REPUBLIQUEALGERIENNEDEMOCRATIQUEET POPULAIRE
MINISTEREDEL'ENSEIGNEMENTSUPERIEUREETDELARECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITEDE MEDEA
FACULTEDESSCIENCES

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de **Master**

En Sciences de la nature et de la vie

Spécialité : Microbiologie appliqué

Par :

ROBEI Imane
ADDAD Ikram
HADJIMI Nadjat

Thème :

Effets interactifs des antibiotique avec d'autres contaminants dans les organismes aquatiques :ami ou annemi !?

Soutenue publiquement le :23 /06/2024., Devant le jury composéde :

Chami Bouazza	**MAA**	U.Médéa	Président
Bouchibane Malika	**MAB**	U. Médéa	Examinatrice
Touzout Nabil	**MAB**	U.Médéa	Encadreur
Ainas Mahfoud	**MCA**	U. Médéa	Co-Encadreur

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

El hamdoulillah on remercie Dieu, le miséricordieux, le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce travail.

À notre encadreur, Dr Touzut Nabil, nous vous remercions de nous avoir fait l'honneur de diriger ce travail sans n'épargner aucun effort pour nous guider dans le chemin sinueux de la recherche, votre compétence et votre sens dudevoir nous ont énormément marqué.
Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à tous ceux qui nous ont aidés à accomplir ce travail et à terminer nos études universitaires avec succès notamment monsieur le co-encadreur, Dr Aines Mahfoud.

Tous nos remerciements au Dr.Chami Bouazza président du jury, le Dr.Bouchibane Malika l'examinatrice.

Un grand merci au personnel du laboratoire où nous avons mené nos études, ainsi qu'à les ingénieurs de laboratoire

Dédicace

Je dédie ce travail à ma famille et mes amis, un sentiment particulier de gratitude pour mes parents bien-aimés dont les mots d'encouragement et de soutien tout au long des années seront à jamais un cadeau inestimable de leur part.

✵

Ainsi que mes frères, mes sœurs qui ne m'ont jamais quitté et tiennent une place spéciale dans mon cœur.

✵

Je dédie aussi mon travail à mes amis dont le soutien incessant m'a été inestimable tout au long de ma vie, j'apprécierai toujours tout ce qu'ils ont fait.

✵

Et bien sûr, la fondation de mon travail et mes efforts, mon conseiller et guide : Dr Touzut Nabil, qui m'a aidé tout au long du travail et moi a permis de terminer mon parcours universitaire ainsi que tous les enseignants et membres du jury.

Imane

Dédicace

Je dédie ce travail à ma famille et mes amis, un sentiment particulier de gratitude pour mes parents, mon très cher père **Addad Boualam**et ma très chère mère **karbouche fatiha** dont les mots d'encouragement et de soutien tout au long des années seront à jamais un cadeau inestimable de leur part.

✵

Ainsi que mon frère **Addad Yahia**, ma sœur **Addad Malak** qui ne m'ont jamais quitté et tiennent une place spéciale dans mon coeur.
Sons oubliermon cher oncle **Karbouche Ahmad**, merci de me soutenir tout le tempe

✵

Je dédie aussi mon travail à mes amis dont le soutien incessant m'a été inestimable tout au long de ma vie, j'apprécierai toujours tout ce qu'ils ont fait.

✵

Et bien sûr, la fondation de mon travail et mes efforts, mon conseiller et guide :**Dr Touzut Nabil**, qui m'a aidé tout au long du travail et moi a permis de terminer mon parcours universitaire ainsi que tous les enseignants et membres du jury

Ikram

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mon très cher père, ***Amar****, pour tous ce qu'il a fait pour moi durant toutes mes années d'étude, pour ses encouragements et ses orientations.Ma très chère mère,* ***Zahra Maddahi*** *pour son sacrifice, son aide, ses conseils et sa patience.Mes chères sœurs et frères* ***Lilia, Hanane, Mohamed, Isam*** *.A la joie et la sourire de ma famille* ***Ranime*** *,* ***Raead, Younes.*** *Je souhaite tout le bonheur et le succès dans votre vie.A toute ma famille* ***Hadjimi*** *et toute ma famille* ***Meddahi.*** *Mes cousines* ***chaima*** *et* ***Meriem*** *pour ses encouragements.*

Mes amies Jani Khawla et kechad khadidja je vous dédié ce travail en vous souhaitions un avenir radieux.Mes enseignantes qui m'ont suivi tout au long de mon cursus universitaire.

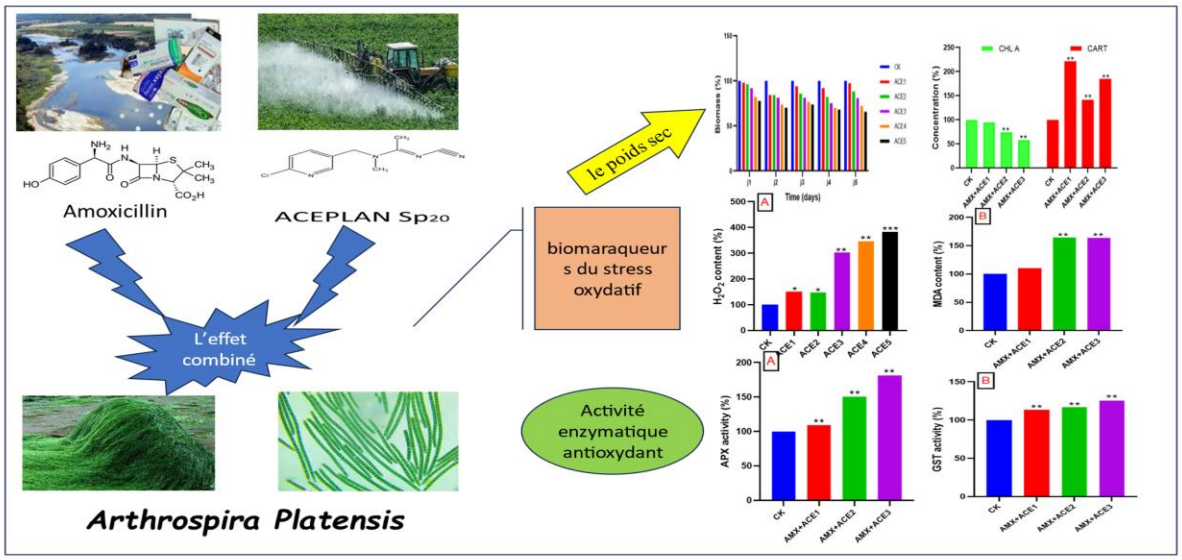
Nadjat

Points forts

- Impacts des xénobiotiques (AMX et ACE) sur les microalgues Spiruline.
- Images microscopiques utilisées pour évaluer les changements morphologiques des microalgues sous traitement AMX et/ou ACE.
- Diminution de facteurs physiologiques spécifiques et élévation de la peroxydation lipidique dans la Spiruline.
- Confirmer les risques environnementaux substantiels des pesticides et antibiotiques.

Implications environnementales

La recherche a examiné comment l'Amoxicillin (AMX), l'Aceplan (ACE) et leur combinaison affectent les aspects physiologiques et biochimiques de la *Spirulina platensis*. Les xénobiotiques, polluants de plus en plus courants, peuvent avoir des impacts négatifs sur les organismes vivants et l'environnement. Étant donné que les microalgues constituent un élément crucial de la chaîne alimentaire et peuvent agir comme indicateurs de pollution dans l'environnement, elles ont été choisies comme objet de cette étude. Différentes concentrations d'AMX et d'ACE et ont été utilisées, ainsi qu'un groupe témoin. Les résultats ont indiqué une baisse significative du taux de croissance, du poids sec et des niveaux de chlorophylle dans les microalgues exposées aux AMX et/ou ACE, tandis que les niveaux de macromolécules et de peroxydation lipidique ont augmenté. Ces résultats suggèrent un potentiel sérieux de dommages environnementaux dus aux AMX et/ou ACE.



الملخص

الملوثات المستحدثة هي مجموعة من الملوثات المختلفة مثل المبيدات الحشرية والمضادات الحيوية. الأنشطة الحضرية والصناعية الزراعية اليومية لسكان العالم تطلق الملوثات المستحدثة في البيئة ويتم نقلها الى المياه السطحية والجوفية من خلال دورة المياه الطبيعية. حيث يمكن ان يكون لها اثار ضارة على الكائنات الحية وقد أصبح القضاء على المضادات الحيوية والمبيدات الحشرية من البيئة المائية قضية حاسمة بسبب سميتها واستمراريتها. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثيرات الأموكسيسيلين. الأسيبلان وادماجهما بعد خمسة أيام من الزراعة على المعلمات المرفولوجية والبيوكيماوية على الطحالب الدقيقة. أظهرت النتائج ان هناك انخفاض في نمو سبيرولينا أثناء التطبيق الفردي للأموكسيسيلين والأسيبلان. نفس النتائج سجلت عند دمجهما وعلاوة على ذلك كشفت نتائجنا عن تحريض الإجهاد التأكسدي استجابة للأموكسيسيلين والأسيبلان كما يتضح الارتفاع الكبير في مستويات بيروكسيد الهيدروجين داخل الخلايا خمسة أيام بعد التعرض لها. على وجه الخصوص بيروكسيد الدهون وأنشطة إنزيمات البيروكسيد المضادة للأكسدة والجلوتاثيون تم تغييرها بشكل ملحوظ. التطبيق الفردي للأموكسيسيلن والأسيبلان يزيد أيضا من إنتاج الإنزيمات. وخلصت النتائج إلى أن السمية المشتركة للأموكسيسيلين والأسيبلان أكثر خطورة على نمو سبيرولينا مقارنة بالسمية الفردية.

الكلمات المفتاحية:أموكسيسيلين. أسيبلان؛ السمية المدمجة. المعالجة الحيوية. الطحالب الدقيقة.

Abstract

Emerging pollutants (EP) are a group of different contaminants, such as pesticides, and antibiotics. The daily urban and agro-industrial activities of the world's population release EP into the environment and are transported to surface and groundwater through the natural water cycle, where they can potentially have harmful effects on living organisms, the elimination of antibiotics and pesticides from the aquatic environment has become a crucial issue in due to their toxicity and their persistence. The aim of this study is to determine the effects of AMOXICILLIN (AMX), ACEPLAN SP20 (ACE) and their combination after 10 days of culture on the morpho-physiological parameters and biochemical parameters of microalgae spirulina (*Arthrospira Platensis*) were studied. The results showed that there was a decrease in growth when applying AMX and ACE individually. The combined application of pesticides and antibiotics further reduced the growth of spirulina. Furthermore, our results unveiled the induction of oxidative stress in response to AMX and ACE, as evidenced by a significant elevation in intracellular hydrogen peroxide (H_2O_2) and lipid peroxidation (MDA) levels 10 days after exposure. Notably, the activities of the antioxidant enzymes peroxidase (POD) and glutathione-S-transferase (GST) were significantly impaired. when applying AMX and ACE individually. The combined application of AMX+ACE also increases enzyme production. The results concluded that combined toxicity (AMX+ ACE) is more dangerous for the growth of *Arthrospira Platensis* compared to individual toxicity.

Keywords:Amoxicillin;Aceplan; Combined toxicity; Bioremediation; Microalgae

Résumé

Les polluants émergents (PE) sont un groupe de différents contaminants, tels que, les pesticides, et lesantibiotiques. Les activités urbaines et agro-industrielles quotidiennes de la population mondiale rejettent des PE dans l'environnement et sont transportés vers les eaux superficielles et souterraines à travers le cycle naturel de l'eau, où ils peuvent potentiellement avoir des effets nocifssur les organismes vivants, l'élimination des antibiotiques et des pesticides de milieu aquatique est devenue une question cruciale en raison de leur toxicité et de leur persistance. Le but de cette étude est déterminer les effets des AMOXICILLINE (AMX), ACEPLAN SP20 (ACE) et leur combinaison après 10 jours de culture sur les paramètres morpho-physiologiques et biochimiques des microalgues spiruline (*Arthrospira Platensis*) ont été étudiés. Les résultats ont montré qu'il y'a une diminution dans la croissance, lors de l'application individuelle d'AMX et ACE. L'application combinée des pesticides et des antibiotiques encore diminué la croissance de la spiruline.De plus, nos résultats ont dévoilé l'induction d'un stress oxydatif en réponse à l'AMX et ACE, comme en témoigne une élévation significative des niveaux de peroxyde d'hydrogène intracellulaire (H_2O_2) et la peroxydation lipidique (MDA). Notamment, les activités des enzymes antioxydants, peroxydase (POD) et glutathion-S-transférase (GST) ont été significativement altérées lors de l'application individuelle d'AMX et ACE. L'application combinée des AMX+ACE augmente aussi la production des enzymes. Les résultats conclus que la toxicité de combiné (AMX+ ACE) est plus danger pour la croissance *d'Arthrospira Platensis* par rapport à la toxicité individuelle.

Mots clés:Amoxicilline;Aceplan; Toxicité combiné; Bioremédiation; Microalgues

Table des matières

Remerciment

Dédicace

Dédicace

Dédicace

الملخص

Abstract

Résumé

Table de matière

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviation

Introduction :

Chapitre 01 :Généralité sur les micro-algues

1 Les cyanobactéries : 3

1.1 Généralité : 3

1.2 Les caractères morphologiques : 3

1.3 composition d'origine microalgues : 3

1.4 Biodiversité des cyanobactéries : 5

1.5 Le mode de reproduction : 7

1.6 Distribution de cyanobactérie : 7

1.7 Définition de la photosynthèse : 7

1.8 L'effet des cyanobactéries sur les milieux aquatiques : 8

1.9 Les conditions de vie : 9

1.10 Les métabolites : 9

2 Arthrospira platensis (spirulina) : 9

2.1 Généralité : 9

2.2 Intérêt probiotique : 10

2.3 Les caractères physiologique: ..... **Erreur ! Signet non défini.**

2.4 La culture de spirulina : 10

2.5 Les conditions de vie : 10

2.6 La Valeur nutritionnel : 10

2.7 L'utilisation industrielle : 11

Chapitre 02 :Les polluants émergeants

1 Généralité : 12
1.1 Les antibiotiques : 12
1.1.1 L'effet secondaire des antibiotiques sur le vivant : 13
1.1.2 Les Antibiotiques comme Polluants emergeant : 14
1.2 Les pesticides : 16
1.2.1 Composition : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
1.2.2 Classification : ..... **Erreur ! Signet non défini.**
1.2.3 Transport des pesticides : 17
1.2.4 Les effets des pesticides : 18
1.2.5 La détection du pesticide : 18

Chapitre 03 :Interactions polluants émergents-micro algues

1 Interactions : Antibiotiques-Microalgues : 20
1.1 Intractions pesticide-microalgues : 22

Partie experimentale

Chapitre 01: Matériels et Méthodes

1 Période et lieu de stage : 24
2 Verrerie et produits chimiques 24
2.1 Autoclavage 24
3 Organismes expérimentaux et conditions de croissance 24
4 Les Milieux de cultures des Cyanobactéries : 25
5 Incubation et entretien de la culture pure : 26
6 Expériences de dépistage 26
6.1 Conception de traitement 26
6.2 Mesures de croissance : 27
6.3 Suivi morphologique par microscopique optique : 27
6.4 Pigments photosynthétiques 27
6.4.1 Estimation de la chlorophylle *a*, *b* et des caroténoïdes : 27
6.5 Mesure des caractères biochimiques de *Spirulina platensis* 28
6.5.1 Composants biochimiques 28
6.5.1.1 Estimation de la teneur en protéines 28
6.5.1.2 Estimation de la teneur en lipides : 28
6.5.1.3 Estimation de la teneur en carbohydrates : 28

6.5.2 Indices de dommages oxydatifs : 29
6.5.2.1 Estimation d'Hydrogen peroxide (H_2O_2) : 29
6.5.2.2 Estimation de la peroxydation des lipides (formation d'équivalents MDA) : 29
6.5.3 Antioxydants enzymatiques 30
6.5.3.1 Estimation de l'activité de l'ascorbiate perexydase (APX) : 30
6.5.3.2 Estimation de l'activité de la glutathion-S-transférase (GST ; EC 2.5.1.18): 30
6.5.3.3 Estimation de l'activité peroxydase (POD; EC 1.11.1.7) : 31
6.6 Analyses statistiques 32

Chapitre 02: Résultats

1 Effet de L'Amoxicilline sur *Arthrospira platensis*: 34
1.1 Effet sur le comportement de croissance et les pigments photosynthétiques : 34
1.1.1 Comportement de croissance : 34
1.2 Effet de L'Amoxicilline sur la teneur en pigments photosynthétiques à défirent concentrations : 34
1.2.1 Teneur en chlorophylle *a* et caroténoïdes : 34
1.3 Effet de L'Amoxicilline à déférents concentrations sur la teneur en molécule biochimique : 35
1.3.1 Teneur en protéine, lipides et carbohydrate : 35
1.4 Effet de l'Amoxicilline à différents concentrations sur la teneur en biomarqueurs de stress oxydative : 36
1.4.1 Peroxydation lipidique (MDA) et Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) : 36
2 Effet de l'Amoxicilline à différents concentrations sur la teneur en l'activité enzymatique antioxydant : 37
3 Effet de pesticide ACEPLAN SP20 (ACE) sur *Arthrospira platensis* : 38
3.1 Effet de l'ACE sur la croissance de *Arthrospira platensis* : 38
3.2 Effet de l'ACE à différents concentrations sur la teneur en pigments photosynthétiques 38
3.2.1 Teneur en chlorophylle *a* et caroténoïdes : 38
3.3 Effet de l'ACE à défférents concentrations sur la teneur en molécule biochimique : 39
3.3.1 Teneur en protéines, lipides et carbohydrates : 39
3.4 Effet de l'ACE à différents concentrations sur la teneur en biomarqueurs de stress oxydative: 40
3.4.1 Peroxydation lipidique (MDA) et Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) : 40
3.5 Effet de l'ACE à différents concentrations sur la teneur en l'activité enzymatique antioxydant : 41
4 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur *S.platensis* 42
4.1 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur la croissance de S.platensis: 42
4.2 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur la teneur en pigments photosynthétiques : 42
4.2.1 Teneur en chlorophylle *a* et carténoide : 42
4.3 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur la teneur en molécule biochimique : 43
4.3.1 Teneur en protéines, lipides et carbohydrates : 43
4.4 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur la teneur en biomarqueures de stress oxydative : 44

4.4.1 Peroxydation lipidique et peroxyde d hydrogène (H_2O_2) :..... 44
4.5 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur la teneur en activité enzymatique antioxydant: 45
Discussion
Conclusion
Références bibliographiques

Liste de figures

figure 1 : photomicrographies d'especes cyanobacteriennes des familles des aphanizomenonaceae *: nodularia sp. (un); aulacoseiracees : aulacoseira sp. (b); coleofasciculacees : geitlerinema sp. (w); chroococcaceae : asterocapsa submersa (d), chroococcus turgidus (e), a. aerophytica (f) ; gloeotrichiacees : gloeotricia sp. (g)* (delima pinheiro et al., 2023)..... 5
figure 2: photomicrographies d'especes cyanobacteriennes des familles des leptolyngbyaceae *: planktolyngbya limnetica (a), alkalinema sp. (b); microcystacees : microcystis aeruginosa (c), m. flos-aquae (d), m. wesenbergii (e), merismopediaceae : aphanocapsa sp. (f), a. planctonica (g), a. elachista (h), merismopedia punctata (i)* et *merismopedia sp. (j*) (de lima pinheiro et al., 2023)..... 6
figure 3 : photomicrographies d'especes cyanobacteriennes des familles microcoleaceae *: planktothrix sp. (a), p. agardhii (b), p. planctonica (c), planktothrix isothrix (d), p. rubescens (e) ; nostocacees : anabaena sp. (f), cylindrospermopsis raciborskii (g); oscillatoriacees : oscillatoria sp. (h); phormidiacees : tychonema bornetii (i) ; pseudanabaenaceae : pseudoanabaena mucicola (j) ; spirulinacees : spiruline sp. (k); synechococcacees : synechococcus sp. (l)* (de lima pinheiro et al., 2023)..... 6
figure 4: schema d'un chloroplaste (gaignard., 2022) 8
figure 5: source de pollution par les antibiotiques et ses implication sur le milieu aquatique (fayaz et al., 2024)..... 13
figure 6: structure chimique de l'amoxicilline (mohammed et al., 2024)..... 15
figure 7: classification des pesticides (bilal et al., 2019) 17
figure 8: devenir des pesticides dans l'environnement (science et stage., 2012)..... 18
figure 9: role des substances polymeres extracellulaires (eps) et des enzymes des microalgues dans la degradation et la transformation des antibiotiques. ros: especes reactives de l'oxygene : lumiere uv : lumiere ultraviolette : cyp450 : cytochromes 450 : gst : glutathion s-transferase (fayaz et al., 2024) 22
figure 10: observation microscopique de spiruline a differents agrandissement..... 25
figure 11: la culture de la spiruline 26
figure 12: l'effet de l'antibiotique amx a differents concentration(ck : control, amx1 : 20mg/l, amx2 :40mg/l, amx3 :60mg/l, amx4 :80mg/l, amx5 :100mg/l) sur le poids sec d'a. platensis 34
figure 13: effet de l'amx sur la teneur en chlorophylle a et carotenoïdes de la spirulinea diffferents concentrations (ck : control, amx1 : 20mg/l, amx2 :40mg/l, amx3 :60mg/l, amx4 :80mg/l, amx5 :100mg/l) . les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n = 4). 35
figure 14: effet de l'amx sur la tenneuren proteines, lipides et en carbohydrate de la spirulinea differents concentrations (ck :control, amx1 : 20mg/l, amx2 :40mg/l , amx3 :60mg/l, amx4 :80mg/l, amx5 :100mg/l). les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n = 4). 36
figure 15: effet de l'amx sur la tenneuren mda et en h2o2 de la spirulinea differents concentrations (ck :control, amx1 : 20mg/l, amx2 :40mg/l, amx3 :60mg/l, amx4 :80mg/l, amx5 :100mg/l) . les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n = 4). 37
figure 16: effet de l'amxsur la teneur en en l'activite enzymatique antioxydant mda de la spirulinea differents concentrations (ck :control , amx1 : 20mg/l ,amx2 :40mg/l amx3 :60mg/l ,amx4 :80mg/l , amx5 :100mg/l) . les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n = 4). 37
figure 17: effet de l'ace sur la croissance de la spiruline a differents concentrations (ck :control, ace 1: 10mg/l, ace2 :20mg/l, ace3 :30mg/l, ace4 :40mg/l, ace5 :50mg/l) . les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n = 4). 38

figure 18: effet de l'acesur la teneur en chlorophylle a et carotenoide de la spirulinea diffirents concentrations (ck :control, ace1: 10mg/l, ace2 :20mg/l, ace3 :30mg/l, ace4 :40mg/l, ace5 :50mg/l) . les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n = 4). 39
figure 19:effet de l'ace sur la teneur en en proteines, lipides et en carbohydrate de la spirulinea diffirents concentrations (ck :control, ace 1: 10mg/l, ace2 :20mg/l, ace3 :30mg/l, ace4 :40mg/l, ace5 :50mg/l) . les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n = 4)..... 40
figure 20: effet de l'ace sur la teneur en mda et en h2o2 e de la spiruline a differents concentrations (ck :control,ace 1: 10mg/l ,ace2 :20mg/l ace3 :30mg/l ,ace4 :40mg/l ,ace5 :50mg/l) . les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n = 4). 41
figure 21: effet de l'ace, sur la teneur en l'activite enzymatique antioxydant apx.gst.etpod de la spiruline a diffirents concentrations(ck :control,ace 1: 10mg/l ,ace2 :20mg/l ace3 :30mg/l ,ace4 :40mg/l ,ace5 :50mg/l) . les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n = 4). 41
figure 22: effet de combinaisonentre (amx+ace) sur la biomasse chez spirulina a differentes concentrations – amx+ace (controle), amx+ace (10+20mg/l) et amx+ace (30+60mg/l) et amx+ace (50+100mg/l) pendant 5 jours de culture. les donnes sont des pourcentages de quatre repetitions (n=4). 42
figure 23: effet de combinaison entre(amx+ace) sur la cartenoide et la teneur en chlorophyle chez spirulina a differentes concentrations (amx+ace (controle), amx+ace (10+20mg/l) et amx+ace (30+60mg/l) et amx+ace (50+100mg/l)). les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n=4). 43
figure 24: effet de combinaisonentre(amx+ace) sur la teneur en proteine, lipides, et en carbohydrate chez la spirulina a differentes concentrations – amx+ace (controle), amx+ace (10+20mg/l) et amx+ace (30+60mg/l) et amx+ace (50+100mg/l).les donnes sont des pourcentages de quatre repetitions (n=4). 44
figure 25: effetde combinaison entre(amx+ace) sur la teneur en mda et en h2o2 chez la spirulina a differentes concentrations – amx+ace (controle), amx+ace (10+20mg/l) et amx+ace (30+60mg/l) et amx+ace (50+100mg/l).les donnes sont des pourcentages de quatre repetitions (n=4). 45
figure 26: effetde combinaison entre(amx+ace) sur la teneur en activite enzymatique antioxydant mda et apx et pod chez la spirulina a differentes concentrations – amx+ace (controle), amx+ace (10+20mg/l) et amx+ace (30+60mg/l) et amx+ace (50+100mg/l). les donnees sont des pourcentages de quatre repetitions (n=4). 46

