**Douma et al., 2016**).

Trois types de cellules (Figure 2) peuvent être trouvés dans les cyanobactéries :

- Cellules végétatives : Essences qui composent un individu, elles sont identiques les unes aux autres à quelques exceptions près (**Arnaout, 2021**). En raison du contenu différent des pigments photosynthétiques et des substances de protection solaire, il y a peu de différence dans le contenu et les couleurs sont très diverses (**Sidi-Sadegh, 2021**).
- Cellules hétéromorphes : sphériques, cylindriques ou coniques facilement identifiables en raison de leurs parois épaisses et de leur contenu uniforme de couleur claire (**Arnaout, 2021**). Leur position dans les trichomes est soit

intermédiaire, soit terminale seulement à une ou aux deux extrémités, voire latéralement. Les cellules de ce type, connues sous le nom d'hétérocystes, sont généralement solitaires mais peuvent également apparaître par paires, mais rarement en séries (**Sidi-Sadegh, 2021**). Leur rôle principal est d'assurer la fixation de l'azote dans l'atmosphère et ne se retrouvent que dans les cyanobactéries hormogonales telles que *Nostoc*, *Anabaena* (**Arnaout, 2021**).

- Cellules mobiles : également observées dans certaines formes filamenteuses (**Bouchareb, 2016**), ce sont de grandes cellules aux parois épaisses et riches en réserves de nutriments (**Bouallegue et Araar, 2021**), elles sont capables de résister à des conditions défavorables et de rester viables longtemps, elles se forment lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables, par exemple : faible luminosité, basses températures, changements de PH, faibles concentrations de nutriments et déshydratation (**Rahmani et Hammadi, 2021**). Leur contenu semble être rempli de grosses particules sphériques ou polyédriques (**Ghdjemis et Touati, 2017**).



Figure 2. Les types des cellules des cyanobactéries H (hétérocyste), K (Akinète)
(**Bouallegue et Araar, 2021**)

1.2.2. Pigments photosynthétiques

La réalisation de la photosynthèse implique un groupe de pigments photosynthétiques. Le terme « Pigment » correspond au fait que ces molécules sont colorées par leur capacité à capter certains rayonnements lumineux. Les cyanobactéries synthétisent plusieurs types de pigments qui sont : la chlorophylle a, les caroténoïdes et les phycobiliprotéines ou des pigments accessoires comme la phycoyanine, la phycoérythrine et l'allophycoyanine (**Bouallegue et Araar, 2021**). Les cyanobactéries sont des organismes photosynthétiques oxygéniques avec deux types de centres de réaction, PSI et PSII, dans leur appareil photosynthétique. La capacité de soutenir la croissance photosynthétique en présence d'oxygène et d'utiliser l'eau comme donneur d'électrons pour réduire le CO₂ permet aux cyanobactéries de coloniser un large éventail de niches écologiques (**Bouhadda et al., 2022**).

Une caractéristique importante des cyanobactéries est leur capacité à modifier la composition des pigments protéiques dans le complexe photosynthétique, en leur donnant des couleurs différentes selon la longueur d'onde à laquelle elles se développent (**Ghdjemis et Touati, 2017**). Les pigments photosynthétiques des cyanobactéries sont situés dans les thylakoïdes près de la périphérie du cytoplasme (**Bouhadda et al., 2022**).

1.3. Division et reproduction

Les cyanobactéries se reproduisent de manière asexuée (**Bouchareb, 2016**). Cela peut être soit par simple division binaire, dans laquelle la paroi cellulaire fait saillie dans le protoplaste, et la cellule se divise en deux cellules filles isomorphes asymétriques, soit par plusieurs bourgeonnements ou divisions (**Bouallegue et Arrar, 2021**). Sous forme unicellulaire, il se multiplie par divisions successives de cellule mère libre des monocytes ou de baeocytes (**Bouchareb, 2016**). La propagation des cyanobactéries peut se faire par des cellules solitaires, libérées par plusieurs types d'espèces filamenteuses ou par division des filaments et du thalle. Cependant, le mode de reproduction le plus courant est la fission, formant des segments de trichomes distincts appelés homologues (segments reproducteurs riches en réserves et mobiles). La division cellulaire des cyanobactéries filamenteuses se déroule de la même manière que les granulocytes. Généralement perpendiculaire à l'axe des trichome (**Bouhadda et al., 2022**).

1.4. Écologie

1.4.1. Une bactérie ubiquitaire

Les adaptations permettent aux cyanobactéries de se développer dans de nombreuses niches écologiques. On les trouve principalement en eau douce, mais aussi en milieu saturé et marin en milieu terrestre même dans le désert (**Sidi-Sadegh, 2021**). Les cyanobactéries se développent grâce à la présence minimale d'autres autotrophes (donc peu de compétition), et les cyanobactéries peuvent résister aux cycles de gel/dégel (**Bouallegue et Araar, 2021**). Les cyanobactéries sont également capables d'imposer leur environnement dans des conditions plus extrêmes (**Bouhadda et al., 2022**).

1.4.2. Symbiose

Ce genre *Nostoc* vit souvent en symbiose avec une variété d'organismes, des champignons (formation de lichens), des plantes (avec la famille des Bryophyte), des éponges ou encore des protistes (**Bouallegue et Araar, 2021**). Les cyanobactéries fournissent à ces hôtes de l'azote et du carbone fixés (réciproquement du N₂ et du CO₂) (**Bouhadda et al., 2021**).

1.5. Les conditions de développement

Le développement des cyanobactéries est influencé par une variété de paramètres environnementaux physiques et biologiques (**Bouallegue et Arrar, 2021**). Ils produisent de l'énergie grâce à la photosynthèse, ont une forte demande en nutriments, et nécessitent également certaines factures abiotiques comme le pH et la température et une source de CO₂... etc. (**Lahmer et Messai, 2017**).

1.5.1. Mobilité verticale et horizontale

Certaines espèces de cyanobactéries sont capables de se déplacer verticalement dans la colonne d'eau grâce à leurs bulles gazeuses, qui leur confèrent une certaine flottabilité en utilisant comme ballasts des hydrocarbures protéiques issus de la photosynthèse (**Bouchareb, 2016 ; Mechaala et Bendjedd, 2016**).

1.5.2. Nutriments

Une particularité observée chez plusieurs espèces de cyanobactéries est la capacité de fixer l'azote atmosphérique par l'enzyme « nitrogénase » dans les hétérocystes. L'azote gazeux est le principal atout pour la croissance cellulaire (**Bouallegue et Araar, 2021**). Les cyanobactéries ont la capacité d'accumuler des réserves de nutriments, notamment de l'azote sous forme de cyanobactéries et des réserves de phosphore sous forme de particules de polyphosphate (**Bouhadda et al., 2022**). La plupart des cyanobactéries ont également la capacité de stocker le phosphore de manière intracellulaire (**Bouallegue et Araar, 2021**).

1.5.3. Température

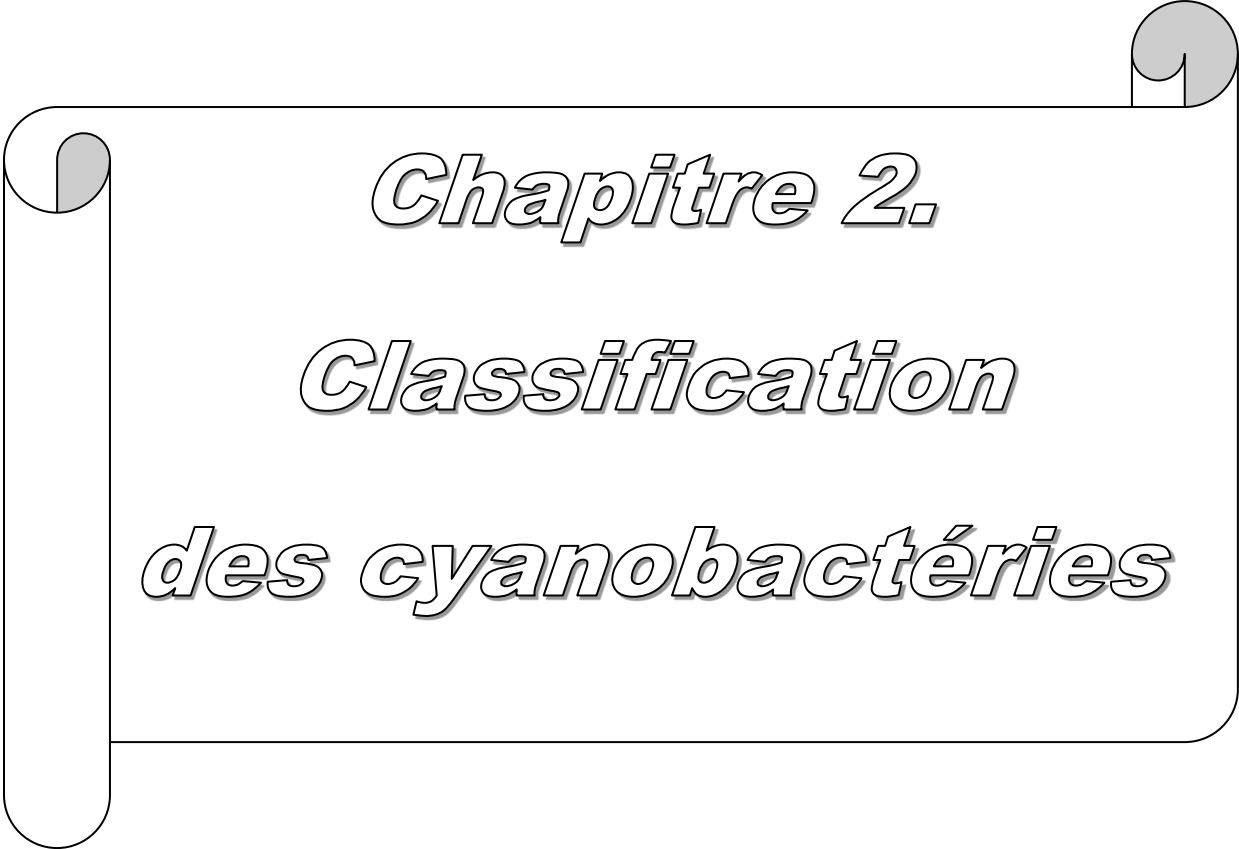
La température est l'un des facteurs les plus importants permettant l'émergence d'une espèce donnée (**Ghadjemis et Touati, 2017**), et selon Robartes et Zohary (1987), le taux de croissance maximal de la plupart des cyanobactéries est atteint à des températures supérieures à 25 °C. Bien que ces températures optimales soient supérieures à celles des algues vertes et des diatomées, les cyanobactéries sont généralement plus compétitives que les autres algues et se développent plus rapidement que ces dernières (**Bouallegue et Araar, 2021**). Bien qu'ils soient capables de tolérer et de survivre à des températures beaucoup plus basses (**Bouhadda et al., 2022**).

1.5.4. Le pH et source de CO₂

Chaque espèce se développe dans une plage de pH définie, avec une croissance optimale (**Nouasria et al., 2022**). Les cyanobactéries restent stables dans des conditions de pH élevé entre 6-9 et de faibles concentrations de CO₂, par exemple, car elles ont des mécanismes d'absorption (**David et al., 2017**). Contrairement aux algues, les cyanobactéries peuvent utiliser le bicarbonate comme source de carbone inorganique en plus du CO₂, ce qui peut constituer un avantage concurrentiel lorsque le pH est élevé et que le système est axé sur le bicarbonate mais pauvre en CO₂ (**Bouallegue et Araar, 2021**).

1.5.5. Prédation

On pense que les cyanobactéries sont moins prédatées par le zooplancton et les poissons. En effet, en plus de produire des toxines, il peut également conférer un avantage sélectif aux cyanobactéries par rapport aux autres microorganismes autotrophes (**Bouallegue et Araar, 2021**). De plus, ils peuvent également sécréter des composés allélochimiques (**Bouchareb, 2016**). Les algues bleu-vert évitent la prédation du zooplancton en se rassemblant et en étant ingérées (**Bouhadda, 2022**). La croissance est similaire ou inférieure à celle des algues, les pertes par prédation sont faibles ou nulles et la biomasse des cyanobactéries augmente significativement lorsque les conditions leur sont favorables.