Liste des tableaux

TABLEAU 1: LES COMPOSITIONS CHIMIQUES EN (G/L) D'EAU AU MILIEU ZARROUK (ZARROUK., 1966) 25

Liste d'abréviations

1-chloro-2, 4-dinitrobenzène	**CDNB**
Aceplan sp $_{20}$	**ACE**
Acide 2-thiobarbiturique	**TBA**
Acide sulfirique	**AS**
Acide trichloroacétique	**TCA**
Amoxicilline	**AMX**
Arthrospira platensis	***A.platensis***
Ascorbate peroxydase	**APX**
Benzathine benzylpenicilline	**BPG**
Injection intramusculaire	**IM**
Cencentration efficace	**EC**
Cyanobactéries résistantes aux antibiotiques	**ARG**
Composés pharmaceutique	**PC**
Espèces réactives de l'oxigène	**ROS**
Antibiotiques	**ANT**
Ethylenediamine tetra acetic acidPeroxydase	**EDTA**
Glutathion-S-transféraseMalon dialdéhyde	**GST**
Acide Ascorbique	**APX**
Polluants émergants	**PE**
Potassiume iodide	**KI**
Potassiume phosphate buffer	**BPS**
Trichloroacetic acid	**TCA**

Introduction

Les cyanobactéries (Cyanoprocaryota), un groupe diversifié de micro-organismes photosynthétiques oxygénés, possèdent des mécanismes cellulaires et une capacité d'acclimatation leur permettant de développer des populations a cellules denses, fréquemment appelées « blooms », dans les lacs, les réservoirs d'eau et les cours d'eau. Cesles caractéristiques servent à de nombreuses cyanobactéries pour étendre leur distribution en tant que conditions écologiquesvarient en raison de changements régionaux dans les charges en nutriments et dans le contexte biotique ou en raison du climat mondial (Sukenik et al., 2015).

Le principal composant de la microflore du sol est la cyanobactérie qui fixe principalement l'azote atmosphérique et rend le sol sain et fertile. En raison de l'utilisation excessive d'insecticides, les cyanobactéries sont confrontées à des défis qui menacent leur survie. Cependant, l'utilisation intensive de pesticides et d'antibiotiques dans l'agriculture et l'industrie pharmaceutique peut entraîner leur contamination des milieux aquatiques, exposant ainsi les microalgues à ces substances (Paerl & Huisman, 2008).

Les pesticides et les antibiotiques sont des agents stressants pour les microalgues, car ils peuvent affecter leur physiologie et leur métabolisme (Singhal et al., 2021).Les antibiotiques peuvent inhiber la formation des chloroplastes, la production de chlorophylle et la synthèse des protéines, exerçant ainsi des effets néfastes sur la capacité photosynthétique, la prolifération cellulaire et la croissance des microalgues(Yu et al., 2022b). La plupart des pesticides agissent sur les organismes photosynthétiques. La majorité des inhibiteurs de la photosynthèse ciblent le photosystème II, qui est également présent chez les cyanobactéries avec quelques différences concernant les pigments capteurs de lumière (Beaulieu et al., 2014).

Lorsque les pesticides et les antibiotiques sont présents simultanément, leur combinaison peut avoir des effets synergiques ou antagonistes sur les microalgues. Des interactions synergiques peuvent amplifier les effets individuels des substances, entraînant une réponse plus importante et plus dommageable pour les microalgues. D'autre part, des interactions antagonistes peuvent atténuer les effets des substances individuelles, ce qui peut être bénéfique pour les microalgues(Miazek & Brozek -Pluska, 2019).

L'objectif principal de ce travaille, a donc pour but d'étudier l'influence des pesticides et les antibiotiques sur les microalgues et leur combinant, par une série d'expériences contrôlées en laboratoire.

Ce rapport est composé de trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à la présentation du contexte de l'étude. Il présente chaque élément étudié, à savoir, les microalgues, les antibiotiques et les pesticides ainsi l'effet de se deux derniers sur la croissance des cyanobactéries et leur rôle dans les systèmes aquatiques.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des matériels et méthodes utilisés pour l'étude de l'influence des pesticides et des antibiotiques sur microalgues, les expérimentations réalisées ainsi que les analyses appliquées aux échantillons et le traitement des résultats.

Chapitre 01
Généralité sur les micro algues

1 Les cyanobactéries :

1.1 Généralité :

Les cyanobactéries étaient traditionnellement classées comme des algues et désignées sous les noms de « Cyanophyta » ou « Algue bleu-vert ». Jusqu'à la fin du XXe siècle, le système de nomenclature des cyanobactéries suivait la norme internationale du code de nomenclature botanique (Demoulin et al., 2019). Elles sont des organismes photosynthétiques présents dans les habitats aquatiques, caractérisés par leur capacité unique à réduire le dioxyde de carbone atmosphérique. De plus, elles contiennent un pigment photosynthétique de teinte vert bleuté, d'où leur appellation d'algues bleu-vert (Neilan et al., 2023). Les cyanobactéries représentent le seul groupe de procaryotes capables de réaliser la photosynthèse et de produire de l'oxygène, ce qui en fait une composante essentielle de la productivité primaire de la biosphère (Cui et al., 2023).

En outre, les cyanobactéries sont des productrices de substances polymériques extracellulaires, telles que les exopolysaccharides (EPS), qui revêtent une importance significative. ces composés se présentent sous forme de gaines, de capsules ou de mucilage et offrent une protection contre divers stress biotiques et abiotiques. De plus, ils facilitent l'attachement des organismes à un substrat solide (Ahmed et al., 2014).

1.2 Les caractères morphologiques :

La diversité morphologique des cyanobactéries s'étend des micro-organismes unicellulaires, prenant la forme de cellules rondes ou en bâtonnets, aux micro-organismes multicellulaires, tels que les hétérocystes ou les hormogonies. Parmi les genres de cyanobactéries unicellulaires et multicellulaires, qui forment les proliférations les plus fréquentes en eau douce, on peut citer respectivement (Zhang et al., 2022). La paroi cellulaire des cyanobactéries est constituée d'une membrane externe et d'une couche de peptidoglycane. Certaines cyanobactéries possèdent également une couche S supplémentaire à l'extérieur de la membrane externe. De plus, la structure de la membrane thylakoïde intracellulaire est spécialisée dans le transport des électrons pendant la photosynthèse (Sengupta et al., 2022).

1.3 Composition d'origine microalgues :

Les microalgues peuvent être subdivisées en plusieurs catégories en raison de leur vaste gamme de composés bioactifs aux natures et aux propriétés biologiques diverses. On peut citer :

Acides gras polyinsaturés (AGPI) *:* Les lipides des microalgues se regroupent principalement en deux catégories : les lipides de stockage, produits par la photosynthèse et stockés dans la cellule (principalement des triglycérides), et les lipides structurels, qui font partie intégrante de la structure cellulaire (phospholipides et stérols) (Levasseur et al., 2020).

- Pigments*:* Les microalgues contiennent des pigments photosynthétiques, classés en trois groupes : les chlorophylles, les caroténoïdes et les phycobiliprotéines, qui donnent respectivement aux microalgues des couleurs vertes, jaunes/oranges et rouges/bleues (Levasseur et al., 2020).

- Glucides*:* Les hydrates de carbone sont synthétisés de manière intracellulaire et constituent la majeure partie des composés issus de la photosynthèse dans les microalgues. Leur contenu peut atteindre jusqu'à 50 % du poids sec de certaines microalgues (Levasseur et al., 2020).

- Protéines, peptides et acides aminés: Les microalgues présentent également une composition riche et variée en acides aminés, ainsi qu'en protéines et peptides (Levasseur et al., 2020).

- Vitamines*:* Les microalgues constituent une source alimentaire essentielle pour l'élevage de tous les stades des mollusques bivalves marins, les larves de plusieurs espèces de poissons marins et de crevettes, ainsi que pour le zooplancton, leur fournissant des apports nutritionnels vitaux (Levasseur et al., 2020).

- Polyphénols: Ils représentent un vaste groupe de métabolites secondaires, comprenant les acides phénoliques, les flavonoïdes, les isoflavonoïdes, les stilbènes, les lignanes et les polymères phénolique (Levasseur et al., 2020).

- Phytostérols: Les stérols sont des composants de la membrane cellulaire qui agissent sur sa stabilité, sa perméabilité et sa fluidité en contrôlant le mouvement des microalgues (Levasseur et al., 2020).

- Hormones :La plupart des lignées de microalgues sont capables de produire des phytohormones. Parmi ces hormones, on retrouve les auxines, l'acide abscissique, la cytokinine, l'éthylène, les gibbérellines, les polyamines, les jasmonides, les salicylates, les peptides de signalisation et les brassinostéroïdes (Levasseur et al., 2020).

1.4 Biodiversité des cyanobactéries:

Comme illustré dans les figures 1A à G, 2A à J et 3 (A à L), un total de 15 familles et 29 espèces de cyanobactéries ont été identifiées au cours des différentes saisons hydrologiques (pluvieuses et sèches). Au cours de cette étude, 1/29 (3,45 %) des taxons étaient constants, 7/29 (24,14 %) étaient communs, et 21/29 (72,41 %) étaient considérés comme rares.

L'espèce *Microcystis aeruginosa* a été identifiée comme le taxon constant. Parmi les taxons communs, les espèces principales correspondant aux deux saisons étaient *Planktolyngbyalimnetica, Planktothrix sp., Alkalinema sp., Microcystis flos-aquae, Oscillatoria sp. et Anabaenasp. Quant* aux taxons rares, les espèces correspondantes comprenaient *Nodularia sp., Aulacoseira sp., Asterocapsa aerophytica, Gloeotrichia sp., M. wesenbergii, Aphanocapsa sp., A. planctonica, A. elachista, Merismopedia sp., M. punctata, Planktothrix planctonica et P. isothrix.*(De Lima Pinheiro et al., 2023).

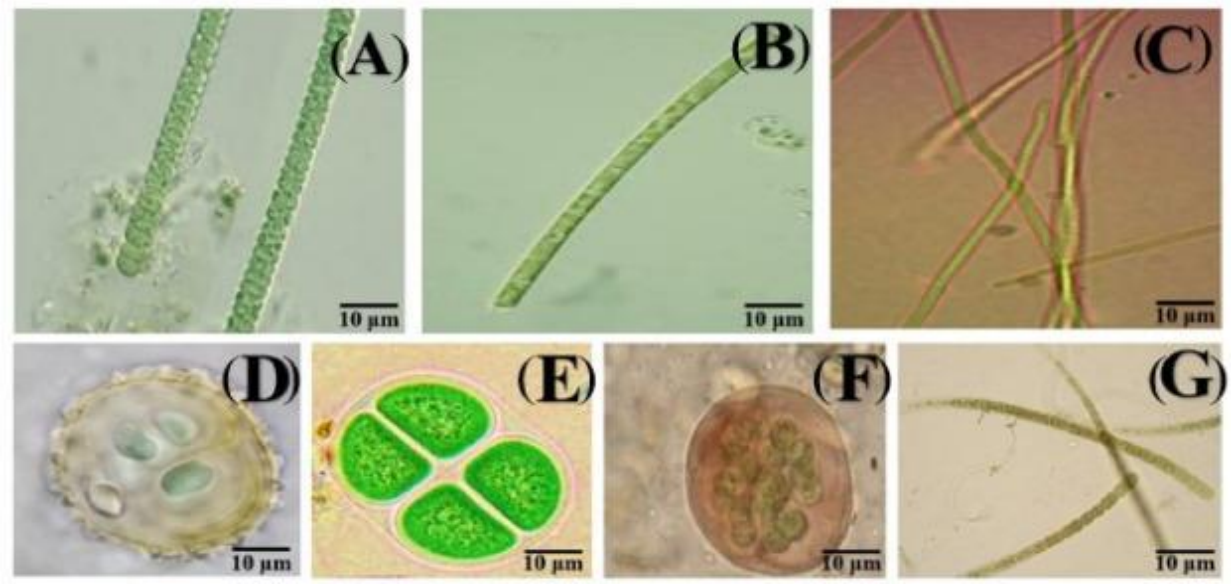


Figure 1 : Photomicrographies d'espèces cyanobactériennes des familles des Aphanizomenonaceae *: Nodularia sp. (UN); Aulacoseiracées : Aulacoseira sp. (B); Coléofasciculacées : Geitlerinema sp. (W); Chroococcaceae : Asterocapsa submersa (D), Chroococcus turgidus (E), A. aerophytica (F) ; Gloeotrichiacées : Gloeotricia sp. (G)* (DeLima Pinheiro et al., 2023).

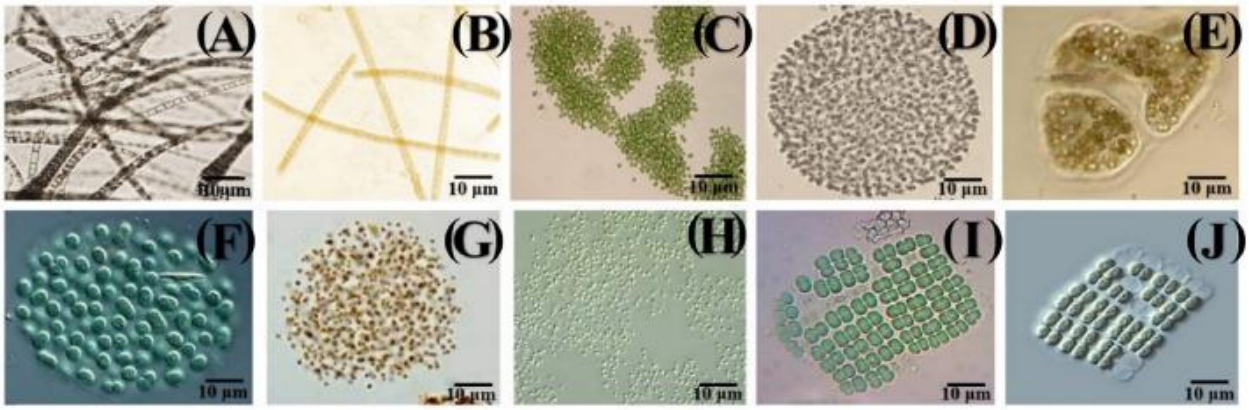


Figure 2: Photomicrographies d'espèces cyanobactériennes des familles des Leptolyngbyaceae *: Planktolyngbya limnetica (A), Alkalinema sp. (B); Microcystacées : Microcystis aeruginosa (C), M. flos-aquae (D), M. wesenbergii (E), Merismopediaceae : Aphanocapsa sp. (F), A. planctonica (G), A. elachista (H), Merismopedia punctata (I)* et *Merismopedia sp. (J*) (De Lima Pinheiro et al., 2023).

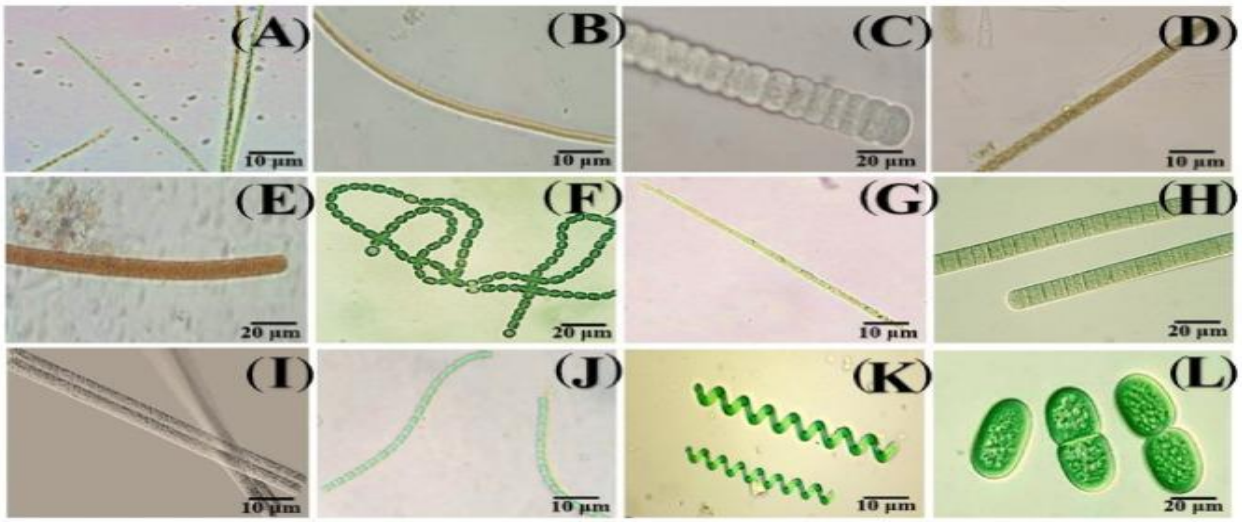


Figure 3 : Photomicrographies d'espèces cyanobactériennes des familles Microcoleaceae *: Planktothrix sp. (A), P. agardhii (B), P. planctonica (C), Planktothrix isothrix (D), P. rubescens (E) ; Nostocacées : Anabaena sp. (F), Cylindrospermopsis raciborskii (G); Oscillatoriacées : Oscillatoria sp. (H); Phormidiacées : Tychonema bornetii (I) ; Pseudanabaenaceae : Pseudoanabaena mucicola (J) ; Spirulinacées : Spiruline sp. (K); Synechococcacées : Synechococcus sp. (L)* (De Lima Pinheiro et al., 2023).

Les cyanobactéries représentent le seul groupe de procaryotes capables d'effectuer la photosynthèse génératrice d'oxygène (Cui et al., 2023). Par ailleurs, les microalgues peuvent éliminer efficacement les micropolluants émergents, notamment les composés pharmaceutiquement actifs tels que les antibiotiques, les médicaments antirétroviraux et les stéroïdes (Fayaz et al., 2024).

Les microalgues se distinguent par leur valeur nutritionnelle élevée et leur teneur protéique, ainsi que par leur richesse en pigments, acides gras polyinsaturés, polyphénols, polysaccharides, alcaloïdes, flavonoïdes, saponines, stéroïdes, tanins, terpènes et vitamines(Bouyahya et al., 2024).

1.5 Le mode de reproduction :

En termes de reproduction, les cyanobactéries se reproduisent principalement de manière asexuée par division binaire, tandis que les colonies ou les filaments peuvent se fragmenter et générer de nouvelles cellules individuelles par voie symétrique ou division cellulaire asymétrique (Rocha et al., 2024).

1.6 Distribution de cyanobactérie :

Dans les milieux aquatiques, les cyanobactéries sont appelées bactéries planctoniques ou pélagiques lorsqu'elles se reproduisent en suspension dans la colonne d'eau, et bactéries benthiques lorsqu'elles sont fixées sur substratsgrâce à leur grande adaptabilité, les cyanobactéries colonisent la plupart des écosystèmes terrestres et aquatiques d'eau douce et d'eau de mer. Certaines espèces sont adaptées aux conditions extrêmes, par exemple, elles prospèrent dans la glace, les sourceschaudes, les eaux riches en fer et les pH extrêmes (Lavoie et al., 2007).

1.7 Définition de la photosynthèse :

La photosynthèse est le mécanisme biologique le plus ancien et le plus important permettant de convertir l'énergie solaire en énergie chimique et elle est nécessaire dans les écosystèmes végétaux.Cette saison (Ortega-Ramos, 2015).Désigne la capacité de certains organismes à utiliser l'énergie lumineuse pour assimiler le carbone inorganique, comme le dioxyde de carbone de l'atmosphère ou diverses formes dissoutes dans les organismes aquatiques, et le convertir en matière organique tout en libérant de l'oxygène (Dutheil & Synechocystis, 2014).Les microalgues utilisent la lumière du soleil pour combiner le CO_2 atmosphérique grâce à la photosynthèse (Rambaldo et al., 2022).

Il permet également la production biologique telle que le nitrate, la respiration aérobie et la dénitrification (Perry et coll., 2002).Chez ces micro-organismes, la photosynthèse se produit dans le chloroplaste, plus précisément au niveau de la membrane thylakoïde à l'interface lumière-stroma (Tamamizu & Kumazaki., 2019).Voici le complexe pigmentaire qui constitue la base du procédéphotosynthétique. En effet, l'énergie lumineuse est captée par ces pigments et ensuite

transférée aux photosystèmes II (PSII) et I (PSI), qui convertissent cette énergie lumineuse en potentiel d'oxydoréduction, permettant ainsi la synthèse des molécules (Khider et al., 2021; Boutray et al., 2018).