Chapitre 2.
Classification
des cyanobactéries

1. Classification des cyanobactéries

Les cyanobactéries sont divers organismes procaryotes, en raison de leurs caractéristiques. Ils sont partagés avec les algues eucaryotes et étaient à l'origine considérés comme un type surtout les microalgues. Pour cette raison et leur composition pigmentée, les cyanobactéries étaient autrefois connues sous le nom d'algues bleu-vert, un terme qui est encore utilisé aujourd'hui, de nombreuses publications sur le sujet (Mehda, 2022).

La taxonomie des cyanobactéries a été révisée à plusieurs reprises (Geitler, 1932 ; Fritch, 1945 ; Star Machine, 1966 ; Drouet, 1968 ; 1978, 1981 ; Burley, 1985 ; Anagnostidis et Komarek, 1988). Actuellement, l'embranchement ne comprend qu'une seule classe, à savoir cyanobactéries, réparties en quatre ordres :

► Les premiers, les **Chroococcales**, regroupent les individus unicellulaires en telles que *Synechococcus*, les colonies de type *Microcystis*, ou ne forment pas. Les vrais filaments, tel que *Jahannesbaptistia*, n'ont donc pas d'interrelations cellulaires réel. Cependant, on peut rencontrer ici des phages présentant une hétéropolarité. Il existe également des cas de différenciation cellulaire de *Chamaesiphon*, tels que *Hyella*.

► Les **Oscillatoriales**, constitue un second ordre. Sous ce nom, unis, Genre filamenteux monoléculaire, non ramifié (vrai ou faux), sans cellules hétéromorphes ou mobiles dont les cellules se divisent perpendiculairement à l'axe le cas des trichomes longitudinaux à Lyngbya.

► Le troisième ordre regroupe sous le nom de **Nostocales**, les formes filamenteuses A des isomorphes, des déménageurs et des homologues comme *Anabaena*, présentant souvent fausses branches, comme *Scytonema*. Les trichomes sont solitaires ou rassemblez-vous dans un mucus commun, tel que *Nostoc*.

► Enfin, les **Stigonématales** forment le quatrième ordre. Les thalles ici dans le cas des *Geitleria* filamenteux, certains peuvent être plurisériés il s'apparente à *Stigonema*, il y a toujours la vraie branche, et parfois, la fausse branche est aussi *Fischerella*. Certains genres sont constitués de nombreux trichomes ramifiés intégrés dans une boue commune semblable aux bactéries épineuses (Amrani, 2016).

• Classification bactériologiques et botanique

La classification selon les codes de la nomenclature botanique est basée sur des critères morphologique (taille des cellules) et physiologiques tels que la composition des pigments, la présence de sacs aériens, la composition du matériel de réserve, la présence de parois cellulaires ou de cellules différenciées, (hétérocystes et /ou akinètes) et les schémas de prolifération.

D'autre part, les codes de nomenclature bactériologique sont basés sur des études comparatives entre des souches stériles cultivées. Cette classification tient compte non seulement des caractéristiques mais aussi physiologiques, biochimiques et génétiques (Alioui *et al.*, 2015).

Tableau 1. Classification des cyanobactéries selon les systèmes bactériologiques (I.C.N.B) et botaniques (I.C.B.N) (Mechaala et Bendjeddou, 2016).

Classification bacteriologique	Classification botanique
Sous-section I Unicellulaires ou coloniales, multiplication par fissions binaire et/ ou formation d'exospores.	Chroococcales Unicellulaires ou coloniales
Sous-section II Unicellulaires ou coloniales, multiplication par fissions multiples (baeocytes) ou en combinaison par fission binaire.	Oscillatoriales Filamenteuses unisériées, non hétérocystées
Sous-section III Filamenteuses unisériées, non hétérocystées, sans ramification, à division cellulaires perpendiculaire à l'axe du trichome.	Nostocales Filamenteuses, pas de ramification vraie, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes)
Sous-section IV Filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), à division cellulaire dans un seul plan.	Stigonematales filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), présentant des ramifications.
Sous-section V Filamenteuses, différenciation cellulaire (hétérocystes et akinètes), présentant des ramifications, à division cellulaire dans plusieurs plans.	

1.1. Classification morphologique

Les cyanobactéries présentent la plus grande diversité morphologique chez les organismes procaryotes. Leur classification taxonomique est principalement basée sur des caractères morphologiques. Selon la taxonomie classique, les cyanobactéries forment un taxon monophylétique qui peut être divisé en 5 groupes (ordres) comprenant environ 150 genres et approximativement 2000 espèces. Les deux premiers groupes, comprenant les cyanobactéries unicellulaires, se différencient par leur mode de division cellulaire : les espèces du groupe I se reproduisent par fission binaire alors que celles du groupe II se divisent par fission multiple. Les groupes III, IV, et V sont constitués des cyanobactéries filamenteuses. Les cyanobactéries formant des filaments simples non ramifiés et sans cellules spécialisées forment le groupe III. Les espèces incluses dans les groupes IV et V possèdent quant à elles des cellules spécialisées (hétérocystes et akinètes) et ont le potentiel de fixer l'azote atmosphérique. Ces deux groupes sont différenciés par la présence de vraies ramifications chez les cyanobactéries du groupe V alors que les espèces du groupe IV n'ont que des fausses ramifications (**Bouhadda *et al.*, 2022**).

1.2. Classification moderne des cyanobactéries

Les classifications moléculaires basées sur l'ADNr 16S sont encore assez controversées et les informations ne sont pas suffisantes pour délimiter l'embranchement des cyanobactéries. La combinaison à la fois des approches moléculaire et morphologique pour la taxonomie moderne des cyanobactéries est donc indispensable. Récemment ont proposé une classification des cyanobactéries organisée en huit ordres (Figure 3). Cette dernière classification repose sur une approche polyphasique faisant appel à des informations moléculaires, biochimiques et microscopiques (**Bouhadda *et al.*, 2022**).

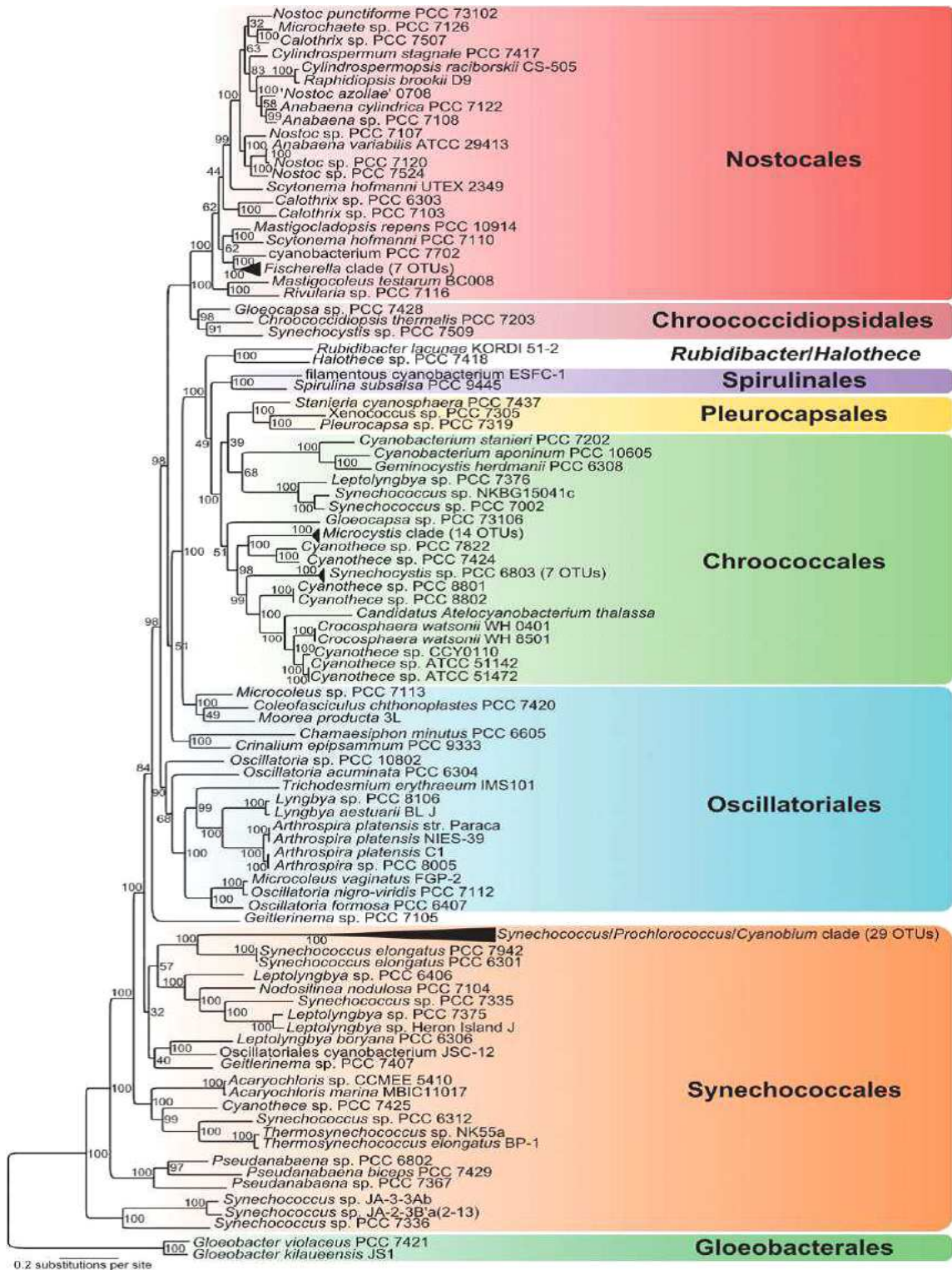
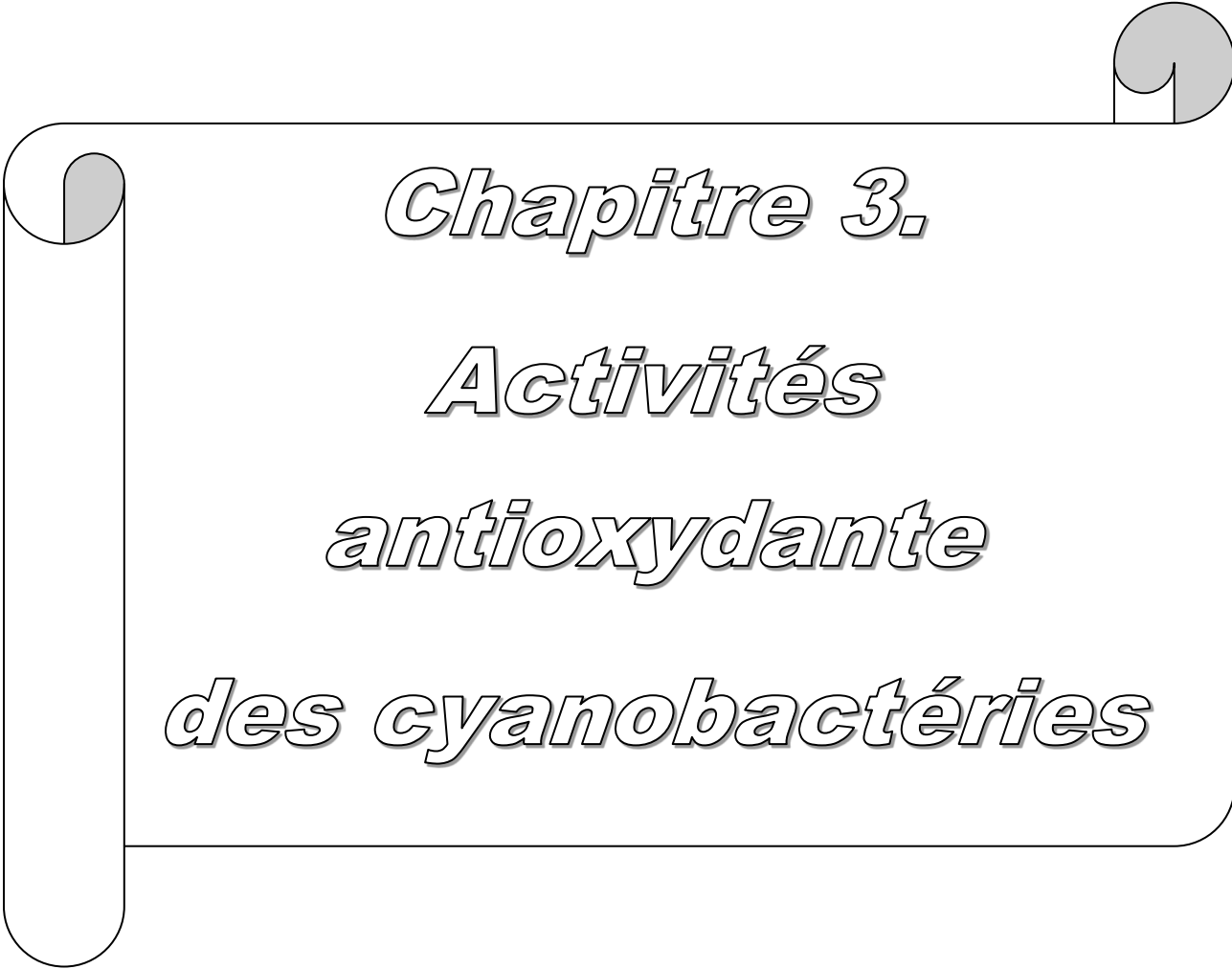


Figure 3. Arbre phylogénétique basé sur 21 protéines conservées comprenant les plus récents changements dans la classification des cyanobactéries (Komárek *et al.*, 2014)



Chapitre 3.