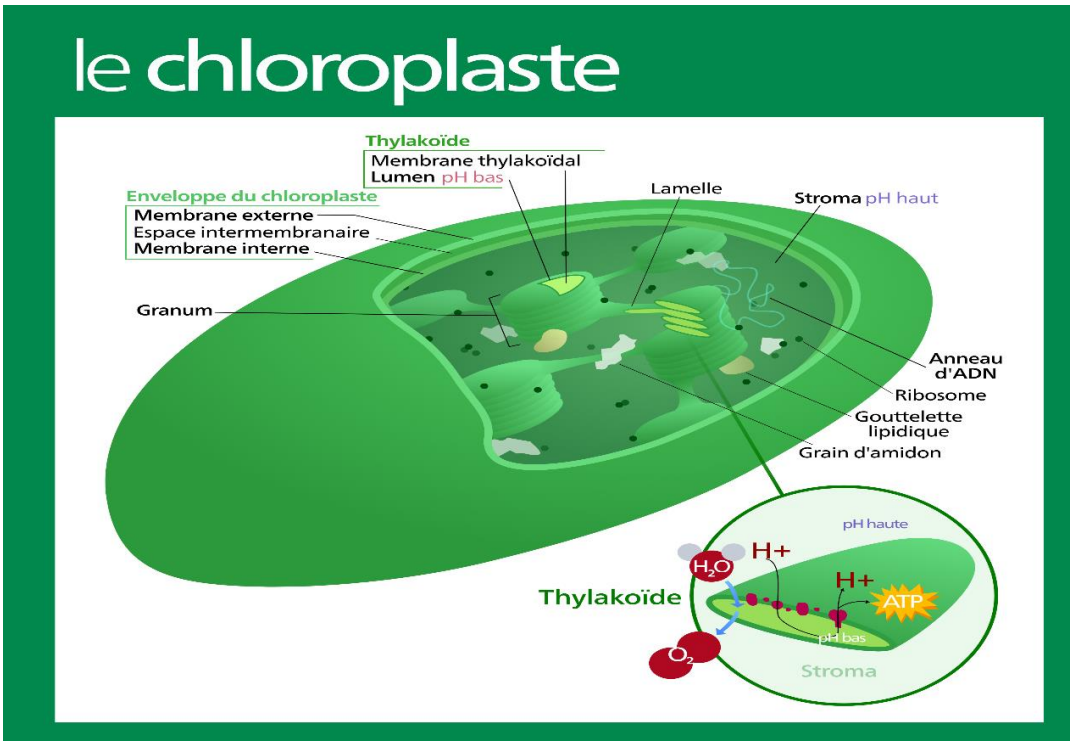


Figure 4: Schéma d'un chloroplaste (Gaignard., 2022)

Le bilan global de la photosynthèse peut être résumé par la réduction de 6 molécules de CO_2 par 12 molécules de H_2O grâce à l'énergie lumineuse : 6 CO_2 + 12 H_2O + lumière → $C_6H_{12}O_6$ + 6 O_2 + 6 H_2O Cette conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique ou biochimique se décompose en deux phases distinctes liées par des intermédiaires communs : la phase claire (ou lumineuse, ou photochimique) et la phase sombre (ou obscure, ou biochimique). Ces phases réactionnelles se déroulent au sein du chloroplaste de la microalgues(Gaignard,2022).

1.8 L'effet des cyanobactéries sur les milieux aquatiques :

Les proliférations toxiques de cyanobactéries sont souvent observées dans les lacs d'eau douce, représentant un risque potentiel pour la santé des populations humaines ainsi que pour les poissons et autres organismes aquatiques (Marie et al., 2012). Ces proliférations, associées à l'eutrophisation des rivières, entraînent divers effets néfastes en termes d'écologie, de tourisme et de santé humaine (Latour et al., 2004). Les recherches actuelles ont largement établi que les

microalgues peuvent éliminer efficacement les micropolluants émergents, notamment les composés pharmaceutiquement actifs tels que les antibiotiques (Fayaz et al., 2024).

1.9 Les conditions de vie :

Le réchauffement climatique et l'eutrophisation entraînent une augmentation des températures et une diminution de la lumière sous-marine, ce qui favorisera l'épanouissement des cyanobactéries et entravera le développement des diatomées au printemps (Zhang et al., 2022).

1.10 Les metabolites :

Les cyanobactéries ont été identifiées comme d'importants producteurs de métabolites secondaires présentant des activités antibactériennes et antivirales, entre autres. Une méta-analyse a indiqué que certaines classes de produits naturels ciblent des bactéries ou des virus (Carpine and Sieber, 2021). En tant qu'organismes photosynthétiques les plus anciens, les cyanobactéries produisent abondamment des composés bioactifs. Ces métabolites peuvent influencer l'activité des enzymes cellulaires, perturber les voies de signalisation cellulaires et induire l'apoptose des cellules, entraînant potentiellement la mort cellulaire (Huang et al., 2021).

Les métabolites des microalgues comprennent une gamme variée de composés tels que les hydrocarbures, les acides gras, les vitamines, les lipides, les pigments et les antioxydants (Ali etal., 2022). En présence de lumière, les microalgues peuvent passer d'un état autotrophe (réaction claire) à hétérotrophe. Si les microalgues sont cultivées dans des conditions autotrophes, elles convertiront le carbone inorganique (CO2) en matière organique, effectuant ainsi la photosynthèse et utilisant la lumière du soleil comme source d'énergie (Maia et al., 2023).

2 *Arthrospira platensis* (spirulina) :

2.1 Généralité :

Spirulina platensis a gagné en visibilité dans le domaine de la recherche en raison de sa richesse nutritionnelle, notamment de son activité antioxydante et antimicrobienne (Nakamoto etal., 2023).*A. platensis* est une algue bleu-vert filamenteuse en forme de spirale, appartenant à l'espèce du phylum des cyanobactéries (Miebach et al., 2023). Elle a été découverte dans le lac Tchad au Mexique pendant la période aztèque. Les algues bleu-vert, appartenant au royaume des

cyanophytes, sont des réservoirs de phycocyanine (de couleur bleue) et de pigment de chlorophylle (vert), d'où leur appellation d'algues bleu-vert (Neilan et al., 2023).

2.2 Intérêt probiotique :

La spiruline présente des effets protecteurs dans le traitement des troubles neurodégénératifs. Il a été rapporté que la spiruline réduit le stress oxydatif dans l'hippocampe et protège contre les effets neurocomportementaux néfastes de l'acide kaïnique systémique (Moradi-Kor et al., 2020). Les espèces du genre *Arthrospira* ont été utilisées avec succès comme ingrédients en aquaculture et sont progressivement reconnues pour leur contribution indispensable à la sécurité alimentaire et à la nutrition dans le monde (Dong et al., 2022).

2.3 Les caractères physiologiques :

A. platensis est une espèce de cyanobactérie puissante qui contient des composants importants, notamment des antioxydants non enzymatiques et enzymatiques, lui permettant de tolérer différents facteurs de stress et polluants. Cependant, selon les travaux précédents, les seules études appliquées directement sur le terrain ont montré que l'effet du H_2O_2 sur *A. platensis* a entraîné une augmentation uniquement des caroténoïdes et des antioxydants enzymatiques. L'effet de H_2O_2 sur le contenu biochimique supplémentaire, l'activité antioxydante totale et la régulation des gènes liés au stress d'*A. platensis* méritent plus d'attention (Ismaiel and Piercey-Normore., 2024)

2.4 La culture de spirulina :

Les cultures d'*A. platensis* ont été cultivées à leur température optimale de 35 °C, sous un éclairage de 75 $\mu Em^{-2}\ s^{-1}$ fourni par une lampe fluorescente, avec un cycle lumineux de 12 heures suivi de 12 heures d'obscurité (Dong et al., 2022).

2.5 Les conditions de vie :

La spiruline est une cyanobactérie photosynthétique et filamenteuse, principalement présente dans les lacs salés, caractérisés par un pH alcalin et des concentrations élevées de bicarbonate et de carbonate. Elle est considérée comme un complément alimentaire potentiel (Bumandalai et al., s.d.).

2.6 La Valeur nutritionnel :

La *Spirulina platensis* est une microalgue bleu-vert filamenteuse et spiralée, pouvant être consommée comme microalgue comestible en raison de sa haute digestibilité et de sa valeur

nutritionnelle élevée. Elle est riche en protéines, acides aminés essentiels, acides gras polyinsaturés, vitamines (notamment la vitamine B12), polysaccharides, fibres, composés phénoliques et autres micronutriments. C'est pourquoi elle a acquis une importance particulière dans les domaines alimentaire, pharmaceutique et des industries aquacoles (Hamidi et al., 2023). La spiruline est également une cyanobactérie riche en composés bioactifs, tels que la phycocyanine C, qui possède des propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes (Bohórquez-Medina et al., 2021).

2.7 L'utilisationindustrielle:

La spiruline prend de plus en plus d'importance dans les secteurs alimentaire, pharmaceutique et cosmétique en raison de sa composition riche et de ses propriétés bioactives. Des études ont ainsi été menées pour analyser son utilisation potentielle en tant que biopolymère et source de composés bioactifs dans le développement de systèmes d'emballage actifs et intelligents, visant à prolonger et à surveiller la durée de conservation des aliments emballés (Nakamoto et al., 2023). La *S. platensis* a démontré des effets positifs sur les performances de croissance, l'utilisation alimentaire, la teneur en protéines brutes, l'activité de l'amylase et la capacité antioxydante du tilapia. Selon (AlMulhim et al., 2023), un apport recommandé de 10% de *S. platensis* dans l'alimentation des poissons a été observé.

Chapitre 02
Les polluants émergeants

1 Généralité :

Les polluants émergents (PE) constituent un groupe de divers contaminants, comprenant notamment des hormones, des pesticides, des métaux lourds et des médicaments, généralement présents à des concentrations allant de l'ordre du ng au µg par litre. Les activités urbaines et agro-industrielles quotidiennes de la population mondiale contribuent au rejet de PE dans l'environnement. En raison de leur nature chimique et d'une gestion souvent insuffisante des eaux usées, ces polluants se retrouvent transportés vers les eaux superficielles et souterraines via le cycle naturel de l'eau (Coronado-Apodaca et al., 2023).

La consommation répandue d'antibiotiques, associée aux activités humaines, a engendré une contamination environnementale préoccupante. La présence d'antibiotiques dans les milieux aqueux constitue ainsi une préoccupation mondiale en raison de leur toxicité environnementale (Johnston et al., 2024). Les substances médicamenteuses se retrouvent dans les eaux usées après leur ingestion par les patients. Ces substances ne sont pas éliminées ou décomposées lors du traitement des eaux usées, ce qui entraîne leur dispersion dans l'environnement et, éventuellement, dans les ressources en eau potable (Foroush et al., 2021).

Les pesticides sont également reconnus comme des polluants toxiques, préjudiciables à la santé humaine et animale, ainsi qu'à l'environnement (Zhang et al., 2023).

1.1 Les antibiotiques :

Les antibiotiques, y compris les composés naturels et les médicaments antibactériens synthétiques, sont largement utilisés chez les humains et les animaux pour traiter les maladies infectieuses. Ils sont également abondamment utilisés comme promoteurs de croissance animale (Perez-Bou et al., 2024). Le terme "antibiotique" dérive des mots "anti" (contre) et "biotikos" (relatif à la vie), signifiant littéralement "contre la vie". Il a été initialement défini comme une substance produite par un micro-organisme ou d'origine biologique qui, à faibles concentrations, peut inhiber la croissance d'autres micro-organismes ou les tuer. bien que cette définition ait été acceptable à l'origine, elle a été modifiée à l'époque moderne pour inclure les produits antimicrobiens synthétiques (Popoola et al., 2024).

Ces dernières années, la consommation de composés pharmaceutiques (PC), principalement des antibiotiques, n'a cessé d'augmenter pour des usages humains et vétérinaires. En conséquence, la concentration de ces composés pénétrant dans les écosystèmes aquatiques, tels que les eaux usées municipales, les systèmes de traitement, les eaux des rivières et les eaux souterraines, a également augmenté. Les sources de ces antibiotiques comprennent les sites de fabrication, les rejets hospitaliers, les ménages, l'élevage et le ruissellement des sites aquacoles et agricoles, entraînant une pollution antibiotique dans l'environnement (Fayaz et al., 2024).

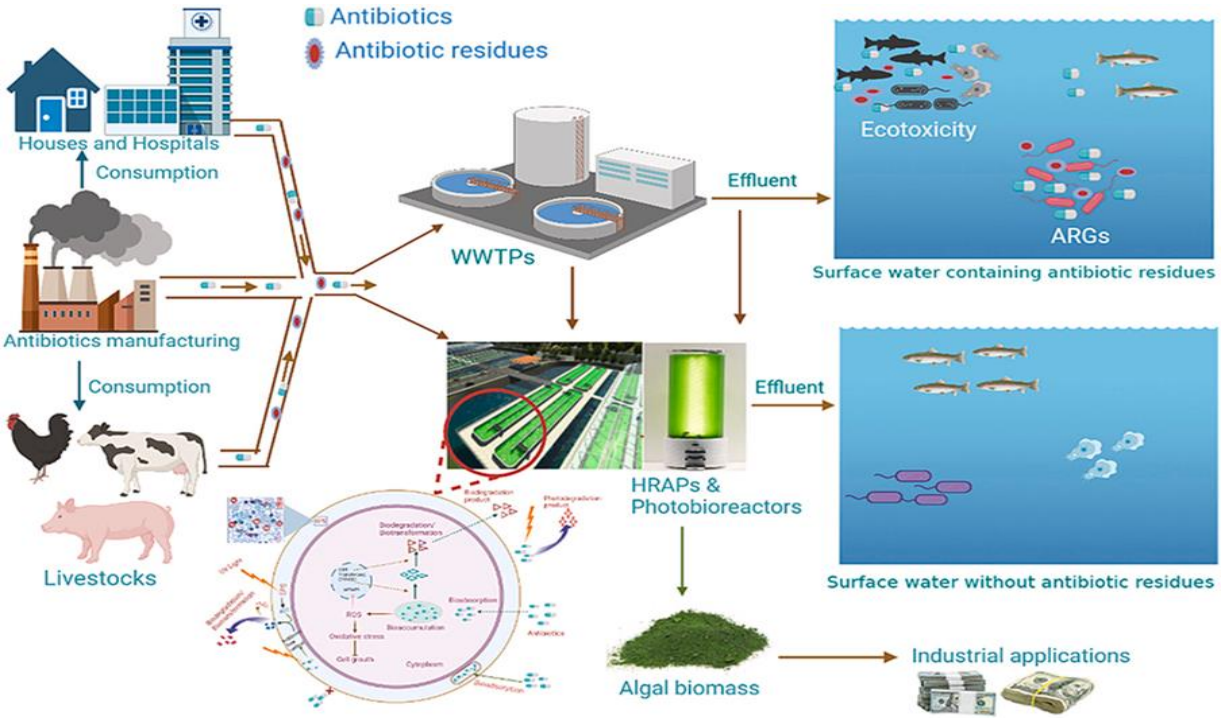


Figure 5: Source de pollution par les antibiotiques et ses implication sur le milieu aquatique (Fayaz et al., 2024)

L'effet secondaire des antibiotiques sur le vivant :

Les antibiotique affect divers organisme, au premie lieu l'homme les animaux et la microflore naturèle qui se trouve dans le sole et les eaux de surface, leur effet potentieelle sont decrie selon l'organisme ;

- **Effet sur l'environnement et les êtres humains :**

La contamination de l'environnement par des résidus d'antibiotiques suscite de vives inquiétudes. Ces substances sont continuellement déversées dans l'environnement, ce qui menace potentiellement la santé environnementale et humaine, notamment en favorisant le développement de la résistance aux antibiotiques. Établir une liste d'antibiotiques prioritaires

dans l'environnement est essentiel pour l'écopharmacovigilance et pour guider les décisions politiques (Hanna et al., 2023).

- **Effet sur les animaux :**

L'utilisation d'antibiotiques dans l'alimentation animale a été interdite dans de nombreux pays en raison de préoccupations croissantes concernant le développement de la résistance bactérienne aux antibiotiques et les problèmes potentiels en matière de sécurité alimentaire. La recherche de substituts aux antibiotiques est donc essentielle. Une alternative prometteuse consiste à appliquer la technologie épigénétique transgénérationnelle à la production animale. Des études ont montré que certains changements environnementaux peuvent être transmis à la progéniture via des mécanismes épigénétiques, sans altérer la séquence d'ADN (Li et al., 2022).

- **Effet sur les microalgues:**

Les effets de différentes concentrations d'antibiotiques sur diverses espèces de microalgues varient, présentant un schéma de « promotion à faible dose et d'inhibition à forte dose ». Bien que les seuils de ces valeurs varient selon les différents groupes et espèces d'algues, une étude a révélé une augmentation significative de la production de biomasse et de polysaccharides chez *Dictyosphaerium* sp. lorsqu'il est cultivé dans un milieu contenant du sulfamide à une concentration de 1 mg L^{-1}. Des concentrations faibles de substances toxiques organiques et de produits pharmaceutiques peuvent réduire le stress oxydatif grâce à la production de pigments photosynthétiques (Fayaz et al., 2024).

1.1.1 Les Antibiotiques commePolluants emergeant :

Amoxicillin :

L'amoxicilline est un antibiotique β-lactamine semi-synthétique largement utilisé pour traiter les maladies infectieuses bactériennes en raison de son absorption orale supérieure par rapport à d'autres types d'antibiotiques. Cependant, son métabolisme lent entraîne l'excrétion d'environ 80 à 90% de l'amoxicilline du corps humain par l'urine et les selles. cette excrétion contribue à la pollution de l'environnement et à l'accumulation de l'amoxicilline dans les écosystèmes aquatiques, dont environ 95% sont difficilement biodégradables (Wahyuni et al.,2024) L'amoxicilline, également connue sous le nom d'acide 6-(p-hydroxy-α-amino phényl) acétamidopénicillanique, appartient au groupe des aminopénicillines. cet antibiotique se présente sous forme de poudre blanche à l'odeur sulfureuse, avec une solubilité dans l'eau de 958 mg/mL

(Oday et al., 2024). l'amoxicilline (AMX) est populaire en raison de sa résistance à un large spectre de micro-organismes. elle se compose de deux parties fondamentales : la β-lactamine interne et la chaîne latérale, connue sous le nom de Dhidroxiphenilglicin. Les résidus d'AMX posent des problèmes pour la santé humaine et l'environnement (Mohammed et al., 2024).

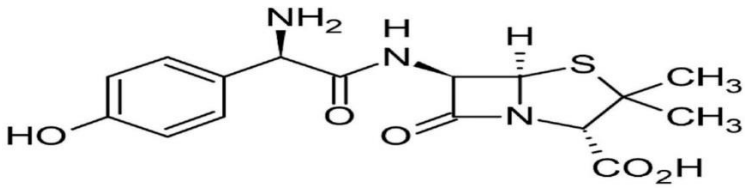


Figure 6: Structure chimique de l'amoxicilline (Mohammed et al., 2024)

L'amoxicilline est un antibiotique majeur largement utilisé dans diverses applications, notamment dans le traitement de l'otite moyenne aiguë, des infections respiratoires, de la borréliose de Lyme et des infections cutanées (Senetal., 2023). Les formulations d'amoxicilline, telles que l'amoxicilline/clavulanate, sont incluses dans les directives thérapeutiques pour le traitement des infections bactériennes, y compris la sinusite, l'otite moyenne aiguë, la pneumonie communautaire et les exacerbations aiguës de maladies chroniques telles que la bronchite (Kimaro et al., 2024).**Penicilline G benzathine :**

La benzathine benzylpénicilline G (BPG) est un antibiotique bêta-lactamase développé en 1951. Administré par voie intramusculaire, le BPG présente une faible solubilité in vivo, ce qui entraîne des concentrations sériques prolongées de pénicilline (Wyber et al., 2015). Bien que la pénicilline G benzathine soit largement utilisée en pratique clinique, elle peut aggraver les complications allergiques et d'hypersensibilité (Duran et al., 2013). Cette substance se présente sous forme de poudre cristalline formée par la fusion de deux molécules de pénicilline G et est caractérisée par une très faible solubilité et une hydrolyse in vivo. Ces caractéristiques sont associées à une absorption lente de l'injection intramusculaire, permettant une thérapie prolongée (Wyber et al., 2013).

La pénicilline G benzathine est un antibiotique essentiel pour le traitement et la prévention des infections streptococciques du groupe A associées au rhumatisme articulaire aigu et aux cardiopathies rhumatismales (Wyber et al., 2013). L'injection intramusculaire régulière de benzathine pénicilline G est la seule mesure de protection éprouvée et rentable contre la fièvre

rhumatismale aiguë récurrente et les maladies cardiaques rhumatismales progressives (Barr et al.,2023).

1.2 Les pesticides :

Les pesticides sont composés de produits chimiques provenant de divers groupes chimiques qui possèdent une forte activité organique et un large éventail d'actions. Les herbicides sont les pesticides les plus couramment utilisés, suivis des insecticides, des antiparasitaires et des fongicides. Beaucoup d'entre eux agissent en tant que modulateurs de la communication intercellulaire via les jonctions lacunaires et fonctionnent également comme perturbateurs endocriniens (Vakilian et al., 2024).

1.2.1 Composition:

Un pesticide est constitué de deux types des substances :

a. Une ou plusieurs substances actives: la directive 91/414/CEE du 15 juillet 1991, est définit comme des substances ou micro-organismes, y compris les virus exerçant une action générale ou spécifique sur les végétaux, parties de végétaux ou produits végétaux ou sur les organismes nuisibles (Amara., 2012). Ce sont des substances qui confèrent au produit l'effet désiré (Amara., 2012 ; Des et al., 2012).

*b.*Une ou plusieurs additifs ou adjuvants : sont des substances dépourvues d'activité biologique (Des et al., 2012) renforcent la sécurité du produit (répulsifs, vomitifs…) et l'efficacité (épaississants, solvants, agents mouillants tels que les dérivés du nonylphénol) (Amara., 2012), mais susceptibles de modifier les qualités du pesticide et faciliter son utilisation (Des et al., 2012).

1.2.2 Classification:

Ces substances qui peuvent être classés en plusieurs groupes selon plusieurs critères : l'origine des pesticides / famille chimique, la nature de la cible (Ibtissem, 2020). Selon la formulation (Bagayogo et al.2020).

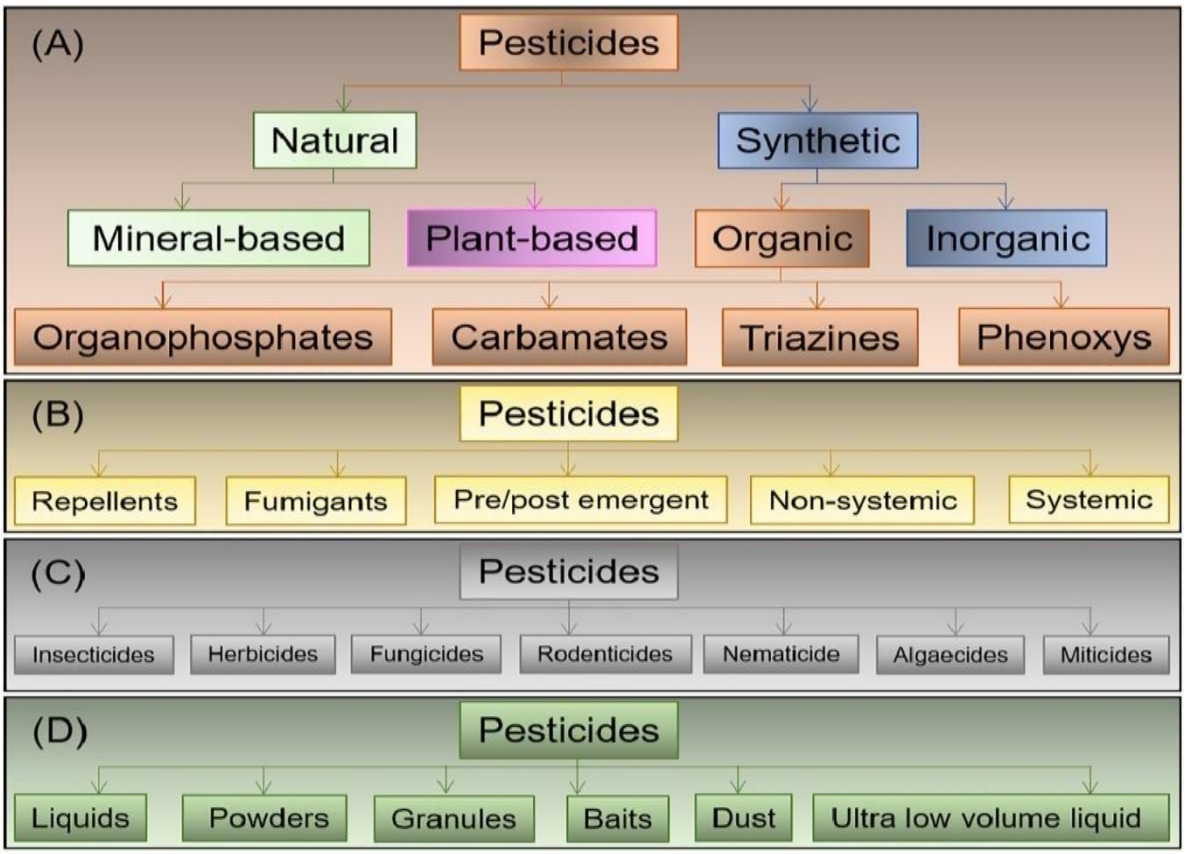


Figure 7: Classification des pesticides (Bilal et al., 2019)

Selon les propriétés chimiques :

Trois catégories sont distinguées : les pesticides organiques, organométalliques et inorganiques(Aislabie & Lloyd-Jones., 1995).