Activités

antioxydante

des cyanobactéries

1. Définition d'un antioxydant

Un antioxydant est défini comme une substance ajoutée à faible dose à un produit naturellement oxydable à l'aire, est capable de ralentir ou d'inhiber le phénomène d'oxydation. Cette définition peut être élargie et le terme "antioxydant" englobe ainsi toutes les substances qui protègent les systèmes biologiques contre les effets délétères potentiels des processus ou réactions qui en engendrent une oxydation excessive (**Benyekkau et Djani, 2016**). Les antioxydants sont des composés qui protègent les cellules du corps des dommages causés par radicaux libres (**Benyekkau et Djani, 2016**). Les antioxydants arrêtent la réaction. la plupart du temps par ce que la structure des antioxydants est relativement stable (**Kardache et khouldi, 2016**).

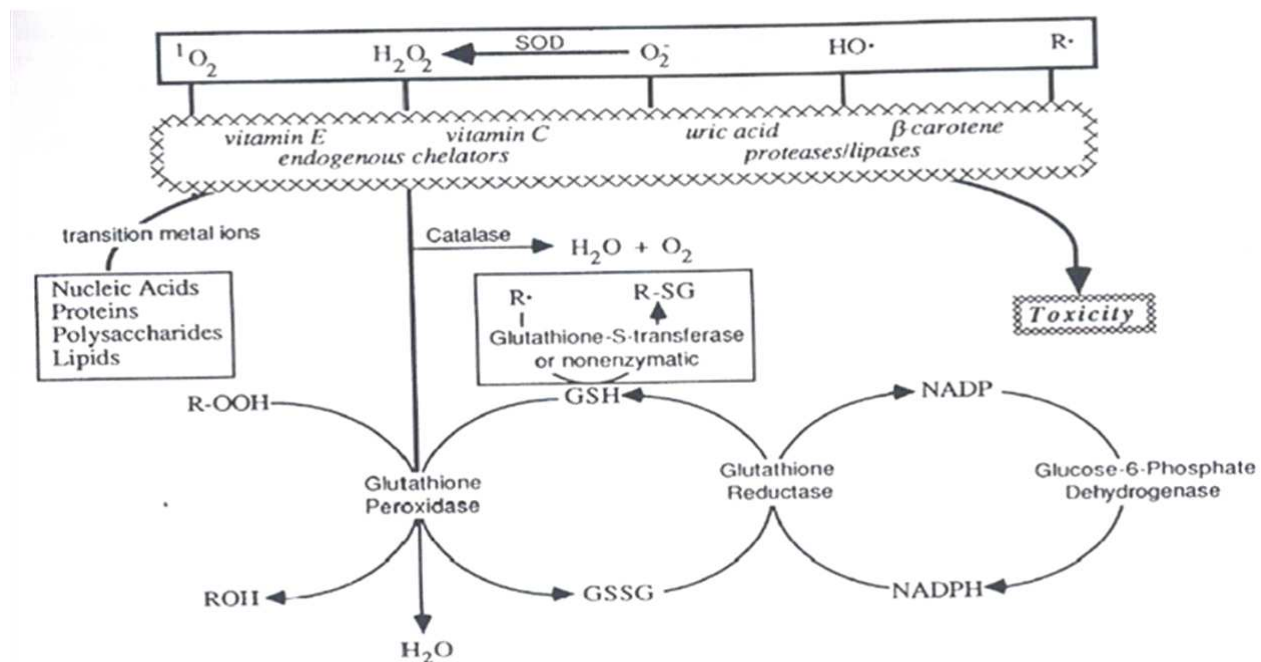


Figure 4. Systèmes biologiques de défenses anti-oxydantes. Les cellules contiennent un spectre d'antioxydants chimiques et enzymatiques qui travaillent de concert pour minimiser les réactions oxydatives dans la cellule (**Kehrer, 1993**).

2. Les types des antioxydants

Les systèmes antioxydants peuvent être classés selon leur mode d'action, leur localisation cellulaire et leur origine (Laraba *et al.*, 2016). On distingue au niveau de cellules deux lignes de défense inégalement puissantes pour détoxifier la cellule : endogènes et exogènes.

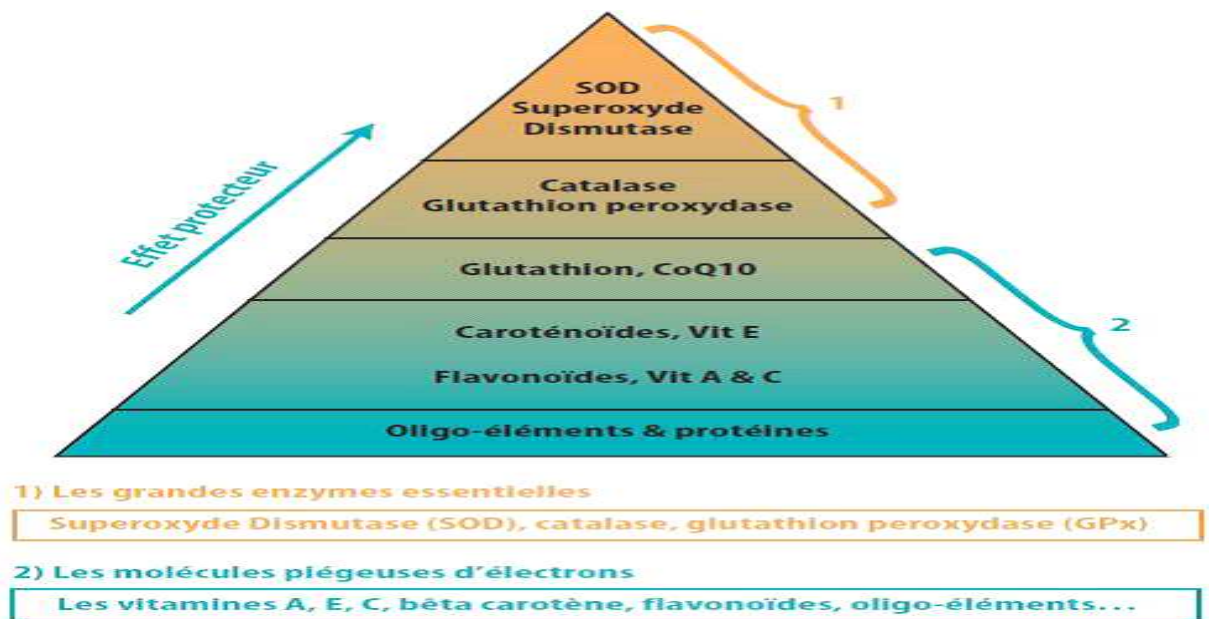


Figure 5. Les antioxydants enzymatiques et non enzymatiques (Menvielle – Bourg, 2006)

2.1. Antioxydants endogènes

L'organisme humain possède un système enzymatique, constitué principalement de trois enzymes: le superoxyde dismutase (SOD), la catalase et la glutathion peroxydase (GPx) (Kardache et Khouldi, 2016). Leurs activités et leurs localisations dans la cellule sont complémentaires et assurent l'élimination des anciens superoxydes et du peroxyde d'hydrogène dans tous les compartiments intracellulaire (Tableau 2) (Laraba *et al.*, 2016).

Le système antioxydant non enzymatique endogène comprend de nombreux thiols dont la plupart sont du glutathion, principalement sous forme réduite, qui peut réagir avec les radicaux libres, R, R 1, in vitro, et lutter contre les atomes de carbone. Le glutathion est également impliqué dans l'activité enzymatique qui détoxifie le peroxyde d'hydrogène et d'autres hydroperoxydes (Tableau 2) (Bernard, 2012).

Tableau 2. Différents systèmes enzymatiques d'antioxydants et leurs principales propriétés.

Système enzymatique d'antioxydant	Propriété	Référence
Superoxyde dismutase (SOD) (EC 1.15.1.1)	Elle catalyse la dismutation des ions superoxydes en peroxyde d'hydrogène moléculaire.	Papa <i>et al.</i> (2014); Ighodaro et Akinloye (2018)
Catalase (CAT) (EC 1.11.1.6)	Elle transforme le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire.	Bonnefont-Rousselot et Collin (2010); Ighodaro et Akinloye (2018)
Glutathion peroxydase (GPx) (EC 1.11.1.9)	Elle détoxifie le peroxyde d'hydrogène et d'autres hydroperoxydes d'origine lipidique.	Lobo <i>et al.</i> (2010); Jacquot (2013); Lonn <i>et al.</i> (2012)
Autres systèmes comme la glutathion réductase ; la thioredoxine réductase et la glutathion transférase		Lobo <i>et al.</i> (2010)

Tableau 3. Systèmes antioxydants endogènes et leurs fonctions.

Antioxydant	Fonction	Références
Glutathion	<ul style="list-style-type: none"> • Il intervient dans la détoxification des xénobiotiques. • Il se débarrasse des toxines et des polluants indésirables (métaux lourds, médicaments, solvants et pesticides). 	Beaudeau et Geneviève (2011)
Acide lipoïque	<ul style="list-style-type: none"> • Il piège des E.R.O. • Il régénère des antioxydants endogènes et exogènes tels que le glutathion, la vitamine C et E. • Il chélate les des métaux de transition tels que le fer et le cuivre. 	Valko <i>et al.</i> (2006) Kurutas, (2016)
Bilirubine	<ul style="list-style-type: none"> • Elle est capable de piéger les et l'oxygènes singulet. • Ainsi, elle protège l'albumine et les acides gras liés à l'albumine vis-à-vis les attaques radicalaires. 	Haleng <i>et al.</i> (2007) ; Kurutas, (2016)
Acide urique	<ul style="list-style-type: none"> • Il piège le HO*,ROO*,HOCl*, 1O₂. • Il peut également régénérer d'autres antioxydants tels que les vitamines C et E. 	David (2015) ; Kurutas (2016)

2.2. Antioxydants exogènes

Nos compartiments alimentaires jouent un rôle important dans la capacité de l'organisme à lutter contre les effets néfastes du stress oxydatif, et la recherche a mis en évidence les effets bénéfiques d'une alimentation riche en fruits et légumes. De nombreuses molécules de notre alimentation : vitamines, nutriments, composés phénoliques, flavonoïdes, caroténoïdes, etc. sont considérées comme des antioxydants (Desmier, 2016).

3. Les mécanismes d'action des antioxydants

Un oxydant peut agir par des mécanismes bien plus diversifiés que la réduction directe des espèces réactives de stress oxydant (Olviens, 2020). Les principaux mécanismes d'activité antioxydante sont:

- Le piégeage direct des espèces réactives de l'oxygène (ERO) qui distingue alors deux grands groupes de molécules réactives impliquée dans le stress oxydant: les espèces radicalaire et espèces non radicalaires (Bouchouka, 2016).
- Inhibe les enzymes impliquées dans le stress oxydatif et séquestre les traces de métaux responsables de la génération des ROS (Bessedik et Benikhelf, 2017) par "régulation positive" de la biosynthèse des enzymes antioxydants ou "régulation négative" de la biosynthèse des enzymes prooxydantes et des protéines inflammatoires (Olivier, 2020).
- Protège le système de défense antioxydant (Bessedik et Benikhelf, 2017). Défense antioxydante constituée d'un système enzymatique (catalase, superoxyde dismutase, glutathion peroxydase), de vitamines A, E, C et de polyphénols apportés par les aliments et les plantes (ObameEngoga, 2009).

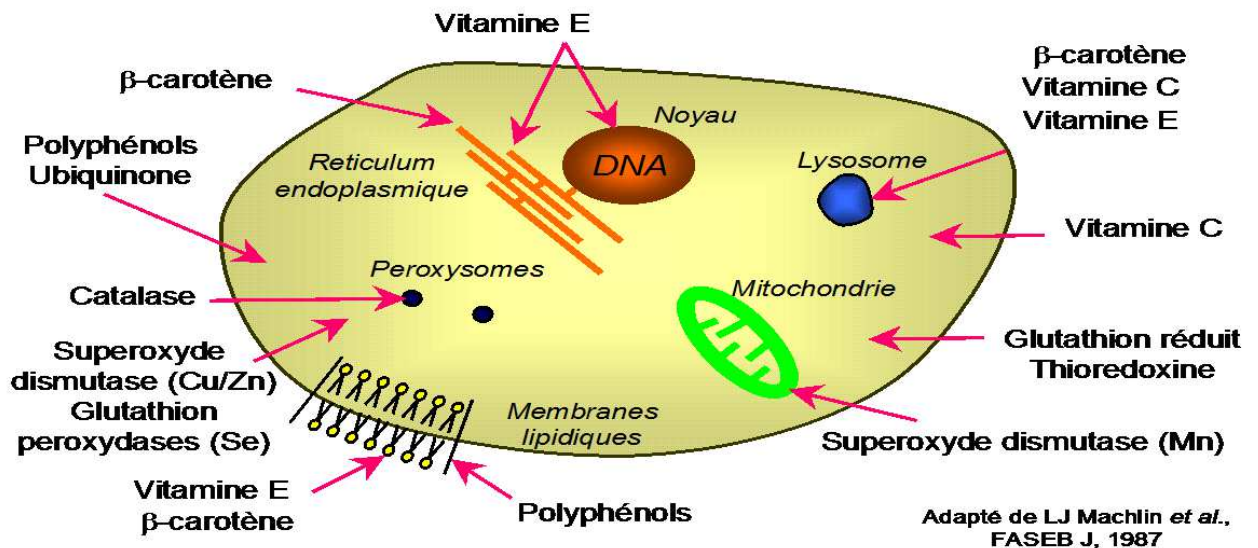


Figure 6. Schématisation des molécules intervenant dans la protection cellulaire (Bernard, 2012).

4. Défense antioxydante

Les cellules ont développé des systèmes enzymatiques complexes qui les protègent des effets néfastes du stress oxydatif (**Vidé, 2015**). Selon la recherche, plusieurs enzymes impliquées dans la défense antioxydante (**Chitibi et Diab, 2016**). Ce sont généralement les protéines les plus puissantes chez les humains et les mammifères, ainsi que chez les plantes (**Bernard, 2012**). Les trois principales enzymes antioxydantes sont la superoxyde dismutase, la glutathion peroxydase et la catalase (**Chitibi et Diab, 2016**).

4.1. Superoxyde dismutase (SOD)

Le superoxyde dismutase ou SOD est un antioxydant enzymatique omniprésent (**Vidé, 2015**), et est une méthylase qui catalyse la dismutation de l'ion superoxyde en peroxyde d'hydrogène et en oxygène moléculaire, à partir de l'équation suivante (**Vidé, 2015; Chitibi et Diab, 2016**).

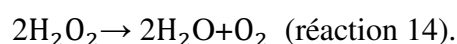
Ils représentent donc la première ligne de défense contre le stress oxydatif en assurant l'élimination de l'anion superoxyde ou ROS (**Vidé, 2015**).

4.2. Glutathion peroxydase

La glutathion peroxydase est une sélénoenzyme tétramère qui peut également réduire H_2O_2 en H_2O et en hydroperoxydes lipidiques organiques en combinant la réaction d'oxydation de l'hydroperoxyde avec l'oxydation du substrat réducteur (**Vidé, 2015; Bernard, 2012**). En utilisant le pouvoir réducteur couplé glutathion/glutathion disulfure (GSH/GSSC) (**Laraba et al., 2016**).

4.3. La catalase

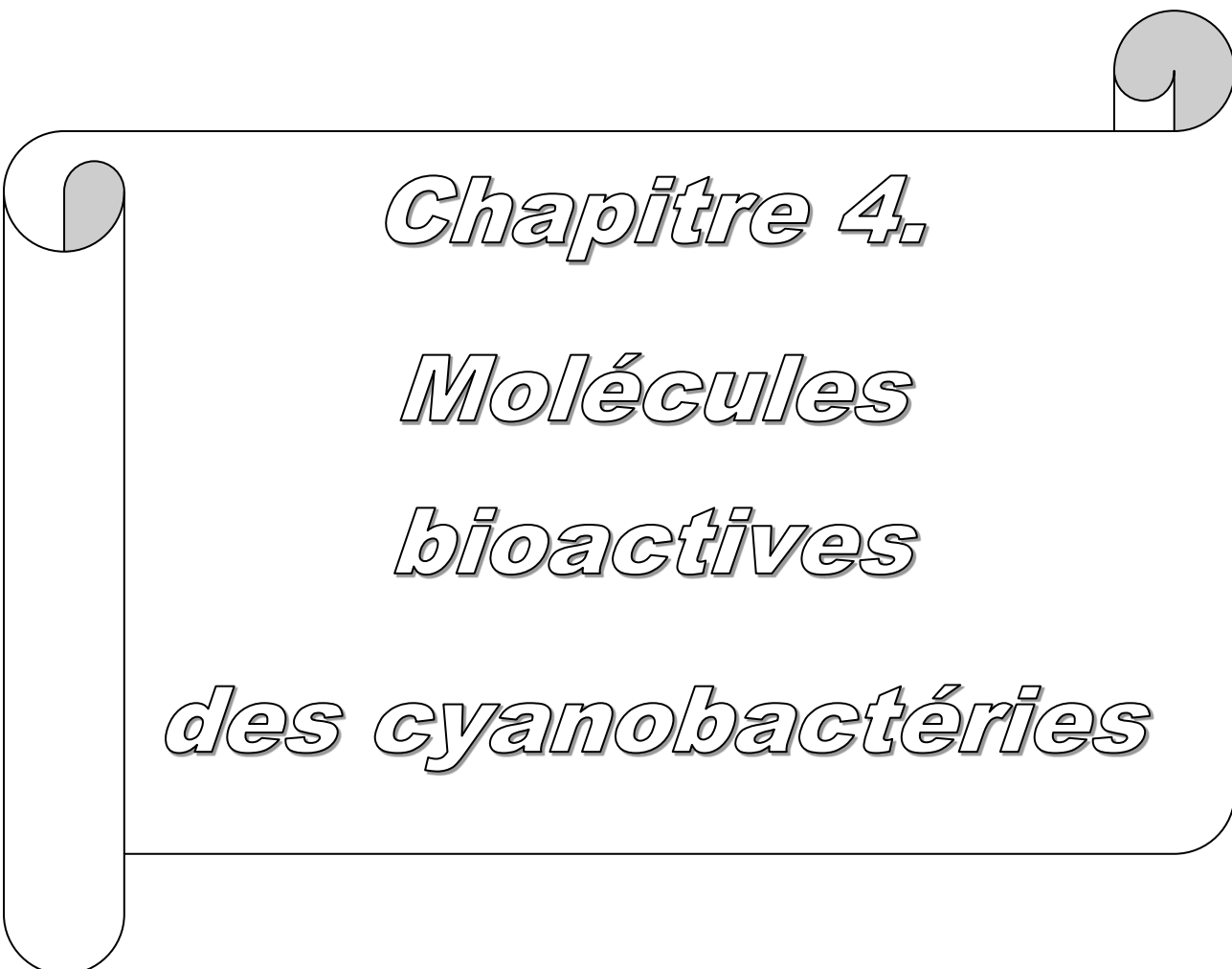
La catalase est une enzyme tétramérique composée de quatre sous-unités identiques, chaque sous-unité de catalase (CAT) contient un groupe fer protoporphyrine qui réagit très efficacement avec pour former de l'eau et de l'oxygène moléculaire (réaction 14), et réagit avec le donneur H (méthanol, éthanol, formique acide, ou phénols) à activité peroxydasique (**Bekakra et Merzoug, 2017**).



Il est principalement localisé dans les peroxomes, mais aussi dans les mitochondries et le cytoplasme (pour les cellules qui ne possèdent cette organelle exemple ; globules rouges) (**Laraba *et al.*, 2016**).

La catalase est une enzyme présente en faible abondance dans le foie, les érythrocytes, les peroxysomes et le cytosol. Elle catalyse la décomposition du H_2O_2 en H_2O et O_2 (**Boussayoud et Chaibeddra, 2021**).

La catalase et la glutathion peroxydase ont des effets protecteurs similaires, mais leurs contributions relatives varient considérablement. La catalase est plus active lorsque les niveaux de stress oxydatif sont élevés ou lorsque la quantité de glutathion peroxydase est limitée, et elle joue un rôle important en aidant à éliminer l'excès de peroxyde d'hydrogène qui empêche la réaction de Fenton de s'amplifier (**Laraba *et al.*, 2016**).

A decorative graphic of a scroll with a white background and a black outline. The scroll is partially unrolled, with the top and bottom edges curving upwards. There are three grey circular elements: one at the top right corner, one at the top left corner, and one at the bottom left corner, representing the binding or the ends of the scroll.

Chapitre 4.

Molécules

bioactives

des cyanobactéries

1. Définition de molécules bioactives

Les cyanobactéries sont une excellente source de produits naturels est un grand nombre de composés bioactive ont été isolés, notamment des produits pharmaceutiques, des enzymes, des colorants, des bioplastiques, des toxines composés. Comme décrit dans la section d'introduction, la plupart des composés bioactive signalés par les cyanobactérie, mais pas tous, sont des alcaloïdes, des amides, des acide gras, des peptides ou des macrolides, et leurs combinaisons (composés phénoliques, les flavonoïdes, les alcaloïdes, stéroïdes) .Ces composés sont synthétisées principalement par la machinerie des synthèse de peptides non ribisomiques seuls quelques-uns sont fabriqués via la voie ribisomiques .Les composés bioactive sont efficaces contre des cellules, des tissus ou des organismes vivants à de très faible concentration dans un mode bénéfiques ou nuisibles et provoquent des effets pharmacologique ou toxicologiques chez les humains et les animaux (**Kumar et al., 2019**).

2. Classification des molécules bioactive

Les composés antimicrobiens:

- Antimicrobiens ont été signalés à partir de cyanobactérie (Tableau4). Cependant, certains de ces composés présentent une cytotoxicité limitant ainsi leur efficacité pour un usage médical, certains composés importants présentant une importance Thérapeutique sont répertoriés (Tableau 4).

- Les cyanobactéries sont une excellente source de produits naturels et un grand nombre de composés bioactifs ont été isolés, notamment des produits pharmaceutiques, des enzymes, des colorants, des bioplastiques, des toxines et divers autres composés. Comme décrit dans la section d'introduction, la plupart des composés bioactifs signalés par les cyanobactéries, mais pas tous, sont des alcaloïdes, des amides, des acides gras, des peptides ou des macrolides, ou leur combinaison. Ces composés sont synthétisés principalement par la machinerie de synthèse de peptides non ribosomiques, seuls quelques-uns sont fabriqués via la voie ribosomique. Les composés bioactifs importants produits par les cyanobactéries comprennent les lipopeptides (40 %), les amides (9 %), les acides aminés (5,6 %), les acides gras (4,2 %) et les macrolides (4,2 %). Ces composés bioactifs sont efficaces contre des cellules, des tissus ou des organismes vivants à de très faibles concentrations dans un mode bénéfique ou nuisible et provoquent des effets pharmacologiques ou toxicologiques chez les humains et les animaux. De brefs détails

sur les différents composés bioactifs sont présents sous des rubriques distinctes (Kumar *et al.*, 2019).