1.2.3 Transport des pesticides :

Des quantités significatives de pesticides pénètrent dans l'environnement par pulvérisation, dérive, volatilisation, lessivage et ruissellement, puis subissent une migration, une accumulation et même des transformations en produits hautement toxiques et en sous-produits persistants (Zhao et al., 2023).



Figure 8: Devenir des pesticides dans l'environnement (Science et Stage., 2012)

1.2.4 Les effets des pesticides :

Les pesticides jouent un rôle crucial en tant qu'agents agrochimiques aidant à réduire les pertes économiques causées par les ravageurs tels que les insectes, les mauvaises herbes et d'autres maladies des plantes, tout en améliorant la qualité et la quantité de la production alimentaire mondiale (Ataikiru et Ajuzieogu., 2023). La pollution aquatique par les pesticides constitue un problème majeur à l'échelle mondiale. Les pays s'appuient sur des programmes de surveillance pour évaluer la qualité des plans d'eau et sur des modèles pour estimer les risques liés aux pesticides sur l'ensemble des réseaux hydrographiques. Cependant, les mesures sont souvent rares et discontinues, ce qui pose des difficultés pour quantifier le transport des pesticides à l'échelle du bassin versant (Fabre et al., 2023).

1.2.5 La détection du pesticide :

La chromatographie et la spectrométrie de masse quadripolaire à temps de vol ont été utilisées pour détecter les pesticides dans un mode d'acquisition de données indépendant. Parmi les 181 pesticides testés, 21 ont été provisoirement détectés sur 22 sites, dont 5 ont été confirmés à l'aide de matériaux de référence certifiés. Il convient de noter que de nouveaux pesticides émergents, qui n'avaient pas été précédemment identifiés dans les cours d'eau, ont été détectés (Serasinghe et al., 2024).

Chapitre 03

Interactions polluants émergents-micro algues

1 Interactions : Antibiotiques-Microalgues :

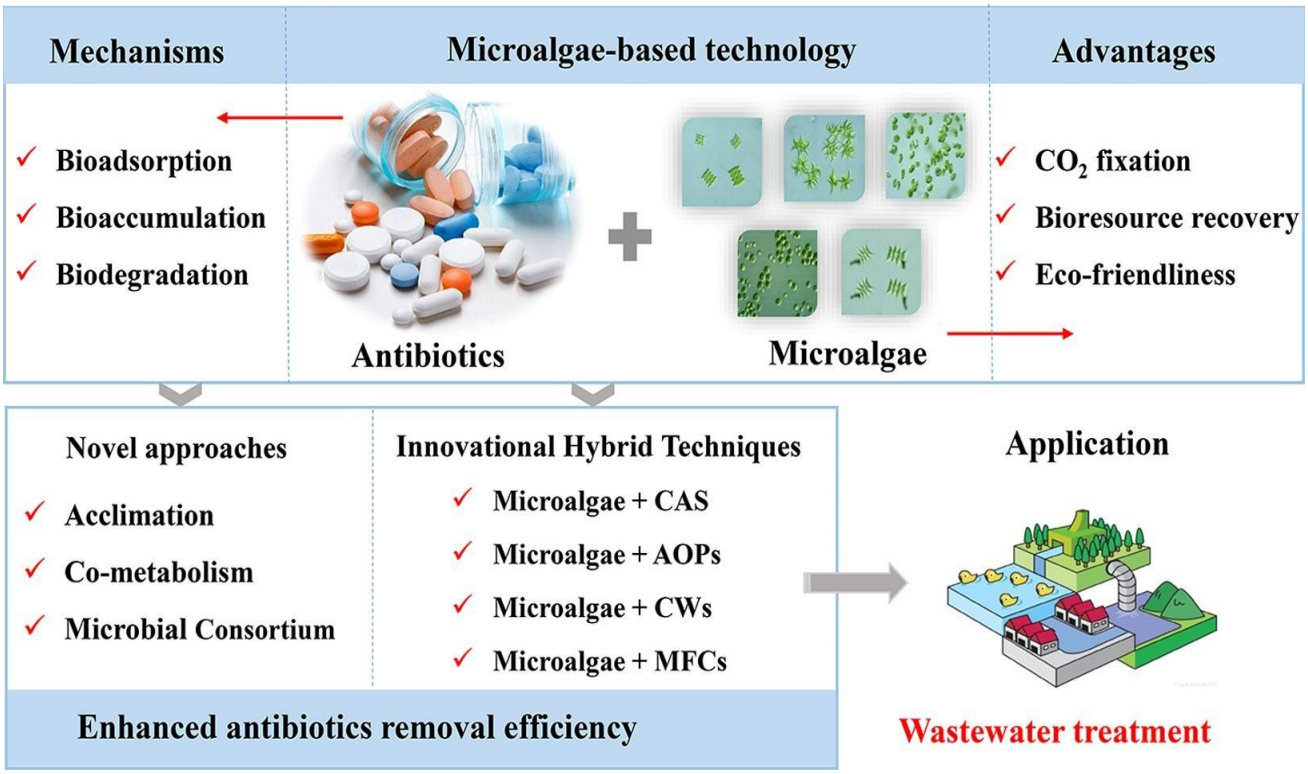
Les antibiotiques peuvent influencer la croissance des algues en entravant la synthèse de substances chimiques telles que la chlorophylle et les pigments, ainsi que les activités enzymatiques telles que la catalase et la superoxyde dismutase (Leng et al., 2020). L'effet inhibiteur des antibiotiques sur les microalgues est généralement mesuré par la concentration efficace demi-maximale (EC50), qui représente la concentration d'antibiotique nécessaire pour inhiber 50 % de la croissance des algues (Leng et al., 2020).

En tant que le groupe le plus étendu de procaryotes photosynthétiques à Gram négatif, les cyanobactéries partagent une similitude structurale avec les bactéries, les rendant ainsi plus sensibles aux modes d'action des antibiotiques que les poissons, les crustacés et les autres espèces d'algues. Les cyanobactéries peuvent également héberger des gènes de résistance aux antibiotiques lorsqu'elles sont exposées à une pollution par ces substances:

(1) - Ils contiennent des éléments génétiques tels que les éléments transposables et les plasmides qui favorisent le transfert horizontal de gènes, principal mécanisme de propagation des résistances aux antibiotiques entre des microbiotes distincts.

(2) - Certaines souches cyanobactériennes présentent une activité antibactérienne et développent des mécanismes d'autoprotection, ce qui favorise la mutation et l'évolution des gènes de résistance aux antibiotiques.

(3) - Les plasmides peuvent conférer aux cyanobactéries une résistance aux antibiotiques à des concentrations pertinentes dans l'environnement (Wang et al., 2020). La technologie basée sur les microalgues est largement considérée comme une alternative prometteuse aux méthodes conventionnelles de traitement des eaux usées, en raison de son caractère alimenté par l'énergie solaire, écologique, rentable et durable. Cette revue fournit des informations fondamentales sur les principaux mécanismes impliqués dans l'élimination des antibiotiques par les microalgues, notamment la bioadsorption, la bioaccumulation et la biodégradation (Xiong et al., 2021).



La bioadsorption est un processus passif et rapide favorisé par plusieurs mécanismes, tels que la précipitation en surface, l'échange d'ions, la formation de complexes et l'interaction électrostatique. Ces processus interviennent dans l'interaction entre les parois cellulaires des microalgues et les antibiotiques. L'efficacité de l'adsorption dépend de divers facteurs, notamment des propriétés de la biomasse des microalgues, des groupes fonctionnels disponibles à la surface, ainsi que de la composition et du caractère de la surface elle-même.

La bioabsorption représente la première étape de la bioaccumulation, au cours de laquelle les antibiotiques pénètrent à l'intérieur des cellules et s'y accumulent. Cette accumulation intracellulaire des antibiotiques conduit à la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), qui agissent comme un mécanisme de signalisation favorisant l'expression génique des enzymes de biodégradation. La biodégradation est ainsi la principale méthode d'élimination des antibiotiques.

La bioaccumulation et la biosorption cumulent les antibiotiques à l'intérieur de la cellule, tandis que la biodégradation les dégrade en molécules simples. Les mécanismes moléculaires exacts de la bioremédiation des antibiotiques demeurent encore inconnus, bien qu'il ait été rapporté que les enzymes et les substances polymères extracellulaires jouent un rôle crucial dans

l'élimination des antibiotiques des milieux aqueux. Les mécanismes détaillés d'élimination des antibiotiques sont représentés sur la figure 9 (Fayaz et al., 2024).

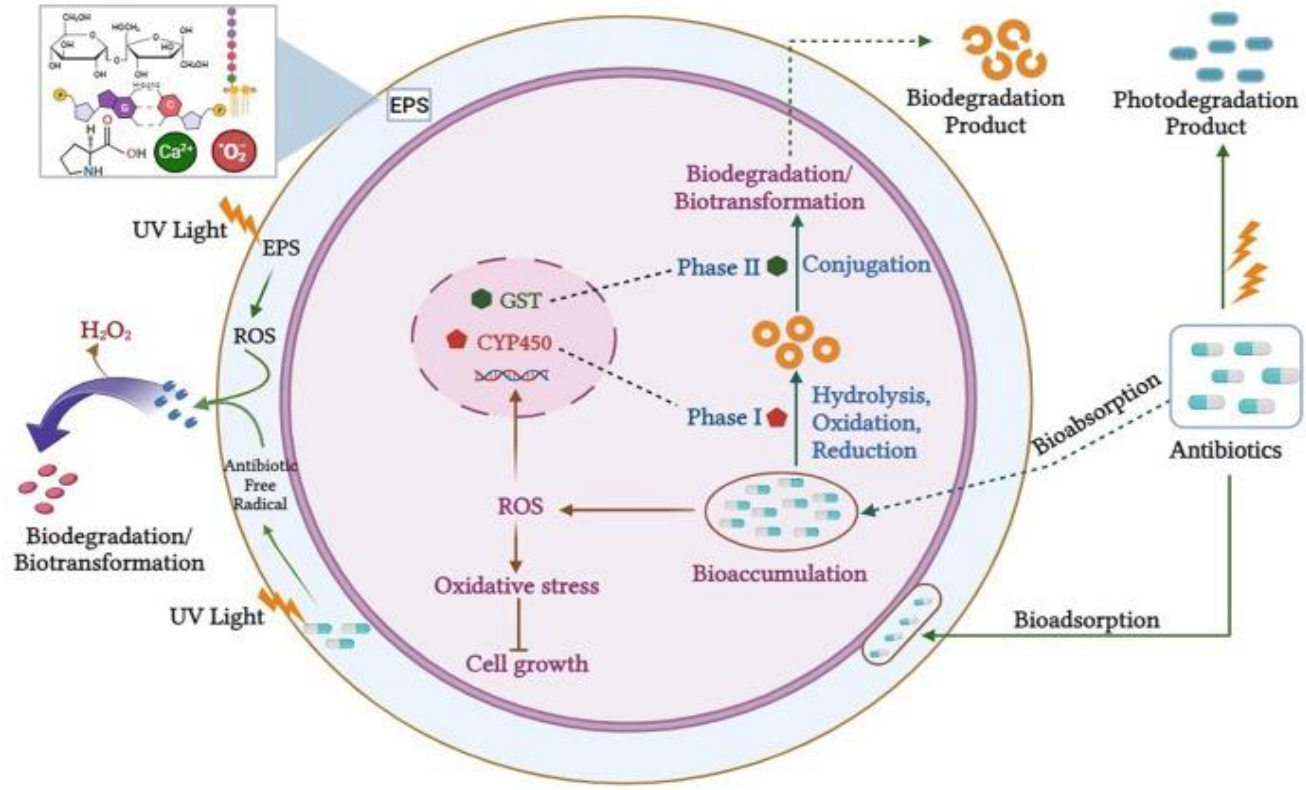


Figure 9:Rôle des substances polymères extracellulaires (EPS) et des enzymes des microalgues dans la dégradation et la transformation des antibiotiques. ROS: espèces réactives de l'oxygène : Lumière UV : Lumière ultraviolette : CYP450 : cytochromes 450 : GST : Glutathion S-transférase (Fayaz et al., 2024)

1.1 Interactions pesticide-microalgues :

L'application aveugle de pesticides dans le domaine agricole a un impact significatif sur la croissance des plantes et des cyanobactéries en induisant la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS). Une accumulation excessive de ROS, telles que le radical superoxyde (O^{2-}) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), entraîne un état toxique connu sous le nom de stress oxydatif. La génération de ces ROS se produit principalement au niveau de divers systèmes de transport d'électrons, augmentant ainsi le risque de dommages aux grosses biomolécules telles que les lipides, les protéines et l'ADN.

D'autre part, il est désormais confirmé que les ROS agissent en tant que messagers secondaires à des concentrations minimales, guidant plusieurs processus physiologiques par le

biais de la signalisation redox et régulant l'expression des protéines et des gènes. Les cellules disposent de mécanismes de défense évolués comprenant de nombreux systèmes antioxydants pour contrôler la quantité de ROS, minimisant ainsi les dommages causés aux macromolécules. Lorsque les ROS sont maintenus sous une limite, ils participent également à la voie de signalisation. Ce système de défense comprend à la fois des enzymes et des antioxydants non enzymatiques, parmi lesquels les enzymes et les métabolites du cycle ascorbate-glutathion (AsA-GSH) jouent un rôle crucial dans la régulation et la détoxification des ROS (Tiwari and Prasad.,2022).

Les pesticides peuvent avoir des effets fatals sur la photosynthèse et la fixation de l'azote chez les cyanobactéries, en interférant avec le comportement membranaire et en inhibant les processus métaboliques, de manière synergique, antagoniste, additive ou autre (Pandey & Rai.,2002). Malgré cela, les cyanobactéries surmontent souvent ces situations défavorables et se multiplient abondamment. Elles utilisent les déchets comme source de nutrition et détoxifient les polluants grâce à diverses activités enzymatiques (Kalita and Baruah., 2023).

Partie expérimentale

Chapitre 01

Matériels et Méthodes

1 Période et lieu de stage :

Notre étude expérimentale a été réaliser au niveau de laboratoire pédagogique de biologie de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Dr « Yahia Fares » à Médéa, durant la période s'étalant entre mois de février et mois d'avril 2024.

Le but de ce travail est d'évaluer les différents effets toxiques d'AMX et d'ACEsur *A. platensis* sous différents niveaux de contamination. Les effets inhibiteurs ont été étudiés en déterminant la croissance d'*A. platensis*, qui semble plus sensible au polluants. Les quantités de pigments photosynthétiques (chlorophylle *a* et caroténoïdes) et de biocomposants primaires(protéines, lipides et glucides) ont également montré des variations évidentes pour s'adapter austress.

2 Verrerie et produits chimiques

La verrerie (pipettes, tubes à essai, flacons, béchers, etc.) utilisée dans la présente étude étaient de qualité standard et ont été achetés auprès de sociétés standard.

2.1 Autoclavage

Les milieux de culture ont été stérilisés dans un autoclave. Le milieu de croissance a été placé dans un flacon, rempli de coton et emballé avec du papier. Ensuite, le flacon a été stérilisé à une pression de 15 lb-inch-2 et à 121°C pendant 15 minutes. La quantité de milieu souhaitée a été versée dans une verrerie de taille appropriée, correctement bouchée avec du coton, avant l'autoclavage.

3 Organismes expérimentaux et conditions de croissance

La microalgue utilisée dans cette étude, *S. platensis*, a été obtenue de sud d'Algérie offert par le laboratoire de biotechnologie et Génie des procédés de l'école polytechnique, Alger, Algérie.

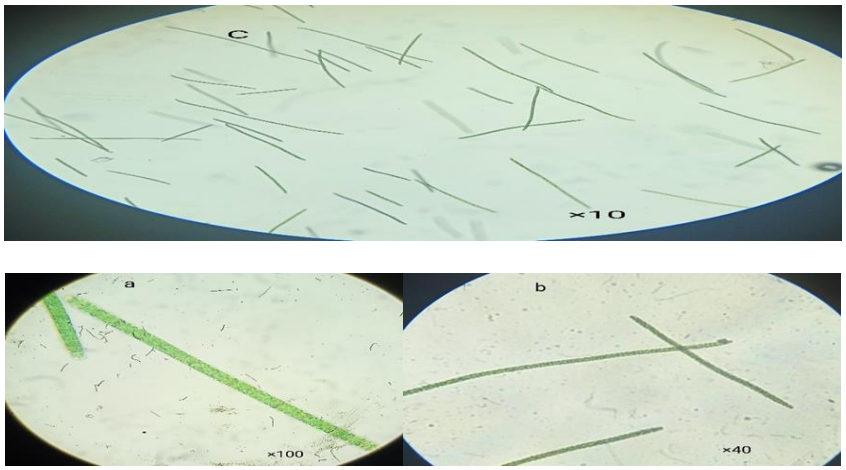


Figure 10: Observation microscopique de spiruline à différents agrandissement

Les cellules de microalgues ont été cultivées dans le milieu Zarrouk (Tableau) comme inoculum original. Pour commencer les cultures par lots, l'inoculum de microalgues à la phase log a été inoculée dans le milieu Zarrouk.

4 Les Milieux de cultures des Cyanobactéries :

Le milieu de croissance Zarrouk est une combinaison populaire de minéraux et de sels utilisés dans la culture de la spiruline comme éléments constitutifs de la croissance et de l'épanouissement de la spiruline. La composition du milieu de culture est la suivante.

Tableau 1: les compositions chimiques en (g/L) d'eau au milieu Zarrouk (Zarrouk., 1966)

Produit chimique	**Quantité en g /l**
Hydrogénocarbonate de sodium ($NaHCO_3$)	16.8
Phosphate dipotassique (K_2HPO_4)	0.5
Nitrates de sodium ($NaNO_3$)	2.5
Sulfate de potassium (K_2SO_4)	1.0
Chlorure de sodium (NaCl)	1.0
Sulfate de magnésium ($MgSO_4$, $7H_2O$)	0.2
Chlorure de calcium ($CaCl_2$)	0.04
Sulfate de fer ($FeSO_4$, $7H_2O$)	0.01
Acide éthyléne diamino ctétracétique (EDTA)	0.08
Solution A_5	1.0
Solution B_6	1.0

5 Incubation et entretien de la culture pure :

Les cultures discontinues des microalgues ont été réalisées dans des fioles coniques d'un volume utile de 500 ml et initiales concentration de biomasse de microalgues d'environ 0,20 g/L de poids sec. Le milieu de culture a été autoclavé et le pH a été ajusté à 9,5 ± 0,1 en utilisant du HCl 0,1 M et du NaOH 0,1 M. Toutes les cultures ont été réalisées dans une salle à température contrôlée (25 ± 1°C) avec air filtré (0,5 vvm) pour l'agitation. L'illumination continue de la culture était effectuée sur le côté des flacons à l'aide d'un tube à fluorescence froide de 28 W avec une constante intensité lumineuse de 75 (± 2,5) µmol m^{-2} s^{-1} mesurée à la surface des flacons.

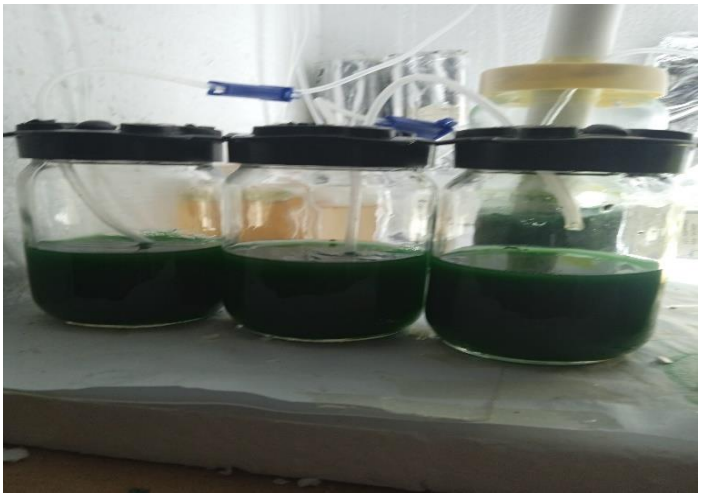


Figure 11: La culture de la spiruline

6 Expériences de dépistage

Pour la sélection des doses de pesticides et des antibiotiques, c'est-à-dire Aceplan et Amoxicilline plusieurs montages de criblage ont été prévus. Des cyanobactéries cultivées enphase logarithmique ont été utilisées pour le traitement D'AMX et ACE, et leur combinaison ont été sélectionnés après 72 h de traitement, respectivement, pour spiruline.

6.1 Conception de treatment

Les cultures *S. Platensis* de la phase exponentielle précoce ont été récoltés par centrifugation à 3500 g pendant 10 min et lavés deux fois avec de l'eau distillée, puis lesculots ont été remis en suspension dans des milieux de culture respectifs contenant 10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l, 40 mg/l, 50 mg/l concentrations de pesticides additionnés ACE. Et 20mg/l , 40mg/l, 60mg/l, 80mg/l, 100mg/l concentrations d'antibiotique additionnés AMX . Il y avait quatre

répétitions (n = 4) pour chaque traitement et tous les paramètres ont été analysés après 72 h d'expérience en prélevant des volumes définis de cultures. Le dispositif expérimental est présenté sous forme d'organigramme.

6.2 Mesures de croissance :

La croissance de cyanobactérie a été enregistrée en mesurant l'absorbance de la suspension cellulaire à 618 nm après 72 heures d'expérience, en utilisant le spectrophotomètre UV-Visible. La concentration initiale de la culture a été fixée entre 0,8 et 1nm.

6.3 Suivi morphologique par microscopique optique :

On dépose sur une lame porte-objet une goutte de culture de la souche *Arthrospira platensis* à examiner, cette goutte est recouverte d'une lame couvre-objet. La préparation est examinée à l'objectif à immersion (100x), après dépôt d'une goutte d'huile à immersion. Observations :

- ✓ Grossissement 10X, 40X, 100X.
- ✓ Diaphragme quasiment fermé pour augmenter le contraste.
- ✓ Une intensité lumineuse ajustée.