Tableau 4. Les composés bioactifs importants isolés des cyanobactéries.

Composé	Organismes	Activité/ réponses	Références
Muscoride A	<i>Nostoc muscorum</i>	Antibactérien	Nagatsu <i>et al.</i> (1995)
Abiétine	<i>Microcoleus lacustris</i>	Antibactérien	Swain <i>et al.</i> (2017)
Acide coriolique	<i>Oscillatoria redekei</i>	Antibactérien	Swain <i>et al.</i> (2017)
Comnostines	<i>Nostoc</i> Commune	Antibactérien	Swain <i>et al.</i> (2017)
Lyngbyazothrine	<i>Lyngbya</i> sp.	Antibactérien	Swain <i>et al.</i> (2017)
Nostocarboline	<i>Nostoc</i> sp.	Antibactérien	Swain <i>et al.</i> (2017)
Tolytoxine	<i>Scytonema ocellatum</i> , <i>tolypothrix conglutine</i>	Antibactérien	Swain <i>et al.</i> (2017)
Noscomine	<i>Nostoc commune</i>	Antibactérien	Jaki <i>et al.</i> (2000)

3. Quelques substances naturelles d'origine cyanobactérienne aux propriétés antioxydantes

3.1. Les composés phénoliques

Les polyphénols sont le groupe de métabolites secondaires tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes (flavanones, flavonols, chalcones, flavones, flavan-3-ols et flavanonols), les tanins et les lignines. Parmi les différents composés phénoliques, les phlorotanins (huit anneaux flavonoïdes interconnectés) sont le groupe de tanins et de phloroglucinols qui ont été isolés à partir d'algues brunes (15% du poids sec. Ces

fluorotanins auraient des activités antioxydantes dans le système biologique. De plus, les composés phénoliques sont caractérisés comme des composés de stress, qui participent aux mécanismes de défense contre les stress biotiques comme le pâturage, la colonisation des bactéries et les stress abiotiques comme l'irradiation UV et la toxicité des métaux. Les métabolites secondaires ne sont pas directement impliqués dans les processus de croissance, mais certains rapports ont suggéré la participation des phlorotanins dans la régulation des processus de développement des algues brunes. Structurellement, les composés phénoliques ont au moins un cycle phénolique et présentent de fortes activités biologiques lorsqu'ils sont halogénés. Des métabolites comme les phytoalexines, la lignine, les flavonoïdes, les furanocoumarines, les tanins et les anthocyanes sont impliqués dans le système de défense des algues et des cyanobactéries contre les conditions défavorables. De plus, *Microcystis aeruginosa*, une cyanobactérie, s'est avérée avoir des effets inhibiteurs sur la croissance en raison de la présence de polyphénols tels que les acides ellagique et gallique et la catéchine ont montré que les principaux composés du groupe des phlorotanins sont les fucols, les phloréthols, les fucophloréthols, les fuhalols, les phlorotanins halogénés et sulfatés qui ont un grand potentiel sous stress oxydatif et que ces composés sont également capables de guérir les maladies causées par les radicaux libres. De même, d'autres composés phénoliques tels que la catéchine, le gallate d'épigallocatechine, le catéchol, la rutine, la morine, l'acide caféique et l'hespéridine isolés d'algues rouges se sont avérés présenter une activité anti-inflammatoire. Plus tôt, les chercheurs ont montré les propriétés anticancérigènes, antivirales, antibactériennes, antifongiques, anti-inflammatoires et antitumorales des cyanobactéries et des algues qui ont été attribuées à la présence de nouveaux composés tels que les antioxydants, les phycobilines, les phénols, les polysaccharides, les stéroïdes et les trapézoïdes (**Singh et al., 2017**).

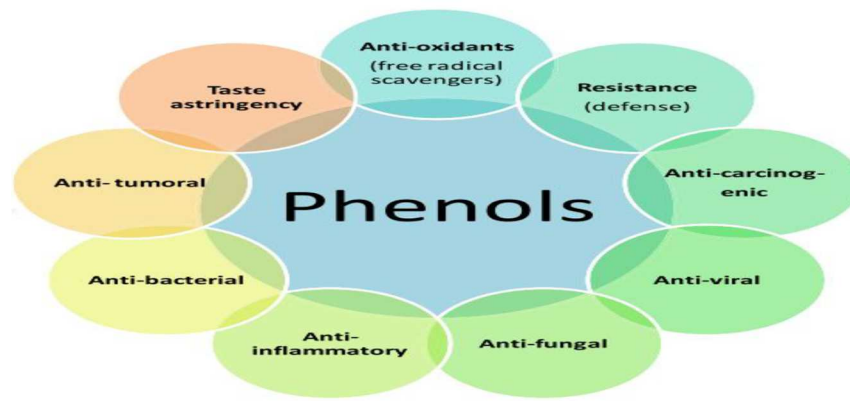


Figure 7. Structures chimiques et importance des polyphénols :(A) acide cinamique, (B) acide hydroxybenzoïque, (C) flavonoïdes, (D) lignanes et (E) tocophérols obtenus à partir de différentes cyanobactéries et algues (Singh *et al*, 2017).

3.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés polyphénoliques largement distribués dans les plantes. Ces métabolismes secondaires peuvent être classés en différentes sous-classe : chalcones, flavanols, flavanols, flavones, isoflavones, flavonols et anthocyanes. Remarquablement, les flavonoïdes végétaux présentent des propriétés antioxydantes, anticancéreuses, antivirales et anti-inflammatoires.

En plus des acides phénoliques, les flavonoïdes sont également des antioxydants importants pour la survie des cyanobactéries. Ces molécules antioxydantes, en particulier la quercertine et la lutine, pourraient faciliter les mécanismes d'acclimatation au sel des *Plectonema boryanum*, *Haplosiphon intricatus*, *Anabaena doliolum* et *Oscillatoria acuta*. D'autre part, l'analyse chromatographique a identifié que le thermophile *Leptolyngbyba* sp. Produit une grande quantité de lutéoline-7-glucoside et de naringénine, ce qui pourrait protéger les cellules des dommages oxydatives dus aux températures élevées. De plus, la naringénine joue non seulement un rôle de puissant piègeur de radicaux libres, mais affecte également la croissance et les fonctions physiologiques des halophyles *Spirulina platensis* et *Arthrospira maxima* et de *Anabaena* sp. En modifiant la paroi cellulaire et la perméabilité de la membrane cellulaire. Ces caractéristiques sont cruciales pour permettre la sécrétion d'exopolysaccharides (EPS) à la surface des cellules cyanobactériennes pour la production contre des conditions environnementales défavorables. Le pouvoir oxydant des flavonoïdes totaux produits par les souches des cyanobactéries suggère que ces composés antioxydants puissants pourraient également

avoir des potentiels pharmacologiques similaires aux flavonoïdes végétaux, tel que néphroprotecteur, neuroprotecteur, anticancéreux et anti-athérosclérotique (**Nandagopal et al, 2021**).

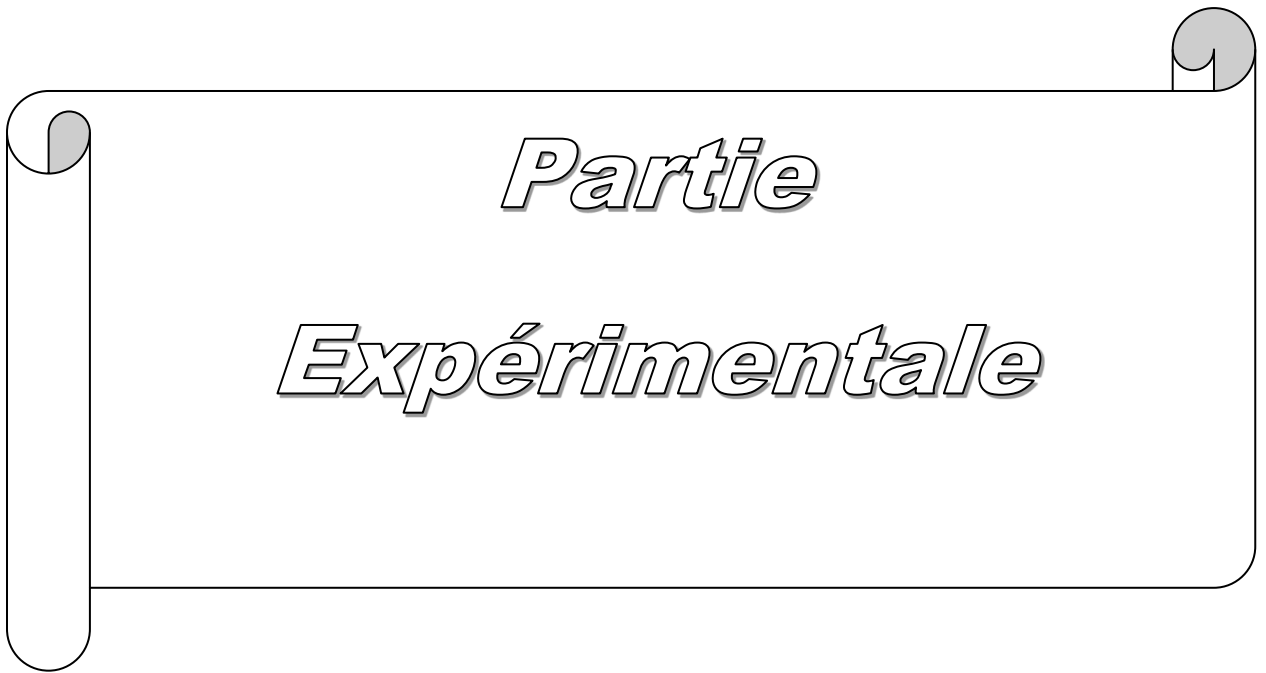
3.3. Les alcaloïdes

Les composés azotés trouvés dans les algues marines sont relativement rares et peuvent être divisés en trois groupes : phényléthylamine alcaloïdes, indoles et alcaloïdes indoliques halogénés et autres alcaloïdes. Structurellement, les alcaloïdes isolés des algues marines pour la plupart appartiennent à des groupes de la phényléthylamine et de l'indole. Les activités biologiques de ces alcaloïdes n'ont pas été pleinement examinées. Les algues marines contiennent des composés hétérocycliques azotés. Parmi eux, les plus intéressants sont l'acide domoïque et l'acide kainique (**Kardacheet Khoualdi, 2016**).

3.4. Les tanins

Les tanins sont des substances polyphénoliques de structure variée, de saveur astringente ayant en commun la propriété de tanner la peau. Cette aptitude est liée à leur propriété de se combiner aux protéines. Leurs poids moléculaires sont compris entre 500 et 3000.

On distingue habituellement deux groupes de tanins différents par leur structure et leur origine biogénétiques : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (**Kardache et Khoualdi, 2016**).



Partie

Expérimentale



Chapitre. 5

Matériel et

Méthodes

1. Matériel

L'objectif de notre travail est l'étude des activités antibactériennes et antioxydantes des extraits organiques de trois souches de cyanobactérie : *Pseudanabaena* sp. *Cyanobium* sp. S1, et *Cyanobium* sp. S2 (Figures 8 et 9).



Figure 8. Observation microscopique de *Cyanobium* sp.

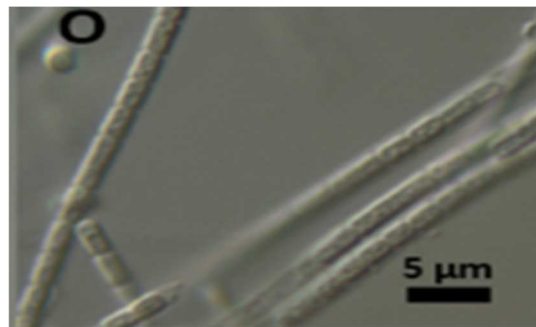


Figure 9. Observation microscopique de *Pseudanabaena* sp.

La partie expérimentale a été réalisée au niveau des laboratoires pédagogiques du Campus Hammam Essalihine de l'Université Abbès Laghrour khenchela.

2. Méthodes

2.1. Préparation des extraits organiques

Les extraits organiques ont été préparés par macération de 10 g de la biomasse de chaque souche de cyanobactéries dans 200 ml du méthanol 80% (V/V) et éthanol 70% (V/V) pendant 72 H sous agitation. Après filtration, les différents extraits ont été séchés à 40°C et conservés à 4°C jusqu'à utilisation.

2.2. Etude de l'activité antibactérienne

2.2.1. Souche bactérienne et inoculum

L'activité antibactérienne des différents extraits a été testé sur les souches suivantes : *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus* sp. et une souche de *S. aureus* clinique.

A partir des cultures de 18-24h, une colonie de chaque souche bactérienne est prélevée avec l'anse de platine puis en mise dans un tube à essai contenant 10 ml d'eau physiologique stérile. La suspension bactérienne est ensuite homogénéisée à l'aide d'un vortex et l'opacité est ajustée à 0,5 Mc Ferland.

2.2.2. Méthode de diffusion en milieu solide

L'évaluation de l'activité antibactérienne a été réalisé par la méthode des puits. La méthode de diffusion en milieu solide Muller-Hinton (MH) a été utilisée pour évaluer l'activité antibactérienne (Figure 10). Ainsi, après ensemencement, des puits de 6 mm de diamètre ont été réalisés avec une pipette Pasteur puis remplis de 100 µl de chaque extrait d'une concentration de 200 mg/ml. Les boîtes ont été ensuite incubées pendant 3 h à 4°C puis à 37°C. La mesure des diamètres des zones d'inhibition entourant les puits contenant les différents extraits a été effectuée après 24 H.

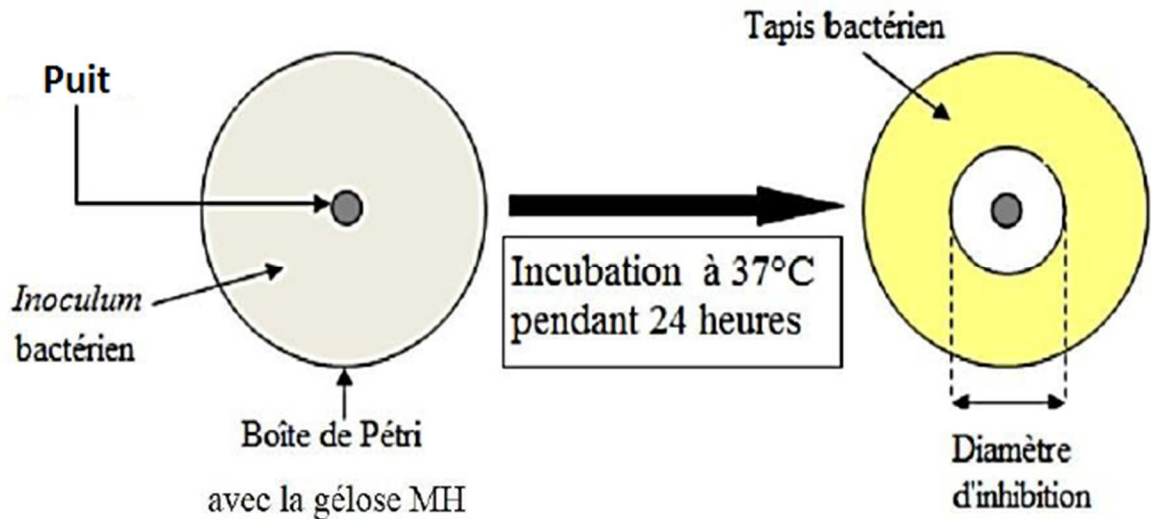


Figure 10. Illustration de la méthode d'antibiogramme (Bessedik et Benikhlef, 2017).

2.2.3. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

Afin de mieux évaluer l'activité antibactérienne, une étude plus poussée a été menée par la détermination des CMI vis-à-vis des souches sensibles aux extraits testés selon la méthode de dilution. La CMI est défini comme étant la plus faible concentration capable d'inhiber toute croissance microbienne visible à l'œil nu.

Un tube à essai contenant 5ml de bouillon Muller-Hinton (BMH) est inoculé avec 100µl de suspension bactérienne, sur lesquels 100 µl de concentrations différentes de l'extrait (200 mg à 0,78 mg) ont été ajoutées. Ensuite et après une incubation à 37°C pendant 24h, la lecture a été effectuée selon la croissance de l'inoculum dans le BMH qui est indiquée par la turbidité de bouillon et la concentration la plus faible de l'extrait qui inhibait la croissance de l'organisme de test a été considérée comme la CMI.

2.3. Etude de l'activité antioxydante

L'évaluation de l'activité antioxydante a été réalisée par le teste de piégeage du radicale 2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle (DPPH).

- **Principe**

Le DPPH est une méthode largement utilisé dans l'analyse de l'activité antioxydante.

En effet, le DPPH se caractérise par sa capacité à produire des radicaux libres stables qui absorbent à 515 nm, le DPPH de couleur violette se réduit en 2,2-Diphényl-1-picrylhydrazine de couleur jaune (Figure 11) cette couleur disparaît rapidement lorsque le DPPH est réduit en diphényl-picryl-hydrazine par un composé à propriété antiradicalaire.

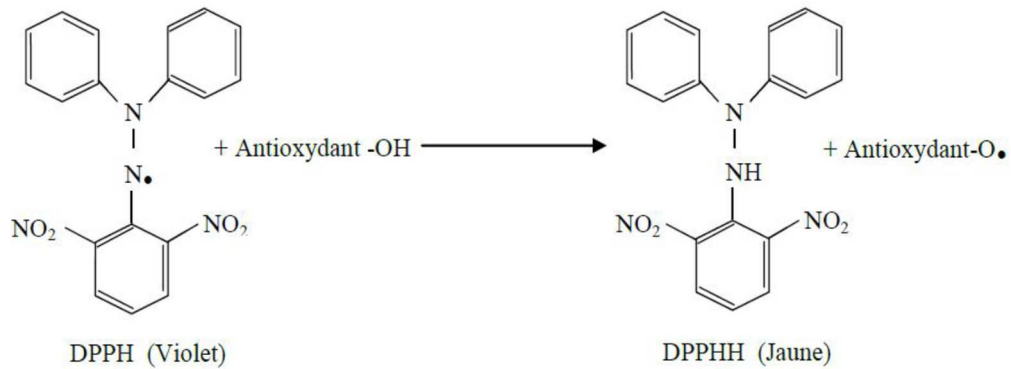


Figure 11. Equation du radical DPPH transformé en DPPHH (Laraba *et al.*, 2016).

- **Mode opératoire**

La solution de DPPH[•] a été préparée en dissolvant 3 mg de ce produit dans 100 ml de méthanol. Ensuite, un mélange de 20 µl de différentes concentrations (200 mg - 0,78 mg) de chaque extrait et 1 ml de la solution de DPPH a été préparé. Après une incubation de 20 min à température ambiante, la lecture des absorbances est effectuée à 515 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (Unico). Trois essais ont été effectués pour chaque test.

Le pourcentage de l'activité antioxydante est calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Activité antioxydante} = 100(A_0 - A_1)/A_0$$

A_0 : absorbance control

A_1 : absorbance échantillon



Chapitre 6.

Résultats et

Discussions

1. Activité antibactérienne

Nous avons étudiée l'activité antibactérienne des extraits préparés à partir de la biomasse de trois souches bactériennes par la méthode des puits sur un milieu gélosé. Ce test a été effectué vis-à-vis de cinq souches bactériennes à Gram + et Gram -. Cette activité est estimée en termes de diamètre de la zone d'inhibition de la croissance bactérienne autour des puits contenant les échantillons à tester.

Finalement, les résultats obtenus ont montré que la souche clinique *S.aureus* est la seule souche de sensibilité modérée à l'extrait organique de *Cyanobium* sp. S2 caractérisée par une zone d'inhibition d'un diamètre de 15 mm. Une faible sensibilité a été également observée avec les extraits de *Pseudanabaena* sp. et *Cyanobium* sp. S1 avec des zones d'inhibition de 10 mm et 12 mm, respectivement (Figure 12).

Les autres souches *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *Bacillus* sp. et *K. pneumoniae*, n'ont pas montré aucune zone d'inhibition.

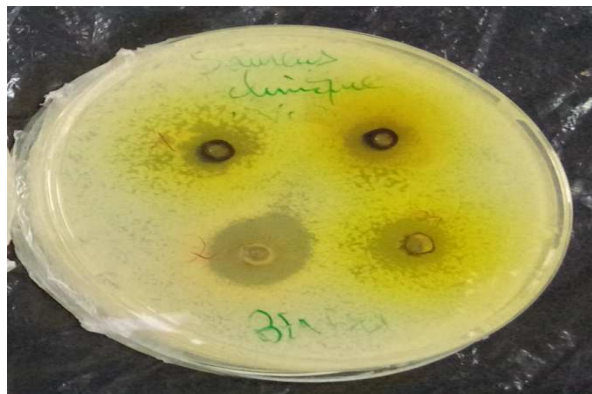


Figure 12. Activité antibactérienne des extraits organiques des souches de cyanobactéries vis-à-vis *S. aureus clinique*.

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les extraits sont dotés d'une activité inhibitrice modérée sur *S. aureus clinique* traduite par des diamètres de la zone d'inhibition de 10,9,7,20 mm et 10 mm,15 et 12 mm respectivement, elle est modérément sensible, alors que les autres souches sont trouvées résistantes. Les résultats qui se présentent ci-après montrent que les extraits ont des activités antibactériennes de degrés variables contre les différentes souches bactériennes testées.

2. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

La concentration minimale inhibitrice est définie comme étant la concentration la plus basse rapportée pour donner une inhibition complète des bactéries testée après 24h d'incubation.

Après la mise en évidence de l'activité antibactérienne de nos extraits par la méthode des puits, nous avons déterminé la CMI en milieu liquide MH relative à l'extrait le plus actif sur les bactéries.

La CMI a été déterminée pour la souche *S. aureus* avec l'extrait de la souche *Cyanobium* sp. S2 qui a donné une valeur égale à 6mg/ml (Figure 13).

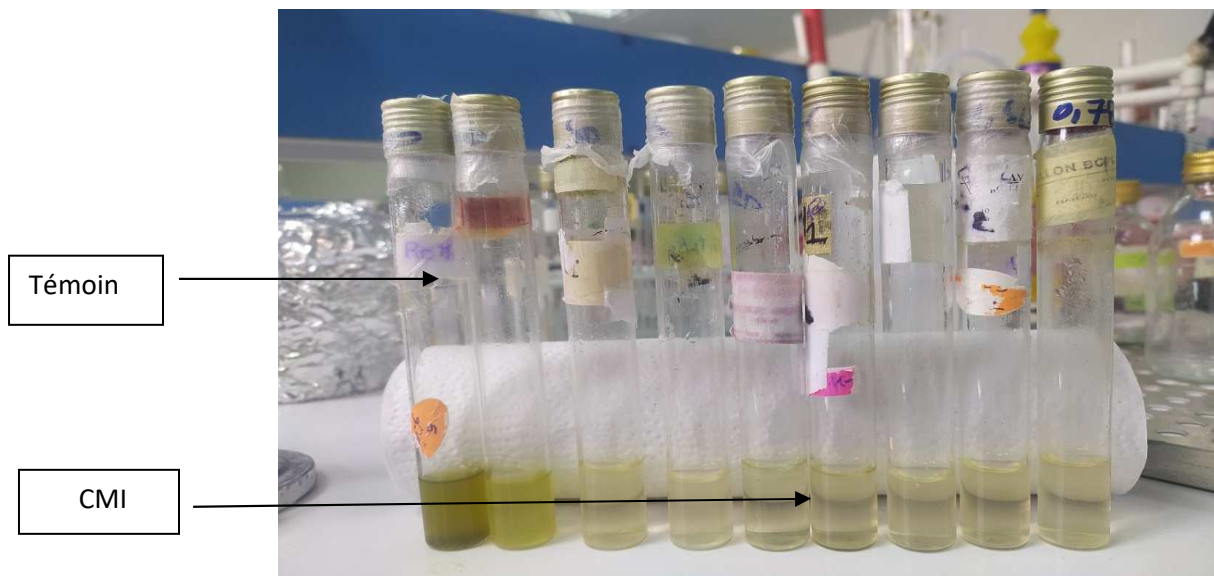


Figure 13. La lecture du résultat de la concentration minimale inhibitrice.