6.4 Pigments photosynthétiques

6.4.1 Estimation de la chlorophylle*a, b* et des caroténoïdes :

Les teneurs totales en chlorophylle et en caroténoïdes d'*A. platensis* ont été extraites avec 2 ml d'éthanol à 96 % et mesurées à 665, 649 et 470 nm. La concentration de chlorophylles et de caroténoïdes pourrait être calculée par l'équation décrite par Danesh et al. (2017),bref, 1 ml de suspension de microalgues a été échantillonné et centrifugé à 15 000 tr/min pendant 15 min. Après avoir jeté le surnageant, le culot de microalgues a été effectué dans un cycle de quatre cycles de congélation et de décongélation (un cycle est congelé à -20 ℃ pendant 4 heures et décongelé à température ambiante pendant 20 min) pour perturber la paroi cellulaire. Un certain volume d'éthanol a ensuite été ajouté au culot, bien mélangé et maintenu au bain-marie bouillant pendant 15 min. Après centrifugation à 15 000 tr/min pendant 15 min, l'absorbance du surnageant a été mesurée à 665, 649 et 470 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis. La concentration de chlorophylle et de caroténoïde dans l'échantillon pourrait être obtenue par l'équation :

6.5 Mesure des caractères biochimiques de*Spirulina platensis*

6.5.1 Composants biochimiques

6.5.1.1 Estimation de la teneur en protéines

La teneur en protéines de l'EPS algal a été déterminée par la méthode de Lowry et al. (1951). Cent milligrammes de l'échantillon d'EPS ont été pesés et prélevés dans un tube bouillant et 5 ml de réactif (2 % de $NaCO_3$ dans 0,1 N NaOH et 0,5 % de $CuSO_4$ dans 1 % de tartrate de potassium et de sodium) ont été ajoutés au tube. Mélanger le contenu des tubes au vortex et laisser reposer les tubes pendant 10 min. Ensuite, 0,5 ml de réactif Folin-Ciocalteau dans NaOH 0,1 N ont été ajoutés rapidement sous agitation rapide et incubés à 37 ° C ± 2 dans la chambre noire pendant 30 min. L'absorbance de la solution a été enregistrée à 660 nm par rapport au blanc. Un tube contenant 1 ml d'eau distillée a servi de blanc.

6.5.1.2 Estimation de la teneur en lipides :

La teneur en lipides a été mesurée via la méthode colorimétrique en utilisant le réactif Sulfo-phospho-vanilline (SPV) selon Mishra et al., (2014). Un ml de culture liquide a été centrifugé à 4 000 tr/min pendant 5 min et remis en suspension dans 100 µL d'eau. Après avoir ajouté 2 ml d'acide sulfurique concentré (98 %), les échantillons ont été chauffés pendant 10 min à 100 °C et refroidis pendant 5 min dans un bain de glace. Ensuite, 5 ml de réactif phospho-vanilline fraîchement préparé (0,6 g de vanilline dans 10 ml d'éthanol absolu ; 90 ml désionisés ; 400 ml d'acide phosphorique concentré) ont été ajoutés et les échantillons ont été incubés dans un agitateur-incubateur (37 ° C ; 200 tr/min) pendant 15 minutes. L'absorbance a été mesurée à 530 nm afin de quantifier le lipide des échantillons par rapport à une courbe étalon préparée à partir d'huile de canola.

6.5.1.3 Estimation de la teneur en carbohydrates :

La procédure de la méthode acide sulfurique-UV proposée est la suivante. Une aliquote de 1 ml de solution de glucides est rapidement mélangée à 3 ml d'acide sulfurique concentré dans un tube à essai et vortexée pendant 30 s. La température du mélange augmente rapidement dans les 10 à 15 s après l'ajout d'acide sulfurique. Ensuite, la solution a été refroidie dans la glace pendant 2 minutes pour la ramener à température ambiante. Enfin, l'absorption de la lumière UV à 315 nm est lue à l'aide d'un spectrophotomètre UV. Les solutions de référence sont préparées en suivant la même procédure que ci-dessus, sauf que l'aliquote de glucides est remplacée par de l'eau DDI.

6.5.2 Indices de dommages oxydatifs :

6.5.2.1 Estimation de peroxyded'hydrogène (H_2O_2) :

La teneur en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) a été déterminée par spectrophotométrie sur la base d'une méthode modifiée de Velikova et al. (2000).

❖ **Réactifs**

- Acide trichloacétique (TCA) (1%)
- Potassium Phosphate Buffer (PBS)
- Potassium iodide (KI)

❖ **Procédure**

Les échantillon frais a été homogénéisé dans un mortier et un pilon réfrigérés avec 5 ml de TCA à 0,1 % glacé. L'extrait de feuille a été centrifugé à 12 000 rpm (4 ˚C) pendant 15 min. Les 0,5 ml de surnageant ont été mélangés avec 0,5 ml de tampon phosphate de potassium 10 mM (pH 7,0) et 1 ml d'iodure de potassium (KI) 1M, puis incubés dans l'obscurité pendant 1 h à température ambiante. L'absorbance du surnageant a été mesurée à 390 nm à l'aide d'un spectromètre UV.

6.5.2.2 Estimation de la peroxydation des lipides (formation d'équivalents MDA) :

Le niveau de peroxydation lipidique a été mesuré par quantification de la teneur en malondialdéhyde (MDA) produit par l'acide thiobarbiturique (TBA) pour évaluer les dommages membranaires selon la méthode modifiée de Gupta et al. (2018).

❖ **Réactifs :**

- Acide -2- thiobarbiturique (TBA)
- Acide trichloacétique (TCA)

❖ **Procédure**

Les échantillons frais ont été broyées en homogénat en utilisant 1 ml d'acide trichloracétique (TCA) à 10% et centrifugées à 8 000 rpm pendant 10 min. Le surnageant (500 µL) a été mélangé avec 1 ml de solution aqueuse de TBA à 0,67 % et incubé pendant 30 min dans un bain d'eau chaude à 90 ˚C. Après l'incubation, il a été refroidi immédiatement dans un bain de glace et

centrifugé à 10 000 rpm pendant 10 min. L'absorbance du surnageant obtenu a été mesurée à 532 et 600 nm à l'aide d'un spectromètre UV.

6.5.3 Antioxydants enzymatiques

6.5.3.1 Estimation de l'activité de l'ascorbiate perexydase (APX) :

L'activité APX a été estimée en surveillant la diminution de l'absorbance de l'ascorbate à 290 nm (Nakano et Asada., 1987).

❖ **Réactifs**

- Acide ascorbique (ASA) (0.5mM)
- Peroxyde d'hydrogène(H_2O_2) (0.1m M)
- Phosphate buffer (50 mM, pH7)
- Acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA)

❖ **Procédure**

La suspension de cyanobactéries a été récoltée à partir de différents échantillons d'essai par centrifugation, lavée deux fois avec de l'eau distillée et les culots obtenus ont été homogénéisés dans 50 mM glacés de tampon phosphate (pH 7,0) contenant 1mM d'EDTA et 0,5 mM d'ascorbate réduit, centrifugés à 20 000 rpm pendant 10 min à 4 °C et le surnageant obtenu a été utilisé comme extrait enzymatique. Mélange réactionnel maintenu jusqu'à 2 ml contenant 50 mM de tampon phosphate de potassium (pH 7,0) contenant 1 mM d'EDTA, 0,5 mM d'ascorbate réduit, 0,1 mM de H_2O_2 et un extrait enzymatique (100 µl). L'absorbance de chaque échantillon a été enregistrée à 290 nm en utilisant un spectrophotomètre UV-Visible. La diminution de l'absorbance était due à l'oxydation de l'ascorbate et l'activité enzymatique a été calculée en utilisant le coefficient d'extinction 2,8 $mM^{-1}cm^{-1}$. Une unité d'activité enzymatique est définie comme 1 nmol d'ascorbate oxydé par min^{-1}.

6.5.3.2 Estimation de l'activité de la glutathion-S-transférase (GST ; EC 2.5.1.18):

L'activité GST a été dosée selon la méthode de Habig et al. (1974) en utilisant le 1-chloro 2,4-dinitrobenzène (CDNB) comme substrat.

❖ **Réactifs**

- Tampon phosphate de potassium (pH 6,3) (100mM)

- chloro - 2, 4 - dinitrobenzène (CDNB) (0.75mM)
- Glutathion (GSH) (30mM)

❖ **Procédure**

La suspension de cyanobactéries traitée et non traitée a été récoltée par centrifugation, puis les culots obtenus ont été homogénéisés dans un tampon de phosphate de potassium 100 mM réfrigéré (pH 6,3), centrifugés à 20 000 rpm pendant 10 min à 4 °C et le surnageant a été utilisé comme extrait enzymatique. Le dosage enzymatique a été effectué dans 3 ml de mélange réactionnel contenant 100 mM de tampon phosphate de potassium (pH 6,3), 0,75 mM de CDNB, 30 mM de glutathion réduit (GSH) et 200 µl d'extrait enzymatique. L'activité a étéréalisée à 25°C. L'augmentation de l'absorbance due à la formation d'un conjugué entre GSH et CDNB aété contrôlée à 340 nm. Le mélange réactionnel sans extrait enzymatique a été utilisé comme blanc. L'activité enzymatique a été calculée en utilisant un coefficient d'extinction de 9,6 mM^{-1} cm^{-1}. L'activité enzymatique a été exprimée en unités, chaque unité représentant 1 nmol de conjugués CDNB formés min^{-1}.

6.5.3.3 Estimation de l'activité peroxydase (POD; EC 1.11.1.7) :

La méthode décrite par Kar et Mishra. (1976)a été adoptée pour déterminer l'activité du POD.

❖ **Réactifs**

- Tampon phosphate0,1 M
- H_2O_2 5 mM
- Pyrogallol 0,1 mM
- 1 ml de H_2SO_4 2,5 N

❖ **Procédure**

Le mélange de test était constitué de tampon phosphate 0,1 M, de $H_2O_2$5 mM et de pyrogallol 0,1 mM avec des extraits enzymatiques (100 µL). Le mélange a été incubé à 25 °C pendant 5 min. En ajoutant 1 ml de $H_2SO_4$2,5 N, la réaction a été arrêtée et l'absorbance de la couleur indigo formée a été enregistrée à 420 nm. L'absorbance de toutes les activités enzymatiques a été mesurée à l'aide d'un spectromètre UV.

6.6 Analyses statistiques

Toutes les expériences ont été réalisées en triple et les données ont été présentées sous forme de valeurs moyennes avec écarts types (ET). Une analyse de variance unidirectionnelle (ANOVA) avec le test post-hoc (Duncan) a été utilisée pour analyser les différences significatives entre les groupes témoins et les groupes de traitement à l'aide du logiciel SPSS 22.0. Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives (*) et très significatives (**).

Chapitre 02

Résultats

1 Effet de L'Amoxicilline sur *Arthrospira platensis* :

1.1 Effet sur le comportement de croissance et les pigments photosynthétiques :

1.1.1 Comportement de croissance :

La croissance d'*A.platensis*, également connue sous le nom de spiruline, exposée à l'antibiotique (AMX), a été mesurée en termes de poids sec. La Figure 10 illustre l'effet d'AMX sur la spiruline, montrant une tendance similaire à celle de la biomasse jusqu'au 5ème jour de culture. Cependant, l'effet d'AMX sur la spiruline augmente avec l'augmentation de la durée de culture (Fig.10). La cyanobactérie spiruline a montré une réduction significative ($p < 0,05$) de sa croissance avec l'augmentation des concentrations d'AMX (20, 40, 60, 80, 100 mg/L), notamment après 5 jours de culture par rapport au contrôle. De plus, une diminution de la croissance a été observée avec 12,91% de réduction dans AMX3 à 60 mg/L et une diminution significative de 22,37% dans AMX5 à 100 mg/L par rapport au témoin, pendant le 1ère jour de culture.

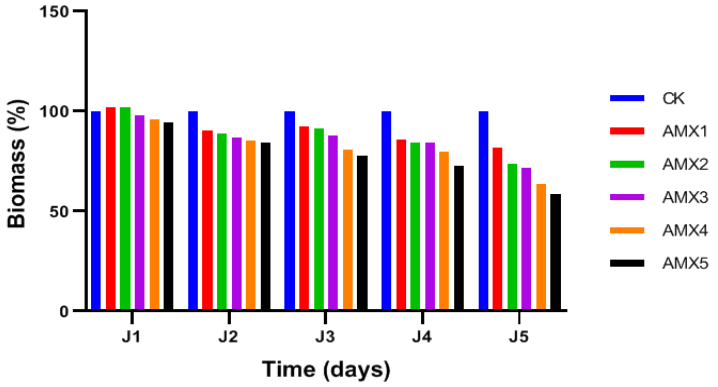


Figure 12: L'effet de l'antibiotique AMX a différents concentration(CK : control, AMX1 : 20mg/l, AMX2 :40mg/l, AMX3 :60mg/l, AMX4 :80mg/l, AMX5 :100mg/l) sur le poids sec *d'A. platensis*

1.2 Effet de L'Amoxicilline sur la teneur en pigments photosynthétiques à défirent concentrations :

1.2.1 Teneur en chlorophylle *a* et caroténoïdes :

La teneur en chlorophylle *a* et en caroténoïdes d'*A. platensis* a été étudiée après l'exposition à différentes concentrations d'AMX pendant 5 jours. D'après la Figure 11, le traitement à l'AMX avec différentes concentrations sur la spiruline montre une diminution significative de la chlorophylle *a* dans AMX2 à 40 mg/l de 25,28% par rapport au contrôle (CK). De plus, une diminution hautement significative de la chlorophylle *a* est observée dans AMX5 à 100 mg/l, avec une réduction de 50,27%.

En ce qui concerne les caroténoïdes, le traitement à l'AMX avec différentes concentrations sur la spiruline montre une augmentation hautement significative des caroténoïdes dans AMX3 à 60 mg/l et AMX5 à 100 mg/l de 267,17% et 281,36% respectivement par rapport au contrôle (CK).

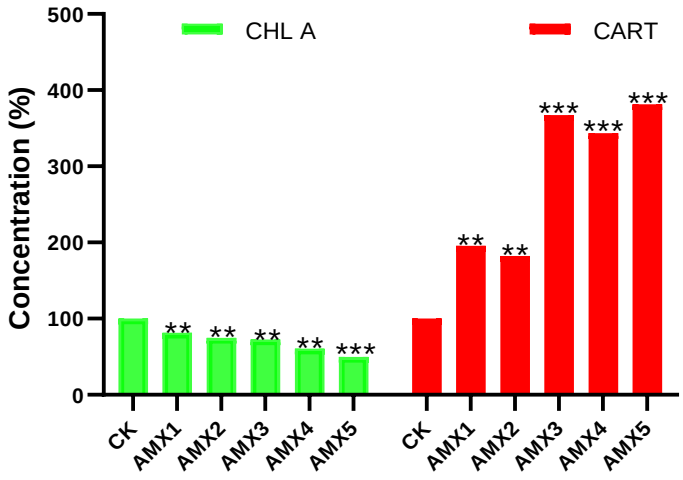


Figure 13: Effet de l'AMX sur la teneur en chlorophylle a et caroténoïdes de la spirulineà diffférents concentrations (CK : control, AMX1 : 20mg/l, AMX2 :40mg/l, AMX3 :60mg/l, AMX4 :80mg/l, AMX5 :100mg/l) . Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n = 4).

1.3 Effet de L'Amoxicilline à déférents concentrations sur la teneur en molécule biochimique :

1.3.1 Teneur en protéine, lipides et carbohydrate :

Selon la Figure 12, une exposition de 5 jours à différentes concentrations d'AMX (AMX1 : 20 mg/l, AMX2 : 40 mg/l, AMX3 : 60 mg/l, AMX5 : 100 mg/l) montre clairement une augmentation continue de la teneur en glucides, atteignant 34,12% lors de l'application d'AMX5 à 100 mg/l (Figure 12A). De même, comme le montre la Figure 12B, la teneur en protéines présente une tendance similaire à celle des glucides. Une augmentation significative de 42,34% a été observée dans la spiruline exposée aux cinq traitements différents, notamment lors de l'application d'AMX5 à 100 mg/l par rapport au témoin.Intéressant à noter, la teneur en lipides de la Figure 12C montre une tendance presque opposée à celle des protéines et des glucides. Les résultats montrent que la teneur en lipides la plus faible est obtenue dans le traitement AMX5 à 100 mg/l, avec une diminution de 43,08% par rapport au contrôle (CK). De plus, le niveau de lipides diminue avec l'augmentation de la concentration d'AMX.

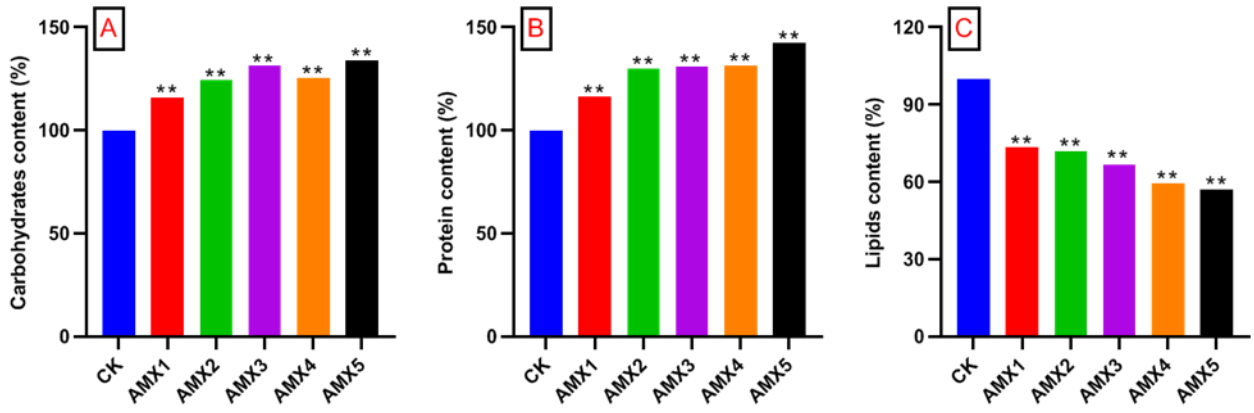


Figure 14: Effet de l'AMX sur la teneuren protéines, lipides et en carbohydrate de la spirulineà différents concentrations (CK :control, AMX1 : 20mg/l, AMX2 :40mg/l , AMX3 :60mg/l, AMX4 :80mg/l, AMX5 :100mg/l). Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n = 4).

1.4 Effet de l'Amoxicilline à différentes concentrations sur la teneur en biomarqueurs de stress oxydative :

1.4.1 Peroxydation lipidique (MDA) et peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) :

L'évaluation de la peroxydation lipidique en équivalents MDA (malondialdéhyde) et en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) dans les cyanobactéries testées exposées au stress d'AMX est illustrée à la Figure 13. Les niveaux en équivalents de H_2O_2 et de MDA, révélant leur dépendance à l'AMX, ont effectivement augmenté à l'intérieur de la cellule. Une augmentation remarquable de la production de MDA a été observée dans les pigments de *S. platensis* soumis aux traitements à l'AMX. Le taux de MDA mesuré lors de l'application d'AMX5 à 100 mg/l a augmenté de 208,65% par rapport au témoin. De plus, une augmentation très significative de la génération de H_2O_2 a été documentée dans les spirulines exposées aux traitements à l'AMX. Les teneurs en H_2O_2 mesurées lors de l'application d'AMX étaient 45,19% plus élevées sur AMX5 à 100 mg/l par rapport au contrôle (Figure 13).

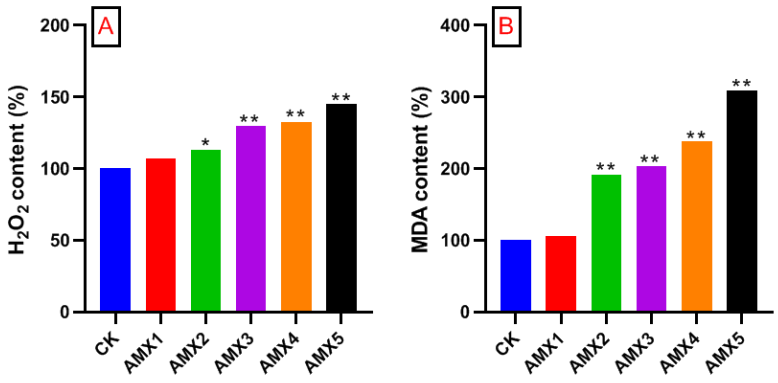


Figure 15: Effet de l'AMX sur la teneuren MDA et en H_2O_2 de la spirulineà différents concentrations (CK :control, AMX1 : 20mg/l, AMX2 :40mg/l, AMX3 :60mg/l, AMX4 :80mg/l, AMX5 :100mg/l). Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n = 4).

2 Effet de l'Amoxicilline à différentes concentrations sur la teneur en l'activité enzymatique antioxydant :

Comme le montre la Figure 14, après 5 jours d'exposition à l'AMX, les enzymes antioxydant ont été étudiées en termes d'activité GST, POD et APX, comme détaillé dans la figure 14. D'après cette dernière, une augmentation remarquable de la teneur en POD de 52,65% a été observée lors de l'application d'AMX5 à 100 mg/l par rapport au témoin. Des résultats similaires ont été notés pour le GST, montrant une augmentation de 32,83% en présence d'AMX2 à 40 mg/l et une augmentation de 45,92% lors du traitement par AMX4 à 80 mg/l. En revanche, pour l'APX, selon la Figure 14, il a été observé une diminution significative de la teneur en APX de 13,88% lors de l'application d'AMX2 à 40 mg/l par rapport au témoin.

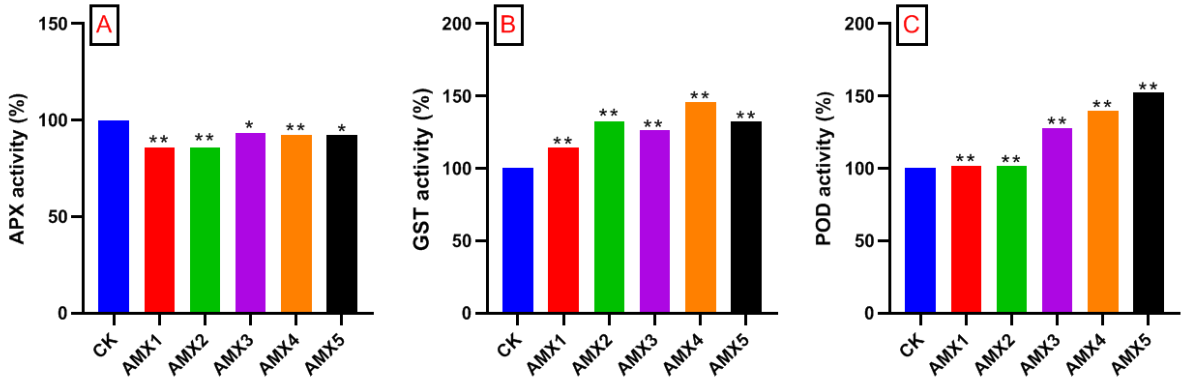


Figure 16: Effet de l'AMXsur la teneur en en l'activité enzymatique antioxydant APX, GST et POD de la spirulineà différents concentrations (CK :control , AMX1 : 20mg/l ,AMX2 :40mg/l AMX3 :60mg/l ,AMX4 :80mg/l , AMX5 :100mg/l) . Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n = 4).

3 Effet de pesticide ACEPLAN SP20 (ACE) sur *Arthrospira platensis* :

3.1 Effet de l'ACE sur la croissance de Arthrospira *platensis* :

Comportement de croissance :

La biomasse d'*A. platensis* a été étudiée après l'exposition à différentes concentrations d'ACE pendant 5 jours. Le poids sec a diminué de manière significative avec l'augmentation des concentrations (10-50 mg/L) (Fig. 15). Selon les données de la Figure 15 et pendant les 5 jours de culture, la biomasse d'*A. platensis* a diminué de 1,96% lors de l'application d'ACE5 à 50 mg/l et de 34,25% lors de l'application d'ACE5 à 50 mg/l par rapport au témoin (CK). L'effet de l'ACE sur la spiruline a montré une tendance similaire à celle de la biomasse pour les autres jours. Toutefois, l'effet de l'ACE sur la spiruline augmente avec l'augmentation de la durée de culture (Fig. 15).

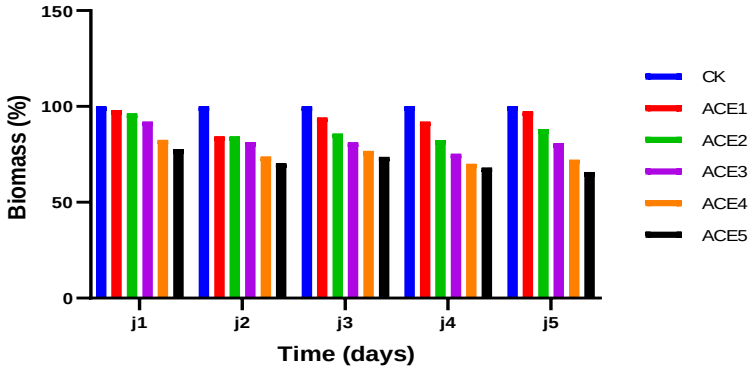


Figure 17: Effet de l'ACE sur la croissance de la spiruline à différents concentrations (CK :control, ACE 1: 10mg/l, ACE2 :20mg/l, ACE3 :30mg/l, ACE4 :40mg/l, ACE5 :50mg/l) . Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n = 4).

3.2 Effet de l'ACE à différentes concentrations sur la teneur en pigments photosynthétiques

3.2.1 Teneur en chlorophylle *a* et caroténoïdes :

La figure 16 représente la teneur en chlorophylle *a* et en caroténoïdes dans la cyanobactérie testée. Par conséquent, la teneur en chlorophylle *a* et en caroténoïdes d'*A. platensis* a été étudiée après exposition à différentes concentrations d'ACE pendant 5 jours. Comme il est remarquable, toutes les concentrations d'ACE ont induit un effet sur la chlorophylle *a* chez *A. platensis*. Une forte diminution de la teneur en chlorophylle *a* a été clairement observée en augmentant la concentration d'ACE, ce qui a finalement conduit à un déclin de 61,17% de la chlorophylle *a* lors de l'application de ACE5 à 50 mg/L.

En ce qui concerne le contenu en caroténoïdes, la Figure 16 présente une tendance d'augmentation en augmentant les concentrations d'ACE. En particulier, ACE4 à 40 mg/L a entraîné une augmentation de 143,24% de la teneur en caroténoïdes par rapport au témoin (ck).

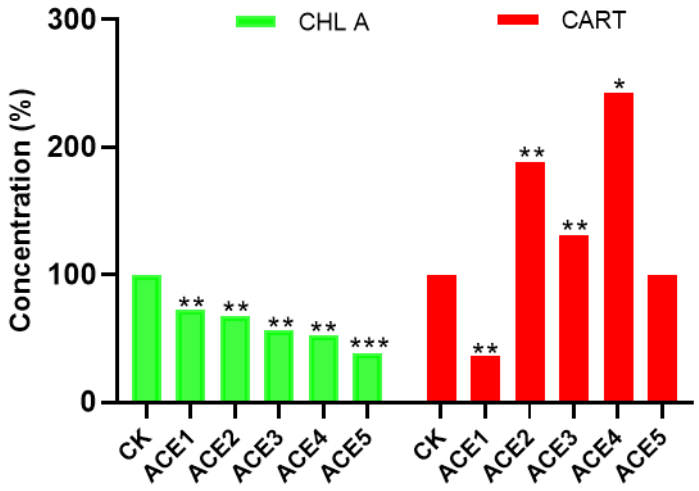


Figure 18: Effet de l'ACE sur la teneur en chlorophylle a et caroténoïde de la spirulineà différents concentrations (CK :control, ACE1: 10mg/l, ACE2 :20mg/l, ACE3 :30mg/l, ACE4 :40mg/l, ACE5 :50mg/l) . Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n = 4).

3.3 Effet de l'ACE à déférents concentrations sur la teneur en molécule biochimique :

3.3.1 Teneur en protéines, lipides et carbohydrates :

On observe sur la figure 17 qu'une exposition de 5 jours à cinq concentrations d'ACE(ACE1: 10 mg/l, ACE2: 20 mg/l, ACE3: 30 mg/l, ACE4: 40 mg/l, ACE5: 50 mg/l) pourrait nettement augmenter la teneur en protéines jusqu'à 87,92 % lors de l'application de l'ACE5 par rapport au témoin (Fig.17B). En revanche, la teneur en lipides (Fig.17C) et la teneur en glucides (Fig.17A) montrent une tendance presque opposée à celle des protéines. Les résultats indiquent que la quantité de lipides la plus faible est obtenue dans le traitement de l'ACE5 à 50 mg/l, avec une diminution de 9,32% par rapport au contrôle (CK). De même, la quantité de glucides la plus faible est obtenue dans le traitement de l'ACE5 à 50 mg/l, avec une diminution de 14,41% par rapport au contrôle (CK). Le niveau de lipides et de glucides diminue avec l'augmentation de la concentration de l'ACE.

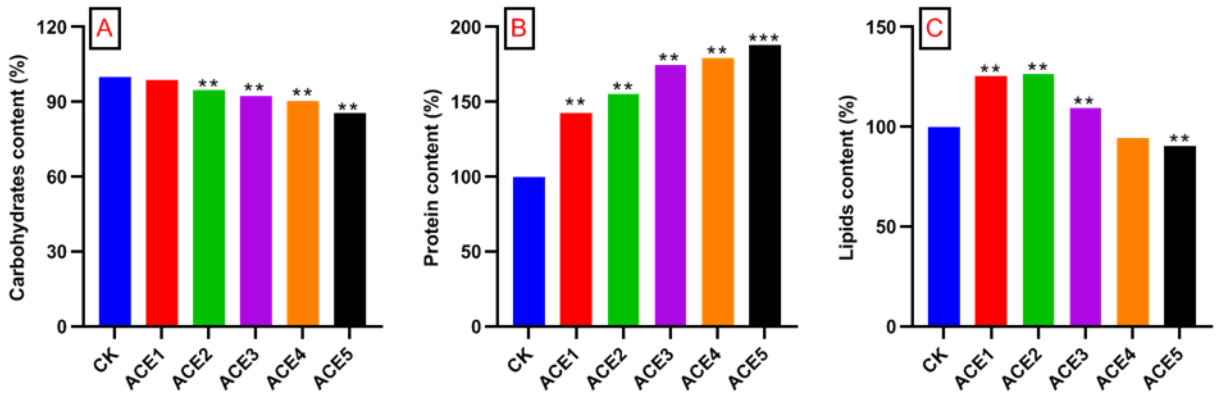


Figure 19:Effet de l'ACE sur la teneur en en protéines, lipides et en carbohydrate de la spirulineà différents concentrations (CK :control, ACE 1: 10mg/l, ACE2 :20mg/l, ACE3 :30mg/l, ACE4 :40mg/l, ACE5 :50mg/l) . Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n = 4).

3.4 Effet de l'ACE à différentes concentrations sur la teneur en biomarqueurs de stress oxydative:

3.4.1 Peroxydation lipidique (MDA) et Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) :

L'évaluation de la peroxydation lipidique en équivalents MDA (malondialdéhyde) et en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) dans les cyanobactéries testées exposées au stress d'ACE est illustrée à la Figure 18. Les niveaux en équivalents H_2O_2 et MDA, qui se révèlent dépendants de l'ACE, ont efficacement augmenté leur formation à l'intérieur de la cellule. Une augmentation remarquable de la production de MDA a été observée (Fig.18B) dans les pigments de S. platensis soumis aux traitements à l'ACE. Le taux de MDA mesuré lors de l'application de ACE5 à 50 mg/l a augmenté de 290,90% par rapport au témoin (CK). De plus, une augmentation très significative de la génération de H_2O_2 a été documentée dans les spirulines exposées aux traitements d'ACE (Fig.18A). Les teneurs en H_2O_2 mesurées lors de l'application d'ACE étaient 283,86% plus élevées sur ACE5 à 50 mg/l par rapport au (CK).

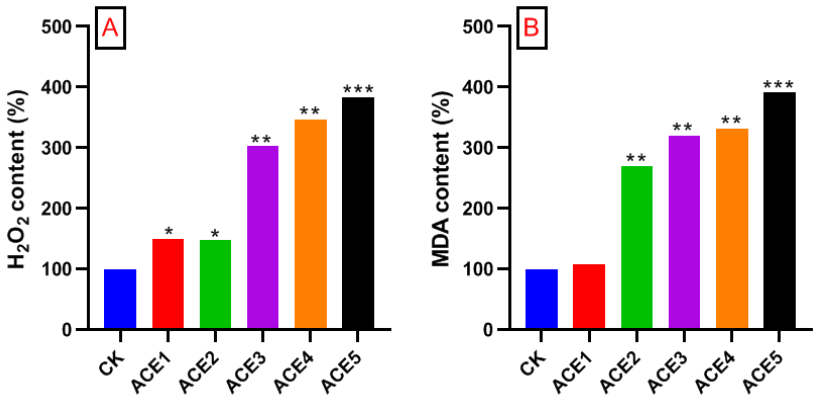


Figure 20: Effet de l'ACE sur la teneur en MDA et en H_2O_2 de la spiruline à différents concentrations (CK :control, ACE 1: 10mg/l,ACE2 :20mg/l, ACE3 :30mg/l,ACE4 :40mg/l, ACE5 :50mg/l). Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n = 4).

3.5 Effet de l'ACE à différentes concentrations sur la teneur en l'activité enzymatique antioxydant :

Comme il est remarquable (Fig. 19), après 5 jours d'exposition de l'ACE sur les enzymes de spirulines, leur activité a été étudiée en termes d'activité GST, POD, APX. Il a été observé une augmentation remarquable de la teneur en POD de 280,52% lors de l'application d'ACE5 à 50 mg/l par rapport au témoin (CK). Des résultats similaires ont été constatés pour le GST, montrant une augmentation de 36,11% en présence d'ACE à 50 mg/l, et une augmentation de 26,04% lors du traitement par ACE4 à 40 mg/l. De plus, l'APX a également présenté une augmentation significative de 68,58% lors de l'application d'ACE5 à 50 mg/l par rapport au témoin (CK).

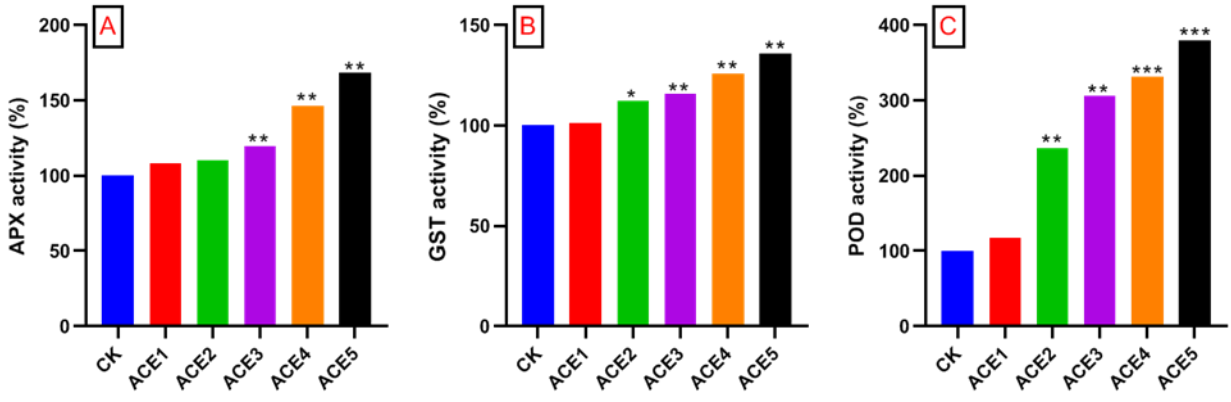


Figure 21: Effet de l'ACE, sur la teneur en l'activité enzymatique antioxydant APX, GSTetPOD de la spiruline à différents concentrations(CK :control,ACE 1: 10mg/l ,ACE2 :20mg/l ACE3 :30mg/l ,ACE4 :40mg/l ,ACE5 :50mg/l) . Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n = 4).

Figure 19: Effet de l'ACE , sur la teneur en l'activité enzymatique antioxydant APX, GSTetPOD de la spiruline à différents concentrations(CK :control,ACE 1: 10mg/l ,ACE2 :20mg/l ACE3 :30mg/l ,ACE4 :40mg/l ,ACE5 :50mg/l) . Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n = 4).

4 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur *S.platensis*

4.1 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur la croissance de *S.platensis*:

Comportement de croissance :

La biomasse d'*A. platensis* a été étudiée après l'exposition à différentes concentrations d'ACE pendant 5 jours. Le poids sec a diminué de manière significative avec l'augmentation des concentrations (10 à 50 mg/l). Par rapport au premier jour de culture, la teneur en biomasse d'*A. platensis* a significativement diminué après l'application de (AMX+ACE) à différentes concentrations, de 18,75% à (AMX+ACE1) jusqu'à 24,21% à (AMX+ACE3) par rapport au témoin (CK) (Fig. 20), respectivement. L'effet de la combinaison (AMX+ACE) sur la spiruline a montré une tendance similaire à celle de la biomasse jusqu'au 5ème jour de culture. Toutefois, l'effet de la combinaison (AMX+ACE) sur la spiruline diminue avec l'augmentation de la durée de culture (Fig. 20).

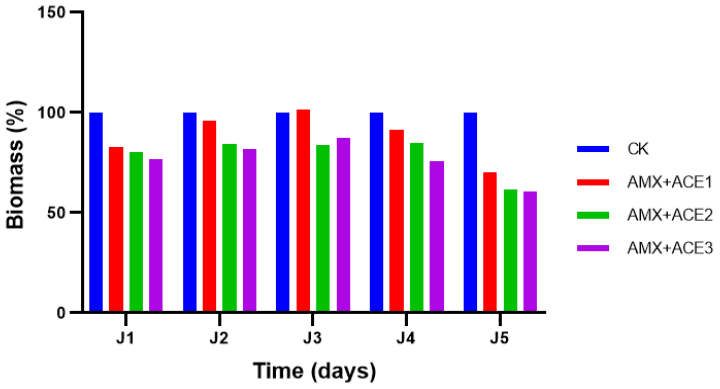


Figure 22: Effet de combinaisonentre (AMX+ACE) sur la biomasse chez spirulina à différentes concentrations – AMX+ACE (Contrôle), AMX+ACE (10+20mg/l) et AMX+ACE (30+60mg/l) et AMX+ACE (50+100mg/l) pendant 5 jours de culture. Lesdonnées sont des pourcentages de quatre répétitions (n=4).

4.2 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur la teneur en pigments photosynthétiques :

4.2.1 Teneur en chlorophylle *a* et carténoide :

La Figure 21 représente la teneur en chlorophylle a et en caroténoïdes dans la cyanobactérie testée. La teneur en chlorophylle *a* et en caroténoïdes d'*A. platensis* a été étudiée après l'exposition à différentes concentrations de (AMX+ACE) pendant 10 jours. D'après la

Figure 21, le traitement de (ACE+AMX) avec différentes concentrations sur la spiruline montre qu'il y a une diminution significative de la chlorophylle a dans (AMX+ACE3) à 50+100 (mg/l) de 42,70% par rapport au témoin (CK). En outre, en ce qui concerne le contenu en caroténoïdes, on observe une augmentation très hautement significative des caroténoïdesdans les spirulines de 122,01% lors de l'application de la combinaison (AMX+ACE1) à 10+20 (mg/l) par rapport au témoin (CK), et une augmentation hautement significative après l'application de (AMX+ACE3) à 50+100 (mg/l) de 84,99% par rapport au contrôle (CK) (Fig. 21).

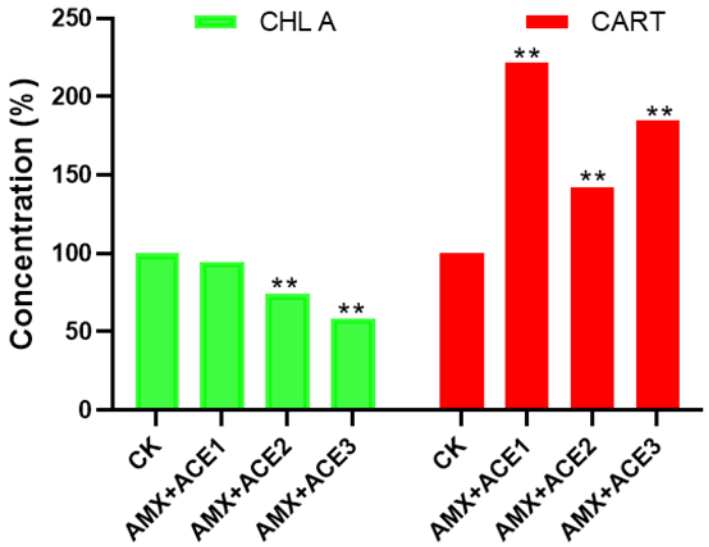


Figure 23: Effet de combinaison entre(AMX+ACE) sur la caroténoïde et la teneur en chlorophylle chez spirulina à différentes concentrations (AMX+ACE (Contrôle), AMX+ACE (10+20mg/l) et AMX+ACE (30+60mg/l) et AMX+ACE (50+100mg/l)). Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n=4).

4.3 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur la teneur en molécule biochimique :

4.3.1 Teneur en protéines, lipides et carbohydrates :

On constate sur la Figure 22 qu'une exposition de 10 jours à trois concentrations combinées (AMX+ACE1) : 10+20 mg/l, (AMX+ACE2) : 30+60 mg/l, (AMX+ACE3) : 50+100 mg/l.Par rapport aux résultats observés dans la Figure 22, le traitement de (AMX+ACE) avec différentes concentrations sur la spiruline montre une augmentation hautement significative des glucides dans (AMX+ACE1) de 53,20% et dans (AMX+ACE3) de 47,20% par rapport au contrôle (CK) (Fig. 22A). Comme le montre la Figure 22B, lors de l'exposition des spirulines à (AMX+ACE) de différentes concentrations, une diminution très significative de la teneur en protéines de 51,08% a été observée lors de l'application de (AMX+ACE1), tandis que le niveau de protéines a

augmenté avec l'augmentation de la concentration de combinaison (AMX+ACE) (Fig. 22B). Fait intéressant, la teneur en lipides de la Figure 22C montre une augmentation remarquable obtenue dans le traitement (AMX+ACE1) de 28,68% par rapport au contrôle (CK) (Fig. 22C).

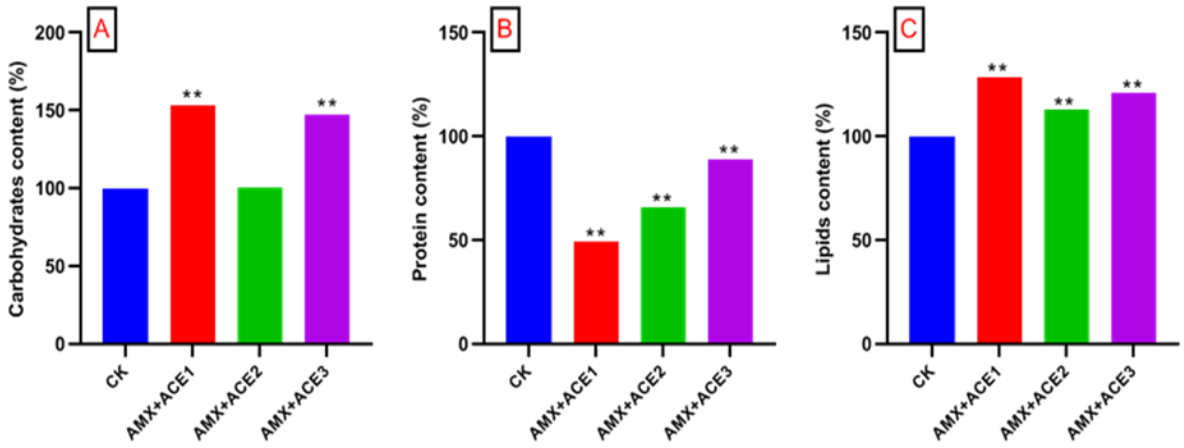


Figure 24: effet de combinaisonentre(AMX+ACE) sur la teneur en protéine, lipides, et en carbohydrate chez la spirulina à différentes concentrations – AMX+ACE (Contrôle), AMX+ACE (10+20mg/l) et AMX+ACE (30+60mg/l) et AMX+ACE (50+100mg/l).Lesdonnées sont des pourcentages de quatre répétitions (n=4).

4.4 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur la teneur en biomarqueures de stress oxydative :

4.4.1 Peroxydation lipidique et peroxyde d hydrogène (H_2O_2) :

L'évaluation de la peroxydation lipidique en équivalents de MDA (malondialdéhyde) et de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) dans les cyanobactéries testées exposées au stress de (AMX+ACE) est illustrée à la Figure 23. Les teneurs en équivalents de H_2O_2 et de MDA, qui se révèlent dépendantes de (AMX+ACE), ont efficacement augmenté leur formation à l'intérieur de la cellule. Les résultats suggèrent que le (AMX+ACE) a accéléré la formation de MDA, observée dans les pigments de spirulina soumis aux traitements au (AMX+ACE). La teneur en MDA mesurée lors de l'application de (AMX+ACE2) a augmenté de 64,77 % par rapport au témoin (Fig. 23B). De plus, il y a eu une augmentation non significative de la teneur en H_2O_2 exposée aux traitements (AMX+ACE), les teneurs de H_2O_2 lors de l'utilisation de (AMX+ACE) étaient de 29,70 % sur (AMX+ACE) par rapport au (CK) (Fig. 23C).

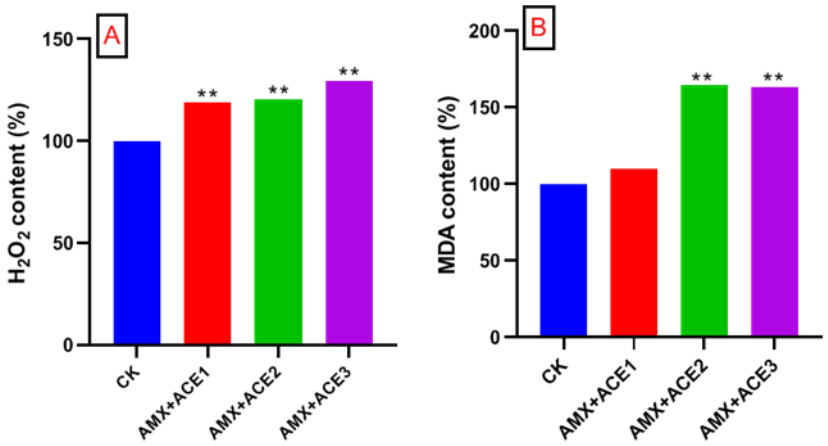


Figure 25: effetde combinaison entre(AMX+ACE) sur la teneur en MDA et en H2O2 chez la spirulina à différentes concentrations – AMX+ACE (Contrôle), AMX+ACE (10+20mg/l) et AMX+ACE (30+60mg/l) et AMX+ACE (50+100mg/l).Lesdonnées sont des pourcentages de quatre répétitions (n=4).