3. Activité antioxydante

La méthode de DPPH est indépendante de la polarité de substrat, elle a été choisie en raison de sa simplicité, rapidité et sensibilité. Cette méthode a été évaluée par le spectrophotomètre en suivant la réduction de ce radical qui s'accompagne par son passage du couleur jaune mesurable à 517 nm.

D'après les résultats présentés dans les figures 14, on a remarqué que le pourcentage d'activité antioxydante est plus élevé pour l'extrait de la souche *Pseudanabaena* sp.

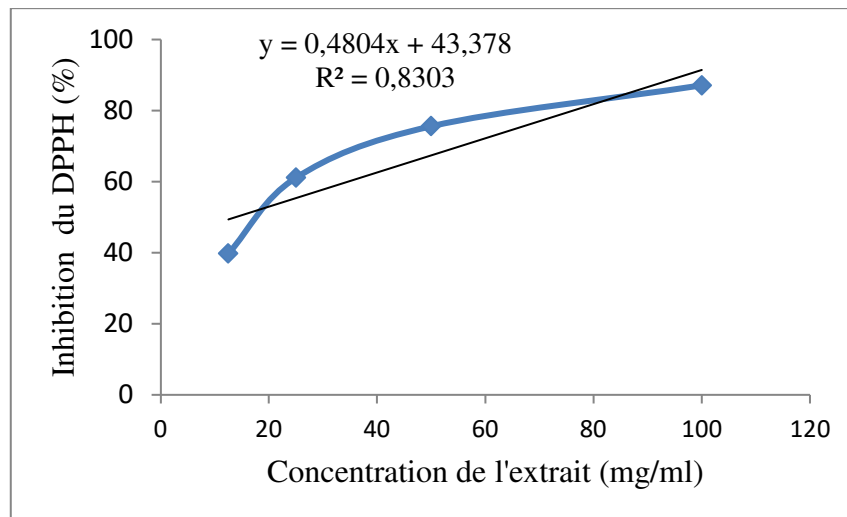


Figure 14. Activité antioxydante de l'extrait méthanolique de la souche *Pseudanabaena* sp.

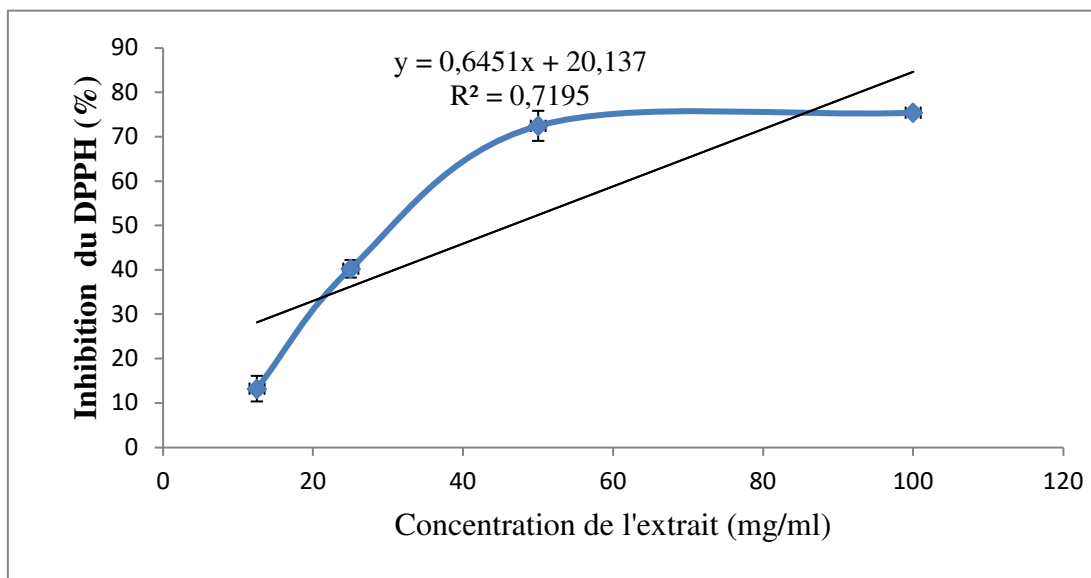


Figure 15. Activité antioxydante de l'extrait méthanolique de la souche *Cyanobium* sp. S2.

4. Discussion

L'objectif de cette étude c'est d'étudier les activités antioxydante et antibactérienne des extraits organiques de trois souches des cyanobactéries.

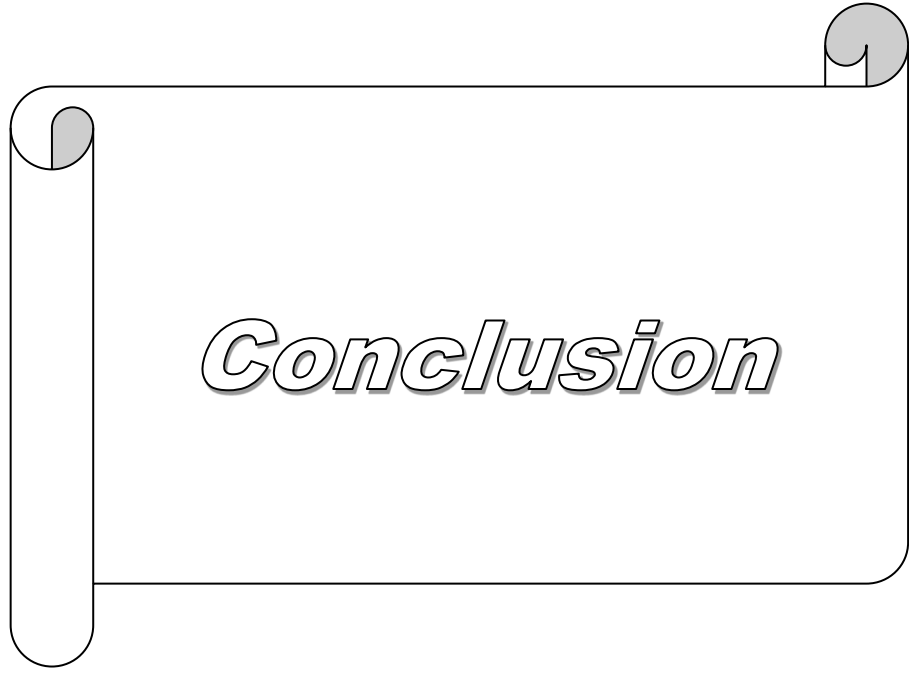
L'activité antibactérienne variait en fonction de l'espèce cyanobactérienne et de type de l'extrait. Des différents extraits cyanobactériens examinés, nous avons constaté que l'extrait méthanolique de la souche *Cyanobium* sp. S2 est le plus active suivi les extraits

éthanoliques qui ont montré une large activité avec la zone d'inhibition la plus élevée enregistrée contre la bactérie Gram positive *S. aureus* clinique, tandis que les autres extraits n'ont présenté aucune activité contre les autres espèces testées. Ces résultats diffèrent des résultats de Malathi *et al.* (2015) qui ont révélé une activité inhibitrice de tous les extraits à l'aide de cinq solvants différents, à savoir respectivement l'eau, le chloroforme, l'acétate d'éthyle, l'hexane et le méthanol sur les souches bactériennes testées *K. pneumoniae*, *B. subtilis* et *S. aureus*.

La sensibilité de la souche de *Staphylococcus* est due à la nature de la paroi cellulaire plus fine qui facilite la pénétration des extraits. La résistance des autres souches *K. pneumoniae*, *Bacillus*, *P. aeruginosa* a été expliquée comme suit : la première cause probablement non affectée par ces solvants (l'extrait méthanolique de *Pseudanabaena* sp. l'extrait méthanolique de *Cyanobium* sp.S1, l'extrait méthanolique de *Cyanobium* sp. S2) et pout cela notre résultat diffère des résultats des autres travaux de Murad *et al.* (2022) qui a utilisé trois solvants (Méthanol, éthanol et acétonique), et la deuxième cause de la résistance des bactéries Gram négative aux extraits testés, qui ont attribué cette résistance aux lipopolysaccharides complexes présents dans la paroi cellulaire des bactéries Gram négative. Ces constituants de la paroi entravent la pénétration des extraits organique. Les résultats ont également dû un changement de perméabilité des membranes vis-à-vis des extraits (Murad *et al.*, 2020).

Ce qui concerne la CMI des extraits organiques, notre résultat étant similaire à certains études et différents par rapport à d'autre. Notre résultat de la CMI est supérieur des résultats du Murad *et al.* (2020) qui ont montré une CMI de 0,1 mg/ml contre *S. aureus*.

Pour l'activité antioxydante des extraits cyanobactériennes, une analyse par la méthode DPPH a été réalisée. Les résultats obtenus diffèrent de ceux obtenus par Lomakool *et al.* (2021) qui a montré 9,16mg/ml pour l'activité de DPPH. Probablement en raison des souches utilisées, *Nostoc* sp. AAR. COO8 et *Phormidium* sp.. Saly et Gehan (2020) ont observé des pourcentages de 6,58 et 34,6% pour l'activité de DPPH. Toujours la principale raison de cette différence est due aux différentes espèces testées, *Anabaena variabilis* (Kutz.), *Nostoc muscorum* (Agardh), *Nostoc linckia* (Bornet), *Oscillatoria acuminata* (Gomont), *O. amphigranulata* (Goor) et *Spirulina platensis*.



Conclusion

Conclusion

Ce travail a pour objectif l'étude des activités antibactérienne et antioxydante des cyanobactéries à partir des extraits méthanoliques de trois souches des cyanobactéries : *Pseudanabaena* sp. *Cyanobium* sp. S1, et *Cyanobium* sp. S2.

L'étude de l'activité antibactérienne des extraits organiques a révélé une sensibilité d'une souche de *S. aureus clinique* pour l'extrait de la souche *Cyanobium* sp. S2 avec une CMI de 6 (mg/ml).

Des activités antioxydantes très importantes ont été enregistré avec les souches *Pseudanabaena* sp. et *Cyanobium* sp. S2 avec des pourcentages de 87,07% à 75,45% à la concentration la plus élevée, 100mg/ml, respectivement. L'EC 50 la plus faible, 13.78mg/ml, a été obtenu avec l'extrait de la souche *Pseudanabaena* sp. Contre 46.29mg/ml pour la souche *Cyanobium* sp. S2.

Références

Bibliographiques

A

- Arnaout M., Bahri A., Dannah (2021). Les cyanobactéries du lac Oubeira (EL Tarf). Mémoire de Master, Microbiologie Appliquée. Université 8 mai 1945, Guelma. 31 p.
- Amrani A. (2016). Impacts écologiques et sanitaires de la prolifération massive des cyanobactéries toxiques sur la faune piscicole et la production aquacole dans le lac Oubeira : Bioaccumulation des cyanotoxines dans les poissons et risques sanitaires associés. Thèse de Doctorat en Toxicologie Fondamentale et Appliquée. Université Badji Mokhtar, Annaba. 124 p.
- Alioui A., Rebai B., Rabahi G. (2015). La recherche des cyanobactéries dans les retenues collinaires de la Wilaya de Guelma. Mémoire de Master. Microbiologie de l'environnement. Université 8 mai 1945, Guelma. 54 p.
- Abu Zaid., Hammad D., Sharaf E. (2015). Activité antioxydante et anticancéreuse des extraits aqueux de *Spirulina platensis*. Journal international de pharmacologie, 11 : 846-851.
- Albrecht M., Proschold T., Schumann R. (2017). Identification of Cyanobacteria in a Eutrophic Coastal Lagoon on the Southern Baltic Coast. Original Research, 8 : 923.