4.5 Effet combiné de l'AMX et l'ACE sur la teneur en activité enzymatique antioxydant:

Comme le montre la figure 24, l'effet de l'exposition pendant 5 jours d'une combinaison d'AMX et d'ACE sur les enzymes de la spiruline a été étudié, notamment l'activité GST, POD et APX, détaillée dans la figure. Selon la figure 24, une augmentation significative de la teneur en POD de 46,42 % a été observée lors de l'application d'AMX+ACE3 par rapport au témoin (ck) (fig. 24C). Des résultats similaires sont observés pour la GST, montrant une augmentation non significative de 25,27 % avec AMX+ACE3 par rapport au témoin (fig. 24B). En ce qui concerne l'APX, le traitement avec différentes concentrations d'AMX+ACE sur la spiruline a montré une augmentation significative remarquable de 29,70 % de l'activité APX avec AMX+ACE3 par rapport au contrôle (fig. 24A).

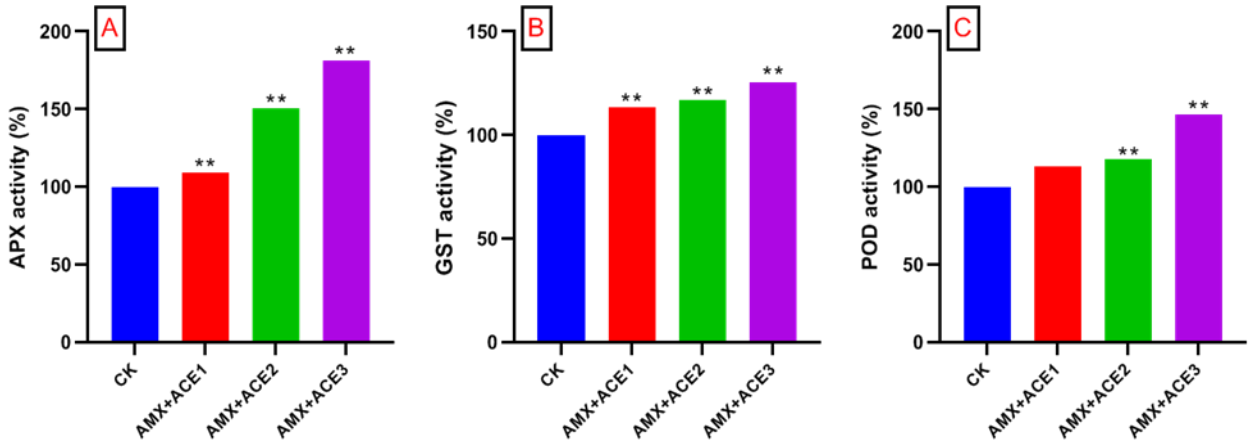


Figure 26: Effetde combinaison entre(AMX+ACE) sur la teneur en activité enzymatique antioxydant MDA et APX et POD chez la spirulina à différentes concentrations – AMX+ACE (Contrôle), AMX+ACE (10+20mg/l) et AMX+ACE (30+60mg/l) et AMX+ACE (50+100mg/l). Les données sont des pourcentages de quatre répétitions (n=4).

Discussion

La réponse éco-physiologique des microalgues aux stress causés par les pesticides et les antibiotiques dépend de nombreux facteurs, tels que la concentration des substances, la durée d'exposition, les espèces de microalgues et leurs caractéristiques physiologiques. Certaines espèces de microalgues peuvent développer des mécanismes de défense, comme l'activation de voies de détoxification, pour faire face à ces stress. Cependant, d'autres espèces peuvent être plus sensibles et subir des dommages importants (Gauthier et al., 2020).

Comprendre les effets de la pollution causée par les antibiotiques, les pesticides et leur combinaison sur les processus biologiques clés est essentiel pour évaluer leur impact sur les organismes et les écosystèmes. Dans cette étude, nous avons examiné les effets de l'amoxicilline (AMX), de l'ACEPLAN SP20 (ACE) et de leur combinaison sur la cyanobactérie *A. platensis* (spiruline), en nous concentrant sur différents aspects tels que la teneur en pigments, les biomarqueurs du stress oxydatif, les principaux biocomposants et les activités des enzymes antioxydants.

La croissance d'*A. platensis* a subi une diminution significative à mesure que la concentration d'amoxicilline (AMX), d'ACEPLAN SP20 (ACE) et de leur combinaison augmentait (fig. 15). Cette inhibition de la croissance en fonction de la concentration concorde avec les résultats d'études antérieures (Johnson et al., 2010; Smith et al., 2006), mettant en évidence la sensibilité des cyanobactéries aux effets induits par l'amoxicilline, l'ACEPLAN SP20 et leur combinaison. L'observation de cette inhibition de la croissance met en lumière les conséquences écologiques potentielles de la contamination par les antibiotiques sur la dynamique des populations de cyanobactéries dans les écosystèmes aquatiques.

Les pigments photosynthétiques tels que la chlorophylle *a* et les caroténoïdes ont été reconnus pour jouer un rôle clé dans le système photosynthétique, tout en se révélant être des biomarqueurs essentiels pour refléter la réponse des cyanobactéries au stress environnemental. Par conséquent, la teneur en chlorophylle a et en caroténoïdes d'*Arthrospira platensis* a été étudiée après exposition à différentes concentrations d'AMX et d'ACE, ainsi qu'à leur combinaison pendant 5 jours. Comme le montrent les figures (13.18.23), une forte diminution de la teneur en chlorophylle pourrait être clairement observée avec l'augmentation des concentrations d'AMX (20, 40, 60, 80, 100 mg/l), d'ACE (10, 20, 30, 40, 50 mg/l) et de leur combinaison.

Ces résultats ont confirmé les effets toxiques de l'AMX et de l'ACE, ainsi que de leur combinaison, dans la culture d'*Arthrospira platensis*. Des études antérieures ont démontré que les pigments photosynthétiques contribuent non seulement à l'absorption de la lumière pour favoriser la croissance des algues, mais également à la réponse antioxydants pour prévenir les dommages cellulaires (Zhou et al., 2018; Ismaiel et coll., 2018). Par conséquent, l'effet inhibiteur sur ces pigments pourrait indiquer les dommages causés à *A. platensis* au-delà du seuil toxique (Dao et al., 2018).

Par contre, le contenu en caroténoïdes présentait une augmentation par rapport au contrôle ($P<0,05$). Notez que les caroténoïdes ne sont pas seulement un groupe de pigments photosynthétiques contribuant à l'absorption de la lumière, mais ils jouent également un rôle crucial en tant qu'antioxydants dans le maintien de l'intégrité de la membrane cellulaire (Zhou et al., 2018). Par conséquent, les effets stimulants pourraient être attribués à une synthèse excessive de caroténoïdes visant à éliminer les espèces réactives de l'oxygène.

Les glucides et les protéines jouent un rôle crucial dans la répartition du carbone, la photosynthèse, l'homéostasie osmotique et le métabolisme (Rosa et al., 2009), ainsi que dans le maintien du réseau alimentaire aquatique (Gana et al., 2023). Les protéines, en tant que composants essentiels des biomolécules et des substrats dans les réactions biochimiques, sont utilisées comme indicateurs des changements dans le métabolisme des microalgues (Zhou et al., 2021). Les résultats de la présente étude ont montré que la teneur en protéines solubles des algues augmente généralement après une exposition à des polluants tels que l'AMX et l'ACE. Cette augmentation peut être attribuée au fait que les algues peuvent neutraliser les effets toxiques des polluants en accumulant des protéines. L'accumulation et le stockage de biomolécules dans les algues sont généralement considérés comme une réaction physiologique au stress dans l'écosystème aquatique (Zhou et al., 2021).Dans la présente étude, l'augmentation des protéines solubles est liée à une variété de processus métaboliques dans les cellules, constituant ainsi un mécanisme de défense des microalgues contre le stress environnemental. Une augmentation de la teneur en protéines chez les organismes exposés indique probablement une concentration élevée en proline. La proline est largement reconnue comme un agent chélateur efficace qui s'accumule dans les plantes en réponse au stress. D'autres travaux ont également associé l'augmentation de la teneur en protéines des cyanobactéries telles que

Spirulina platensis à une concentration élevée en proline en cas de stress xénobiotique. Néanmoins, une baisse de la teneur en protéines dans les organismes traités peut être considérée comme un indice de stress oxydatif (Yisa et al., 2021),ce qui explique la diminution observée lors de leur combinaison.

Les glucides peuvent être trouvés dans de nombreuses sources naturelles. Ce sont des biopolymères naturels abondants, de haut poids moléculaire, présentant des structures complexes et plusieurs propriétés physico-chimiques. De nombreuses espèces de microalgues ont été reconnues pour leur capacité à synthétiser des glucides (Caetano et al., 2022). Notre étude a révélé une diminution significative de la teneur en glucides avec l'augmentation des concentrations d'ACE par rapport au groupe témoin (fig. 22). Ce résultat suggère une perturbation potentielle du métabolisme des glucides induits par l'exposition à l'ACE. Bien que les mécanismes spécifiques sous-jacents à cette altération nécessitent une étude plus approfondie, nos résultats concordent avec ceux d'études antérieures (Ebele et al., 2020; Parrish et al., 1999).

L'application de l'AMX et la combinaison entre l'AMX et l'ACE présentent des résultats similaires à ceux rapportés par Gomes et al., (2022) et Acids et al., (2021),qui ont montré une augmentation de la teneur en glucides solubles dans les plantules de pistache. De plus, Homayoonzadeh et al. ont également signalé une augmentation du niveau des glucides solubles totaux chez les plants de concombre en réponse à l'imidaclopride et au dichlorvos à la dose recommandée.

En termes de production de lipides, nos résultats ont démontré une altération causée par l'exposition à l'AMX, à l'ACE et à leur combinaison, comme en témoigne la comparaison avec le groupe témoin (fig.21). Cette constatation concorde avec celle de (Parrish., 1999), qui a observé des changements comparables dans la teneur en lipides des cyanobactéries lorsqu'elles sont exposées à l'AMX, à l'ACE et à leur combinaison. La composition lipidique des cyanobactéries est essentielle pour diverses fonctions physiologiques, y compris l'intégrité de la membrane et le stockage de l'énergie. Par conséquent, les altérations observées dans la production de lipides suggèrent que l'AMX et l'ACE peuvent avoir un impact sur ces processus cellulaires cruciaux.

Les cyanobactéries contiennent plusieurs enzymes antioxydantes qui jouent un rôle essentiel dans l'atténuation des différents stress. Lorsqu'elles sont exposées à des contaminants

toxiques, les algues peuvent produire des espèces réactives de l'oxygène (ERO), notamment des radicaux superoxyde (O_2^-), des radicaux hydroxyles (OH^-) et du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), qui possèdent de fortes propriétés d'oxydation et causent des dommages mortels aux cellules des algues par la peroxydation des acides gras polyinsaturés (AGPI) (Xiong et al., 2021). La peroxydation des AGPI entraîne une diminution de la fluidité de la membrane, ce qui peut compromettre les fonctions physiologiques et biochimiques des cellules. L'activité de la catalase (CAT) et la teneur en malondialdéhyde (MDA) ont été utilisées comme indicateurs de la toxicité des contaminants dans des études antérieures (Melegari et al., 2012; Qian et al., 2008). Le peroxyde d'hydrogène est un oxydant et une molécule de signalisation en raison de sa relative stabilité. En plus d'être produit secondairement à partir du superoxyde, le H_2O_2 peut être généré à des taux élevés par une réduction à deux électrons de l'O_2 catalysée par des enzymes telles que la glycolate oxydase photorespiratoire (Yang, 2018).

De plus, nous avons étudié l'impact de l'AMX, de l'ACE et de leur combinaison sur l'activité des enzymes antioxydantes, notamment la peroxydase (POD), la peroxydase d'ascorbate (APX) et la glutathion S-transférase (GST). Ces enzymes jouent un rôle crucial dans la défense contre le stress oxydatif en éliminant les espèces réactives de l'oxygène et en détoxifiant les composés nocifs (Aebi, 1984; Caverzan et al., 2012; Samanta et al., 2022; Singh et al., 2018). Notre analyse des activités des enzymes antioxydantes visait à évaluer la modulation potentielle du système de défense antioxydant chez *A. platensis* sous exposition à l'AMX, à l'ACE et à leur combinaison. En mesurant les activités de la POD, de l'APX et de la GST, nous avons obtenu des informations sur la capacité de la cyanobactérie à atténuer les dommages oxydatifs et à maintenir l'homéostasie redox en présence de pollution aux antibiotiques. L'activité des enzymes antioxydantes, y compris la glutathion S-transférase, la peroxydase (POD), l'ascorbate peroxydase (APX) et la glutathion S-transférase (GST), a montré des réponses variées à l'exposition à l'AMX, à l'ACE et à leur combinaison.

L'APX utilise l'ascorbate comme donneur d'électron spécifique pour réduire le H_2O_2 en eau, avec la génération concomitante de monodéhydroascorbate, un oxydant univalent de l'ascorbate (Ahmed et al., 2023). Dans cette étude, la teneur en APX a montré une diminution avec l'augmentation de la concentration du fongicide. D'autres études, telles que celle de (Ma et al., 2022),indiquent clairement que l'AMX induit la production d'ERO et que l'APX est important

pour éviter l'accumulation de H_2O_2 et les dommages oxydatifs associés chez les plantes qui y sont exposées (Ma et al., 2022).

L'activité de l'APX a montré une altération globale significative, comparable à celle rapportée dans d'autres études telles que celles de (Rezayian et al., 2019; Shigeoka et al., 2002 et Yisa et al., 2021), concernant la relation entre l'ascorbate peroxydase et l'amélioration du stress oxydatif induit par les ROS. Nos résultats indiquent que l'activité de l'APX augmente lors de l'application d'ACE et de la combinaison entre l'ACE et l'AMX. La même tendance a été observée pour l'activité de l'APX, avec des modifications importantes observées dans les concentrations testées.

Les glutathion-S-transférases (GST) sont souvent associées à des mécanismes de défense antioxydants et à la biotransformation (Esterhuizen et al., 2022),jouant un rôle important dans la détoxification des xénobiotiques (Yisa et al., 2021). Dans la présente recherche, la teneur en GST augmente de manière significative pour toutes les concentrations d'AMX, d'ACE et de leur combinaison. concordeavec l'étude de (Yisa et al., 2021), qui a montré que les activités plus élevées de GST trouvées dans les cyanobactéries *M. aeruginosa* exposées au CPX étaient plus élevées que celles du groupe témoin, dans notre étude, l'activité de GST n'a pas suivi une relation linéaire avec l'augmentation de la concentration du médicament dans *M. aeruginosa*. Néanmoins, la GST était impliquée dans la détoxification des antibiotiques pendant la période d'exposition (Yisa et al., 2021). De même, la GST peut catalyser la conjugaison du GSH, détoxifiant directement les xénobiotiques avec des groupes électrophiles, bien que l'activité du GSH ait diminué chez *Synechococcus* sp (Zhang et al., 2023).

L'activité des POD a montré des altérations remarquables (fig. 24), avec une augmentation de l'activité observée pour toutes les concentrations d'AMX, d'ACE et de leur combinaison. Une tendance similaire a été observée dans d'autres études telles que celles de Han et al., (2020) et de Yisa et al., (2023), qui ont indiqué que les organismes pouvaient s'adapter au stress oxydatif en redirigeant l'énergie cellulaire vers la production d'enzymes antioxydantes comme la peroxydase.

Conclusion et perspectives

En résumé, l'étude a examiné les effets des xénobiotiques sur divers paramètres de *S. platensis*, notamment la croissance cellulaire, le poids sec, la teneur en chlorophylle, les niveaux de biomolécules, la peroxydation lipidique et l'activité des enzymes antioxydants. Les résultats ont démontré que l'AMX, l'ACE et leur combinaison induisaient des effets indésirables significatifs sur *S. platensis* sur tous les paramètres évalués. L'AMX, l'ACE et leur combinaison ont entraîné une réduction de la croissance cellulaire et du poids sec, accompagnée d'une diminution de la teneur en chlorophylle et d'une augmentation des niveaux de peroxydation lipidique. De plus, les l'AMX, l'ACE et leur combinaison ont déclenché une augmentation significative des niveaux de protéine, indiquant une réponse adaptative de *S. platensis* au stress xénobiotiques. L'analyse biochimique a montré des activités enzymatiques élevés à la spiruline, notamment POD et GST. En examinant certains des effets du stress xénobiotiques sur *S.platensis* étudiés dans cette recherche, on peut affirmer avec certitude que les polluantes, en tant que danger environnemental, peuvent avoir des effets néfastes sur les organismes vivants. Une compréhension complète des mécanismes de blessure nécessite des recherches plusapprofondies. Des expériences complémentaires telles que la détermination des espèces réactives de l'oxygène et l'analyse des dommages oxydatifs sur les macromolécules telles que les protéines et l'acide nucléique sont recommandées pour élucider le mécanisme de toxicité des pesticides et/ou antibiotiques.

Références Bibliographiques

Références :

1- Sukenik et al., 2015 ., Global expansion of toxic and non-toxic cyanobacteria:effect on ecosystem functioning .

2 -Paerl, H. W., & Huisman, J. (2008). Climate: Blooms like it hot. Science, 320(5872), 57–58. https://doi.org/10.1126/science.1155398

3- Singhal, M., Jadhav, S. V, Sonone, S. S., & Sankhla, M. S. (2021). Microalgae Based Sustainable Bioremediation of Water Contaminated by Pesticides. Biointerface Research in Applied Chemistry, 12(1), 149–169. https://doi.org/10.33263/briac121.149169

4- Yu, C., Pang, H., Wang, J. H., Chi, Z. Y., Zhang, Q., Kong, F. T., Xu, Y. P., Li, S. Y., & Che, J. (2022b).

Occurrence of antibiotics in waters, removal by microalgae-based systems, and their toxicological effects: A review. Science of the Total Environment, 813, 151891. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151891

5- Beaulieu, M., Marcil, G., Huot, Y., Lacey, J., Leconte, R., & Cabana, H. (2014). Pesticides et phytoplancton au Québec : Conditions propices aux efflorescences cyanobactériennes ? Revue de littérature Présentée au Fonds de recherche du Québec — Nature et technologies. Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 132 .

6-Miazek, K., & Brozek-Pluska, B. (2019). Effect of phrs and pcps on microalgal growth, metabolism and microalgae-based bioremediation processes: A review. International Journal of Molecular Sciences, 20(10). https://doi.org/10.3390/ijms20102492

7-Demoulin et al.,2019a., Cyanobacteria evolution: Insight from the fossil record

8- Neilan et al., Cyanobacterial Biotechnology in the 21st Century.

9- Cui, Jinyu, Rongze Chen, Huili Sun, Yingyi Xue, Zhidian Diao, Jingyun Song, Xiaohang Wang, et al. « Culture-Free Identification of Fast-Growing Cyanobacteria Cells by Raman-Activated Gravity-Driven Encapsulation and Sequencing ». Synthetic and Systems Biotechnology 8, no 4 (décembre 2023): 708‑15. https://doi.org/10.1016/j.synbio.2023.11.001.

10-Zhang et al., 2022 « The Synergistic Effect of Rising Temperature and Declining Light Boosts the Dominance of Bloom-Forming Cyanobacteria in Spring ».

11-sengupta, Shinjinee, Deepti Sahasrabuddhe, et Pramod P. Wangikar. « Transporter Engineering for the Development of Cyanobacteria as Cell Factories: A Text Analytics Guided Survey ». *Biotechnology Advances* 54 (janvier 2022): 107816. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107816.

12-Levasseur, W., Perré, P., & Pozzobon, V. (2020). A review of high valueadded molecules production by microalgae in light of the classification. Biotechnology Advances, 41(January), 107545. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107545.

13-De Lima Pinheiro, Maria Mirtes, Bruna Lucieny Temponi Santos, Jerônimo Vieira Dantas Filho, Vinícius Perez Pedroti, Jucilene Cavali, Raphael Brito Dos Santos, Ana Claudia Oliveira Carreira Nishiyama, Elica Amara Cecilia Guedes, et Sandro De Vargas Schons. « First Monitoring of Cyanobacteria and Cyanotoxins in Freshwater from Fish Farms in Rondônia State, Brazil ». *Heliyon* 9, nº 8 (août 2023): e18518. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18518.

14- Fayaz, Tufail, Nirmal Renuka, et Sachitra Kumar Ratha. « Antibiotic Occurrence, Environmental Risks, and Their Removal from Aquatic Environments Using Microalgae: Advances and Future Perspectives ». *Chemosphere* 349 (février 2024): 140822. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140822.

15- Bouyahya, Abdelhakim, Saad Bakrim, Imane Chamkhi, Douae Taha, Nasreddine El Omari, Naoual El Mneyiy, Naoufal El Hachlafi, et al. « Bioactive Substances of Cyanobacteria and Microalgae: Sources, Metabolism, and

Anticancer Mechanism Insights ». *Biomedicine & Pharmacotherapy* 170 (janvier 2024): 115989. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115989.

16- Rocha, Mariana Fernandes, Grace Anne Vieira Magalhães-Ghiotto, Rosângela Bergamasco, et Raquel Guttierres Gomes. « Cyanobacteria and Cyanotoxins in the Environment and Water Intakes: Reports, Diversity of Congeners, Detection by Mass Spectrometry and Their Impact on Health ». Toxicon 238 (février 2024): 107589. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2023.107589.

17-Lavoie, I., Laurion, I., Warren, A., & Vincent, W. (2007). LES FLEURS D ' EAU DE CYANOBACTÉRIES Revue de littérature.

18-Ortega-ramos, M. O. R. (2015). Construction et analyse de mutants de la machinerie de photoproduction d ' hydrogène chez la cyanobactérie modèle Synechocystis To cite this version : HAL Id : tel-01124220 Marcia ORTEGA- - - RAMOS Construction et analyse de mutants de la machinerie de ph.

19- Dutheil, J., & Synechocystis, D. (2014). Reprogrammation du métabolisme cyanobactérien de Synechocystis sp . PCC6803 pour une meilleure photoproduction d ' hydrogène Jérémy Dutheil To cite this version : HAL Id : tel-01061465 Reprogrammation du métabolisme cyanobactérien de Synechocystis sp . PC

20-Rambaldo, L., Ávila, H., Escolà Casas, M., Guivernau, M., Viñas, M., Trobajo, R., Pérez-Burillo, J., Mann, D. G., Fernández, B., Biel, C., Rizzo, L., Bayona, J. M., & Matamoros, V. (2022). Assessment of a novel microalgae-cork based technology for removing antibiotics, pesticides and nitrates from groundwater. Chemosphere, 301, 134777. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134777

21- Perry, J. J., Staley, J. T., & Lory, S. (2002). Microbial life. Sinauer Associates Incorporated.

22-Tamamizu, K., & Kumazaki, S. (2019). Spectral microscopic imaging of heterocysts and vegetative cells in two filamentous cyanobacteria based on spontaneous Raman scattering and photoluminescence by 976 nm excitation. Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics, 1860(1), 78–88. https://doi.org/10.1016/j.bbabio.2018.11.012

23-Khider, M., Facult, B., Kermiche, A., Le, O. K., Universit, M. A. A., Pr, B., Kriker, S., & Ann, E. (2021). thérapeutique de la spiruline Arthrospira platensis. 2020–2021.

24-Boutray, M. De, Pinel-alloul, B., Lemaire, B., Dorner, S., & Vinçon-leite, B. (2018). Les cyanobactéries et leurs toxines dans les sources d ' eau potable To cite this version : HAL Id : tel-01743744 Université Paris-Est Les cyanobactéries et leurs toxines dans les sources d ' eau potable. 513.