B

- Bouchareb O. (2016). Contribution à la caractérisation des cyanobactéries du lac des oiseaux (wilaya d'EL Tarf, Nord-Est de l'Algérie). Mémoire de Master, Microbiologie Appliquée. Université Abbès Laghrour, Khenchela. 62 p.
- Bouallegue I., Araar A., (2021). Diversité des cyanobactéries. Mémoire de Master, Microbiologie Appliquée. Université Abbès Laghrour, Khenchela. 38 p.
- Bouhadda H., Balouli N., Allaoui I. (2022). Les cyanobactéries toxiques. Mémoire de Master, Microbiologie Appliquée. Université Abbès Laghrour, Khenchela. 40 p.

Références Bibliographiques

- Benyakkou A.T., Djani F. (2019). Etude de l'activité antioxydante de l'algue rouge "*Corallina officinalis*". Mémoire de Master, Nutrition et pathologie. Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem. 37 p.
- Bernard F.L. (2012). Activité antioxydante et caractérisation phénolique du fruit de palmier amazonien *Oenocarpus bataua* (Patawa). Thèse de Doctorat, Santé, Environnement et Sociétés dans les Amériques. Université Des Antilles et de la Guyane. 193 p.
- Bouchouka. E. (2016). Extraction des polyphénols et étude des activités antioxydante et antibactérienne de quelques plants Sahariennes. Thèse de Doctorat, Phytochimie. Université Badji Mokhtar, Annaba. 98 p.
- Bessedik M., Benikhlef M.T. (2017). Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne des extraits phénoliques d'*Opuntia ficus indica* de Tunisie. Mémoire de Master, Biotechnologie Microbienne. Université Moulod Mammeri Tizi-ouzou. 78 p.
- Bonnefont-Rousselot D., Collin F. (2010). Melation: action as antioxidant and potential application in human disease and agigne. *Toxicology*, 278 : 55-67.
- Boussayoud M., Chaibeddra K. (2021). Evaluation de l'activité antioxydante de quelques dérivés ouverts de cromakalim. Mémoire de Master, Chimie pharmaceutique. Université Mohamed Seddik Ben-Yahia, Jijel. 44 p.
- Bekakra M., Merzoug F. (2017). Contribution à l'étude de la phytochimie et biochimique la plante (Larta) *Calligonum comosum* l'her dans la région d'El-Oued. Mémoire de Master, Biochimie Appliquée. Université Elchahid Hamma Lakhdar, EL-Oued. 83 p.
- Beaudeau J.L., Geneviève D., (2011). Biochimie médicale : Marqueurs actuels et perspectives. 2ème édition. Edition Lavoisier Chantal Arpino, p 130- 131.
- Bhaskar K.D., Kumar S. (2020). *In-vitro* Evaluation of antimicrobial and anticancer activity of two diazotropic cyanobacteria from bilaspur chhattisgarh, INDIA. *Plant Archives*, 20 : 2225-2232.

D

- David L., Bernadette P.A., Christiane H., Alessandra G. (2017). Impacts des cyanobactéries et des cyanotoxines sur les étangs l'épuration municipaux et les milieux aquatiques. Poster. Université du Québec. 87 p.
- Desmier T. (2016). Les antioxydants de nos jours : Définition et application. Pharmacie. Limoges. 87 p.
- Davide G.W. (2015). Encyclopedia of Mind Enhancing, Foods, Drugs and Nutritional Substances. Second edition. Edition Mcfarland & Company, Inc, Publishers jeffreson, North Carolina. 166 p.
- Douma. M., Sabour. B., Manaut. N., Hassouani. M. (2016). Cyanotoxins Detection Methods and Control measures. Journal of Materials and Environmental Science, 11 : 4079-4086.

F

- Falkouski P.G., Knoll A.H. (2007). Evolution of primary producers in the sea. China : Elsevier Academic Press.

G

- Ghadjemis B., Touati A. (2017). Distribution et Dynamique temporelle des cyanobactéries du réservoir Cheffia. Wilaya d'EL Tarf. Mémoire de Master, Microbiologie. Université Abbès Laghrour, Khenchela. 46 p.

H

- Haleng J., Pincemail J., Defraigne J.O., Charlier C., Chapelle J.P. (2007). Le stress oxydant. Revue Médicale de Liège, 62 : 628–638.

I

- Ighodaro O.M., akimolye O.A. (2018). First line defense antioxidants superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPx): their fundamental role in the entire antioxidant defense gride. Alexandria. Journal of Medicine 54 : 287-293.

J

- Jacqout J.P., Dietz K.I., Rouhier N., Meux E., Lallement P.A., Selles B., Hecker A. (2013). Redox regulation in plants glutathione and "reaoxèn" related families. In: Oxidative stress and redox regulation Springer science Business Media Dordrecht, PP: 213-291.
- Jaki B., Orjala J., Heilmann J., Linden A., Volger B., Sticher O. (2000). Nouveaux diterpénoides extracellulaires à activité biologique de la cyanobactérie commune de Nostoc. J. Nat. Prod., 63 : 339-343.

K

- Komárek J. (2014). Phenotypic and ecological diversity of freshwater coccoidcyanobacteria from maritime Antarctica and Islands of NW Weddell Sea. II. Jiří Komárek. Czech Polar Reports, 4 : 17–39.
- Kurutas E.B. (2016). The importance of antioxidants which play the role in cellular response against oxidative/nitrosative stress: current state. Nutrition Journal, 15 : 71.
- Kardache A., Khouldi Y. (2016). Etude des activités antioxydante, antibactériennes et antifongique d'extraits d'algues marine d'origine Algérienne. Mémoire de Master, Microbiologie. Des Frères Mentouri, Constantine. 49 p.
- Kehrer J.P. (1993). Free radicals as mediators of tissue injury and disease. Citicat Reviews in Toxicology, 23: 21-48.
- Kumar J., Singh D., Tyagit M.B., Kumar A. (2019). Cyanobactéries : Applications in biotechnology. Elsevier. Chapitre 16, 329-330.
- Kultshar B., Liewellyn C. (2018). Métabolites secondaires dans les cyanobactéries. IntechOpen. Chapitre 2, 24-25.

L

- Lahmer N., Missai S. (2017). Etude phytochimique et biologiques des extraits aqueux et méthanoliques de écorces des racines du *Zizyphus lotus* (L). Mémoire

Références Bibliographiques

- de Master, Biochimie/ Biochimie Moléculaire et santé. Université Des Frères Mentouri, Constantine. 60 p.
- Laraba M., Serrat A., Ouassaa G. (2016). Etude in vitro de l'activité antioxydante des polyphénols isolés à partir d'une plante médicinale. Mémoire de Master, Toxicologie et santé. Université des frères Mentouri, Constantine. 56 p.
 - Lobo V., Patil A., Phatok A., chandra N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional food: Impact on human health. *Pharmacognosy Review*, 4 : 118-126.
 - Lonn M.E., Dennis J.M., Stocker R. (2012) Actions of antioxidants in the protection against atherosclerosis. *Free Radical Biology and Medicine*, 53 : 863-884.
 - Lomaool S *et al.*, (2021). Biological activities and phytochemicals profiling of different cyanobacterial and microalgal biomass. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13 : 4195-4211.

M

- Mechaala S., Bendjeddou M. (2016). Etude de la dynamique temporelle des proliférations des cyanobactéries dans le lac Oubiera (Parc National d'El Kala). Mémoire de Master, Microbiologie Appliquée. Université Abbès Laghrour, Khenchela. 61 p.
- Mahda S. (2022). Etude des cyanobactéries des croûtes biologique des sols dans les écosystèmes ardes, cas du Sahara d'Algérie. Thèse de Doctorat, Ecopédologie et environnement. Université Kasdi Merbah, Ouargla. 130 p.
- Menvielle-Bourg F.J. (2005). Le superoxyde dismutase, puissant antioxydant naturel, désormais disponible par voie orale. *Phytothérapie*, 118-121.
- Mandel M.K., Chanu K., Chaurasia N. (2020). Cyanobacterial pigments and their fluorescence characteristics: applications in research and industry. Chapitre 5, Elsevier 55.

Références Bibliographiques

- Malathi T., Ramesh Babu K., Kumari L., Digamber Rao B. (2015). Activité antimicrobienne des cyanobactéries du sol *Cylindrospermum Majus*. Revue Internationale des Scientifiques Récents Recherche. 5 : 3859-3863.
- Murad W., Amin A., Khan M.H., Mahmood N., Ahmed M. (2022). Assessment of antimicrobial, antialgal and cytotoxic activities of crude extracts from rhizospheric and freshwater. Revue Trimestrielle Internationale des Sciences Biologiques, 2 :169-174.

N

- Nouasria K., Mazhoudi A., Menasri M. (2022). Les algues Microscopiques dans les milieux extrêmes. Mémoire de Master, Microbiologiques Appliquée. Université Abbès Laghrour, Khenchela. 58 p.
- Naghraoui M. (2014). Activités antioxydantes et antimicrobiennes de l'extrait brut et ses fractions de l'algue rouge *Corallina officinalis*, récoltée sur la côte ouest algérienne (Plage de Madrid). Mémoire de Master, Sciences des aliments. Université Abouberk Belkaid, Telemcen. 76 p.
- Nagatsu A., Kajitani H., Sakakibara J. (1995). Muscoride A : un nouvel alcaloïde peptodique oxazole de la cyanobactérie d'eau douce *Nostoc muscorum*. Tétrahèdre Lett., 36 : 4097-4100.
- Nandagopal P., Steven A.N., Chan L.W., Rahmat Z., Haryati J., Mohd Noh N.I. (2021). Bioactive metabolites produced by cyanobacteria for growth adaptation and their pharmacological properties. *Biology (Basel)*,10(10):1061

O

- Oliver D. (2020). Le potentiel antioxydant des aliments : mythes et réalités. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 55 (4), 176-183.
- Oyaizu M. (1986). Studies on products of browning reaction prepared from glucose amine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44 : 307-315.

Références Bibliographiques

- Obame E. Ngonga L.C. (2009). Etude phytochimique, activités antimicrobiennes et antioxydantes de quelques plantes aromatiques et médicinales africaines. Thèse de Doctorat, Biochimie-Microbiologie. Université D'Ouagadougou. 232 p.
- Oufdou K., Oudra B. (2009). Substances bioactives élaborées par des cyanobactéries isolées de certains écosystèmes aquatiques marocains. *Afrique Science*, 5 : 260-279.

P

- Prieto P., Pineda M., Aguilar M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Anal Biochimie*, 269 : 337-341.
- Papa L., Manfredi G., Germain D. (2014). SOD1, an unexpected novel target for cancer therapy. *Genes and cancer*, 5 : 15-21.

R

- Rahmani R., Hammadi A. (2021). Les efflorescences des cyanobactéries. Mémoire de Master, Microbiologie Appliquée. Université Abbès Laghrour, Khenchela. 40 p.

S

- Sidi Sedegh A. (2021). Etude de la biodiversité des cyanobactéries et leurs toxines dans le barrage de Foug-Glèita (Mauritanie). Thèse de Doctorat, Milieux aquatiques et environnement. Université Nouakchoti AL-Aasriya. 156 p.
- Sun T., Ho C.H. (2005). Antioxidant activities of buckwheat extracts. *Food chem.*, 90 : 743-749.
- Swain S.S., Paidesetty SK., Padhy RN. (2017). Composés antibactériens, antifongiques et antimycobactériens de cyanobactéries. *Biomédical. Pharmacologie*, 90 : 760-776.
- Singh R., Parihar P., Singh M., Bajguz A., Kumar J., Singh V.P., Prasad S.M. (2017). Découvrir des applications potentielles des cyanobactéries et des

Références Bibliographiques

métabolites d'algues en biologie, en agriculture et en médecine : état actuel et perspectives d'avenir. *Frontiers in Microbiology*, 8 : 2-3.

- Saly F.G., Gehan A.I. (2020). Natural product from some soil cyanobacterial extracts with potent antimicrobial, antioxidant and cytotoxic activities. *Biological Sciences*, 92 :1-4.

V

- Vidé J. (2015). Effets potentiel et mécanismes d'action antioxydante et anti-inflammations d'un apport nutritionnel de spirulines enrichies en silicium. Thèse de Doctorat, Nutrition / Santé. Université de Montpellier. 138 p.
- Valko M., Rhodes C.J., Moncola J., Izakovic M., Mazura M. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160: 1-40.