25-Gaignard, C. (n.d.). Criblage, identification et caractérisations physico-chimiques d'exopolysaccharides de microalgues et Cyanobactéries. https://theses.hal.science/tel03738066., 2022

26- Marie, Benjamin, Hélène Huet, Arul Marie, Chakib Djediat, Simone Puiseux-Dao, Arnaud Catherine, Isabelle Trinchet, et Marc Edery. « Effects of a Toxic Cyanobacterial Bloom (Planktothrix Agardhii) on Fish: Insights from Histopathological and Quantitative Proteomic Assessments Following the Oral Exposure of Medaka Fish (Oryzias Latipes) ». *Aquatic Toxicology* 114‑115 (juin 2012): 39‑48. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2012.02.008.

27-Latour, Delphine, Hervé Giraudet, et Marie-José Salençon. « Méthode d'échantillonnage adaptée aux Cyanobactéries coloniales en milieu lacustre. Cas appliqué à Microcystis aeruginosa sur la retenue de Grangent (Loire, France) ». *Comptes Rendus Biologies* 327, n° 2 (février 2004): 105‑13. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2003.12.005.

28-Carpine et Sieber, « Antibacterial and Antiviral Metabolites from Cyanobacteria ».

29-Huang et al., 2021 « Effects of Climate Change on Metabolite Accumulation in Freshwater and Marine Cyanobacteria ».

30-Ali et al., « Microalgae-Mediated Wastewater Treatment for Biofuels Production ».

31- Coquille, N. (2018). Influence de la matière organique dissoute naturelle et d ' herbicides , seuls et combinés , sur des microalgues marines et d ' eau douce To cite this version : HAL Id : tel-02606524 DOCTEUR DE L ' UNIVERSITÉ DE BORDEAUX Par Nathalie COQUILLÉ et d ' herbi.

32-Maia, C., Sousa, C. A., Sousa, H., Vale, F., & Simões, M. (2023). Parabens removal from wastewaters by microalgae – Ecotoxicity, metabolism and pathways. Chemical Engineering Journal, 453(October 2022). https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139631

33-(Nakamoto et al.,2023) .,Spirulina application in food packaging: Gaps of knowledge and

future trends
34-Miebach et al., 2023 « Influence of Genetic Adaption of Rainbow Trout (Oncorhynchus Mykiss) Fed with Alternative Protein Sources Based on Arthrospira Platensis and Hermetia Illucens on Intestinal Health and Animal Welfare ».
35-Moradi-Kor et al., « Therapeutic Effects of Spirulina Platensis Against Adolescent Stress-Induced Oxidative Stress, Brain-Derived Neurotrophic Factor Alterations and Morphological Remodeling in the Amygdala of Adult Female Rats ».
36-Dong et al., « Growth, Photosynthetic Pigment Proteins Responses and Transcriptome Analysis Provide Insights into Survival Strategies against Short-Term Cold Stress in the Blue-Green Algae, Arthrospira ».
37- Ismaiel and Piercey-Normore, 2024« Cooperative Antioxidative Defense of the Blue-Green Alga Arthrospira (Spirulina) Platensis under Oxidative Stress Imposed by Exogenous Application of Hydrogen Peroxide ».
38-Bumandalai, Bayliss, et Moheimani, « Innovative Processes for Combating Contaminants in Fresh Spirulina ».
39-(Hamidi et al.,2023)., Evaluation of effective environmental parameters on lipid, protein and
beta-carotene production in Spirulina platensis microalga
40-Bohórquez-Medina et al., 2021« Impact of Spirulina Supplementation on Obesity-Related Metabolic Disorders ».
41-Nakamoto et al., « Spirulina Application in Food Packaging ».
42-AlMulhim et al., 2023 « Effect of Incorporation of Spirulina Platensis into Fish Diets, on Growth Performance and Biochemical Composition of Nile Tilapia, Oreochromis Niloticus ».
43-Coronado-Apodaca et al., « Occurrence, Transport, and Detection Techniques of Emerging Pollutants in Groundwater ».
44- Johnston et al., « Impacts of Multi-Pollutants on Sulfonamide Antibiotic Removal from Water Matrices Using Layered Double Hydroxide Sorbents ».
45- Foroush et al., « In Silico Study of Adsorption of Penicillin Antibiotic on the Surface of Single Walled Nitride Boron Nanotubes(SBNNT) ».
46- Zhang et al., « Toxic Effects of Pesticides on the Marine Microalga Skeletonema Costatum and Their Biological Degradation ».
49- Perez-Bou et al., « Promising Bioprocesses for the Efficient Removal of Antibiotics and Antibiotic-Resistance Genes from Urban and Hospital Wastewaters ».
50- Popoola et al., « A National Survey of the Antibiotic Use, Self-Medication Practices, and Knowledge of Antibiotic Resistance among Graduates of Tertiary Institutions in Nigeria ».
51- Fayaz, Renuka, et Ratha, « Antibiotic Occurrence, Environmental Risks, and Their Removal from Aquatic Environments Using Microalgae ».
52- Hanna, Tamhankar, et Lundborg, « The Development of an Integrated Environment–Human Risk Approach for the Prioritisation of Antibiotics for Policy Decisions ».
53- Li et al., « Paternal Transgenerational Nutritional Epigenetic Effect ».
54- Fayaz, Renuka, et Ratha, « Antibiotic Occurrence, Environmental Risks, and Their Removal from Aquatic Environments Using Microalgae ».
55- Wahyuni et al., « Degradation of Amoxicillin Residue under Visible Light over TiO2 Doped with Cr Prepared from Tannery Wastewater ».
56- Oday et al., « Development and Validation of Spectrophotometric Method and Paper-Based Microfluidic Devices for the Quantitative Determination of Amoxicillin in Pure Form and Pharmaceutical Formulations ».
57- Mohammed et al., « Removal of Amoxicillin from Contaminated Water Using Modified Bentonite as a Reactive Material ».
58- Sen et al., « Self-Gelation Techniques for Amoxicillin ».
59- Kimaro et al., « Quality Equivalence and In-Vitro Antibiotic Activity Test of Different Brands of Amoxicillin/Clavulanic Acid Tablets in Mwanza, Tanzania ».
60- Wyber, Johnson, et Patel, « Supply of Benzathine Penicillin G ».
61- Duran et al., « Kounis Syndrome Associated with Benzathine Penicillin G Use ».
62- Wyber et al., « Benzathine Penicillin G for the Management of RHD ».

63- Barr et al., « Development of a Sustained Release Implant of Benzathine Penicillin G for Secondary Prophylaxis of Rheumatic Heart Disease ».
64- Vakilian et al., « The Relationship between Pesticide Exposures and Primary Headaches in Adults ».
65-Amara, A. (2012). Évaluation De La Toxicité De Pesticides Sur Quatre Niveaux Trophiques Marins : Microalgues, Échinoderme, Bivalves Et Poisson. http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00795396
66-Des, C., Doctorales, E., & Zohr, I. B. N. (2012). Universite ibn zohr. 2016– 2017.
67-Ibtissem, D. (2020). Effet des pesticides sur la faune et la microflore des sols désertiques et synthèse bibliographique sur les techniques de dégradation de ces xénobiotiques Année universitaire Remerciement.
68- Bilal et al., (2019). Persistence of pesticides-based contaminants in the environment and their effective degradation using laccase-assisted biocatalytic systems.
69-Aislabie, J., & Lloyd-Jones, G. (1995). A review of bacterial degradation of pesticides. Australian Journal of Soil Research, 33(6), 925–942. https://doi.org/10.1071/SR9950925
70-Sciences, D. E. S., & Mer, D. E. L. a. (2008). Université de Bretagne Occidentale Méthodes d ' évaluation de l ' impact de pesticides sur le phytoplancton marin et le naissain d ' huître creuse.
71- Lee-Ann Ataikiru et Ajuzieogu, « Enhanced Bioremediation of Pesticides Contaminated Soil Using Organic (Compost) and Inorganic (NPK) Fertilizers ».
72- Fabre et al., « Challenges of Spatially Extrapolating Aquatic Pesticide Pollution for Policy Evaluation ».
73-Serasinghe et al .,2024., Use of passive sampling and high-resolution mass spectrometry for
screening emerging pesticides of concern within surface waters
74- Serasinghe et al., « Use of Passive Sampling and High-Resolution Mass Spectrometry for Screening Emerging Pesticides of Concern within Surface Waters ».
75- Leng, L., Wei, L., Xiong, Q., Xu, S., Li, W., Lv, S., Lu, Q., Wan, L., Wen, Z., & Zhou, W. (2020). Use of microalgae based technology for the removal of antibiotics from wastewater: A review. Chemosphere, 238, 124680. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124680.
76- Wang et al., « Critical Roles of Cyanobacteria as Reservoir and Source for Antibiotic Resistance Genes ».
77-Xiong et al., « Microalgae-Based Technology for Antibiotics Removal ».
78- Tiwari et Prasad, « Exogenous Application of Phytohormones Modulates Pesticide-Induced Injury in Two Rice Field Cyanobacteria ».
79- Pandey, V., & Rai, L. C. (2002). Interactive effects of UV-B and pesticides on photosynthesis and nitrogen fixation of Anabaena doliolum. Journal of Microbiology and Biotechnology, 12(3), 423–430.
80- Kalita et Baruah, « Cyanobacteria as a Potent Platform for Heavy Metals Biosorption ».
81- Zarrouk, C. (1966). Contribution a L'etude D'une Cyanobacterie: Influence de Divers Facteurs Physiques et Chimiques sur la Croissance et la Photosynthese de Spirulina maxima (Setchell et Gardner) Geitler .
82-Danesh, A. F.; Ebrahimi, S.; Salehi, A.; Parsa, A., Impact of nutrient starvation on intracellular biochemicals and calorific value of mixed microalgae. Biochem.Eng. J. 2017, 125, 56-64.
83-LOWRY, O. H., ROSEBROUGH, N. J., FARR, A. L., & RANDALL, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. The Journal of Biological Chemistry, 193(1), 265–275. https://doi.org/10.1016/s0021-9258(19)52451-6 .
84-Mishra, S. K.; Suh, W. I.; Farooq, W.; Moon, M.; Shrivastav, A.; Park, M. S.; Yang, J., Rapid quantification of microalgal lipids in aqueous medium by a simple colorimetric method. Bioresource Technol. 2014, 155, 330-333.
85-Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid raintreated bean plants protective role of exogenous polyamines. Plant Science, 151(1), 59–6 https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1
86- Wang et al., « Carbamazepine toxicity and its co-metabolic removal by the cyanobacteria Spirulina platensis».
87-Lichtenthaler (1987) , [34] Chlorophylls and carotenoids : pig,entd of photosynthetic biomembranes , Methods in enzymology , 148 , Elsevier , 350 -382
88-LOWRY, O. H., ROSEBROUGH, N. J., FARR, A. L., & RANDALL, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. The Journal of Biological Chemistry, 193(1), 265–275. https://doi.org/10.1016/s0021-9258(19)52451-6 .

89- Lopez, C.V., Garcia Mdel, C., Fernandez, F.G., Bustos, C.S., Chisti, Y., Sevilla, J.M., Protein measurements of microalgal and cyanobacterial biomass. Bioresour. Technol. 2010, 101 (19), 7587–7591.
90-Mishra, S. K.; Suh, W. I.; Farooq, W.; Moon, M.; Shrivastav, A.; Park, M. S.; Yang, J., Rapid quantification of microalgal lipids in aqueous medium by a simple colorimetric method. Bioresource Technol. 2014, 155, 330-333.
91-Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid raintreated bean plants protective role of exogenous polyamines. Plant Science, 151(1), 59–6 https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1
92- Gupta et al. (2018)., Evaluation of RECIST , PERCIST , EORTC , and MDA criteria for assessing treatement , Nuclear Medicine and Molecular Imaging , 52 ,420-429 .
93- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant and Cell Physiology, 22(5), 867–880.
https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232
94-Habig, W. H., Pabst, M. J., & Jakoby, W. B. (1974). Glutathione Stransferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. The
Journal of Biological Chemistry, 249(22), 7130–7139.
95-Kar et Mishra (1976)., catalase.peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence.
96-Gauthier, M. R., Senhorinho, G. N. A., & Scott, J. A. (2020). Microalgae under environmental stress as a source of antioxidants. Algal Research, 52(August), 102104. https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102104
97-Johnson, A. C., Keller, V., & Dumont, E. (2010). The effect of erythromycin on an experimental freshwater ecosystem. Aquatic Toxicology, 100(1), 66–78.
98-.Smith, V. H., Joye, S. B., & Howarth, R. W. (2006). Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. Limnology and Oceanography, 51(1 II), 351–355. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0351.
99-Zhou, T., Wang, J.J., Zheng, H.L., Wu, X.D., Wang, Y.P., Liu, M.Z., Xiang, S.Y., Cao, L.P., Ruan, R., Liu, Y.H., 2018. Characterization of additional zinc ions on the growth, biochemical composition and photosynthetic performance from Spirulina platensis. Bioresour. Technol. 269, 285–291.
100-Ismaiel, M.M.S., Piercey-Normore, M.D., Rampitsch, C., 2018. Proteomic analyses of the cyanobacterium Arthrospira (Spirulina) platensis under iron and salinity stress. Environ. Exp. Bot. 147, 63–74
101-Dao, G.H., Wu, G.X., Wang, X.X., Zhuang, L.L., Zhang, T.Y., Hu, H.Y., 2018. Enhanced growth and fatty acid accumulation of microalgae Scenedesmus sp. LX1 by two types of auxin. Bioresour. Technol. 247, 561–567.
102-Rosa, M., Prado, C., Podazza, G., Interdonato, R., Juan, A., Hilal, M., Prado, F. E., Rosa, M., Prado, C., Podazza, G., Interdonato, R., González, A., Hilal, M., Prado, F. E., Signaling, P., & Prado, F. E. (2009). A complex network in the life of plants nd es io s ci en ce o r u. 2324(May). https://doi.org/10.4161/psb.4.5.8294
103-Gana, A., Mathias, Y., Chia, A., Idris, R., & Gauje, B. (2023). Risk assessment of the antibiotic amoxicillin on non - toxin - producing strains and toxin - producing strains of Microcystis. Environmental Science and Pollution Research, 0123456789. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26403-9.
104-Zhou, X., Jiang, X., Gao, S., Wan, Z., & Gao, P. (2021). Effects of oxytetracycline dihydrate and sulfamethoxazole on Microcystis aeruginosa and Chlamydomonas microsphaera. Journal of Oceanology and Limnology, 39(1), 160–172. https://doi.org/10.1007/s00343-020-9214-6.
105-Yisa, A. G., Chia, M. A., Sha'aba, R. I., Gauji, B., Gadzama, I. M. K., & Oniye, S. J. (2021). The antibiotic ciprofloxacin alters the growth, biochemical composition, and antioxidant response of toxin-producing and non-toxinproducing strains of Microcystis. Journal of Applied Phycology, 33(4), 2145– 2155. https://doi.org/10.1007/s10811-021-02485-.
106-Caetano, P. A., do Nascimento, T. C., Fernandes, A. S., Nass, P. P., Vieira, K. R., Maróstica Junior, M. R., Jacob-Lopes, E., & Zepka, L. Q. (2022). Microalgae-based polysaccharides: Insights on production, applications, analysis, and future challenges. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 45(September). https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102491.
107-bele, A. J., Oluseyi, T., Drage, D. S., Harrad, S., & Abou-Elwafa Abdallah, M. (2020). Occurrence, seasonal variation and human exposure to pharmaceuticals and personal care products in surface water, groundwater and

drinking water in Lagos State, Nigeria. Emerging Contaminants, 6, 124–132. https://doi.org/10.1016/j.emcon.2020.02.004.

108-Gomes, M. P., Kitamura, R. S. A., Marques, R. Z., Barbato, M. L., & Zámocký, M. (2022). The Role of H2 O2-Scavenging Enzymes (Ascorbate Peroxidase and Catalase) in the Tolerance of Lemna minor to Antibiotics: Implications for Phytoremediation. Antioxidants, 11(1). https://doi.org/10.3390/antiox11010151

109-Acids, A., Elements, M., Carbohydrates, S., Homayoonzadeh, M., Haghighi, S. R., Hosseininaveh, V., & Talebi, K. (2021). Response of Cucumis sativus to Spirotetramat Application Leads to Changes in Salicylic Acid , Antioxidative Enzymes ,. 1–7.

110-Parrish, C. C., Whiticar, M. J., & Veer, H. W. (1999). Effects of antibiotics on lipids, protein, and carbohydrate content of a marine N2-fixing cyanobacterium. Marine Biology, 134(3), 541–547.

111-Parrish, C. C. (1999). Determination of Total Lipid, Lipid Classes, and Fatty Acids in Aquatic Samples. In M. T. Arts & B. C. Wainman (Eds.), Lipids in Freshwater Ecosystems (pp. 4–20). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0547-0_2.

112-Xiong, Q., Hu, L. X., Liu, Y. S., Zhao, J. L., He, L. Y., & Ying, G. G. (2021). Microalgae-based technology for antibiotics removal: From mechanisms to application of innovational hybrid systems. Environment International, 155, 106594. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106594.

113-Melegari, S. P., Perreault, F., Moukha, S., Popovic, R., Creppy, E. E., & Matias, W. G. (2012). Induction to oxidative stress by saxitoxin investigated through lipid peroxidation in Neuro 2A cells and Chlamydomonas reinhardtii alga. Chemosphere, 89(1), 38–43. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.04.009.

114-Qian, H., Chen, W., Sheng, G. D., Xu, X., Liu, W., & Fu, Z. (2008). Effects of glufosinate on antioxidant enzymes, subcellular structure, and gene expression in the unicellular green alga Chlorella vulgaris. Aquatic Toxicology, 88(4), 301–307. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2008.05.009.

115-Yang, Z. (2018). Functional analysis of catalase mutants and their application to the analysis of NADPH-linked pathways in oxidative signaling in Arabidopsis thaliana

116-Aebi, H. (1984). [13] Catalase in Vitro. In Methods in Enzymology (Vol. 105, Issue C, pp. 121–126). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3.

117-Caverzan, A., Passaia, G., Rosa, S. B., Ribeiro, C. W., Lazzarotto, F., & Margis-Pinheiro, M. (2012). Plant responses to stresses: Role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. Genetics and Molecular Biology, 35(4 SUPPL.), 1011–1019. https://doi.org/10.1590/S1415-47572012000600001.

118-Samanta, L., Stensjö, K., Lindblad, P., & Bhattacharya, J. (2022). Differential catalase activity and tolerance to hydrogen peroxide in the filamentous cyanobacteria Nostoc punctiforme ATCC 29133 and Anabaena sp. PCC 7120. Archives of Microbiology, 204(2), 121. https://doi.org/10.1007/s00203-021-02643-6.

119-Singh, P. K., Wang, W., & Shrivastava, A. K. (2018). Cadmium-mediated morphological, biochemical and physiological tuning in three different Anabaena species. Aquatic Toxicology, 202, 36–45. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.06.011.

120-Ahmed, S., Iqbal, M., Ahmad, Z., Iqbal, M. A., Artyszak, A., Sabagh, A. E. L., Alharby, H. F., & Hossain, A. (2023). Foliar application of silicon-based nanoparticles improve the adaptability of maize (Zea mays L.) in cadmium contaminated soils. Environmental Science and Pollution Research, 41002–41013. https://doi.org/10.1007/s11356-023-25189-0.

121- Rezayian, M., Niknam, V., & Ebrahimzadeh, H. (2019). Stress response in cyanobacteria. Iranian Journal of Plant Physiology, 9(3), 2773–2787. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8571-4_62

122- Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y., & Yoshimura, K. (2002). Regulation and function ofascorbate peroxidase isoenzymes. Journal of ExperimentalBotany, 53, 1305– 1319.

123-Yisa, A. G., Chia, M. A., Sha'aba, R. I., Gauji, B., Gadzama, I. M. K., & Oniye, S. J. (2021). The antibioticciprofloxacin alters the growth, biochemical composition, and antioxidant response of toxin-producing and non-toxin-producing strains of Microcystis. Journal of Applied Phycology, 33(4), 2145–2155. https://doi.org/10.1007/s10811-021-02485-1

124-Esterhuizen, M., Lutsko, M., Kim, Y., Yoon, H., Park, C.-B., Kim, Y. J., & Pflugmacher, S. (2022). Titanium (IV) oxide anatase nanoparticles as vectors for diclofenac: Assessing single and combined oxidative stress-related toxicity in the aquatic macrophyte Egeria densa. Iv. https://doi.org/10.1007/s10646-023-02646-7.

125-Zhang, Y., Li, M., Chang, F., Yi, M., Ge, H., Fu, J., & Dang, C. (2023). The distinct resistance mechanisms of cyanobacteria and green algae to sulfamethoxazole and its implications for environmental risk assessment. Science of the Total Environment, 854(June 2022), 158723. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158723.

126-Han, Q., Zheng, Y., Qi, Q., Peng, J., Song, J., Guo, J., & Guo, J. (2020). Involvement of oxidative stress in the sensitivity of two algal species exposed to roxithromycin. Ecotoxicology, 29(5), 625–633. https://doi.org/10.1007/s10646-020-02192-6.

127-Yisa, A. G., Chia, M. A., Sha'aba, R. I., Gauje, B., Gadzama, I. M. K., & Oniye, S. J. (2023). Risk assessment of the antibiotic amoxicillin on non-toxin-producing strains and toxin-producing strains of Microcystis. Environmental Science and Pollution Research, 0123456789. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26403-9.

الملخص

الملوثات المستحدثة هي مجموعة من الملوثات المختلفة مثل المبيدات الحشرية والمضادات الحيوية. الانشطة الحضرية والصناعية الزراعية اليومية لسكان العالم تطلق الملوثات المستحدثة في البيئة ويتم نقلها الى المياه السطحية والجوفية من خلال دورة المياه الطبيعية. حيث يمكن ان يكون لها اثار ضارة على الكائنات الحية وقد أصبح القضاء على المضادات الحيوية والمبيدات الحشرية من البيئة المائية قضية حاسمة بسبب سميتها واستمراريتها. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثيرات الأموكسيسيلين. الأسيبلان وادماجهما بعد خمسة أيام من الزراعة على المعلمات المرفولوجية والبيوكيماوية على الطحالب الدقيقة. أظهرت النتائج ان هناك انخفاض في نمو سبيرولينا أثناء التطبيق الفردي للأموكسيسيلين والأسيبلان. نفس النتائج سجلت عند دمجهما وعلاوة على ذلك كشفت نتائجنا عن تحريض الإجهاد التأكسدي استجابة للأموكسيسيلين والأسيبلان كما يتضح الارتفاع الكبير في مستويات بيروكسيد الهيدروجين داخل الخلايا خمسة أيام بعد التعرض لها. على وجه الخصوص بيروكسيد الدهون وأنشطة إنزيمات البيروكسيد المضادة للأكسدة والجلوتاثيون تم تغييرها بشكل ملحوظ. التطبيق الفردي للأموكسيسيلن والأسيبلان يزيد أيضا من إنتاج الإنزيمات. وخلصت النتائج إلى أن السمية المشتركة للأموكسيسيلين والأسيبلان أكثر خطورة على نمو سبيرولينا مقارنة بالسمية الفردية.

الكلمات المفتاحية: أموكسيسيلين. أسيبلان؛ السمية المدمجة. المعالجة الحيوية. الطحالب الدقيقة.

Abstract

Emerging pollutants (EP) are a group of different contaminants, such as pesticides, and antibiotics. The daily urban and agro-industrial activities of the world's population release EP into the environment and are transported to surface and groundwater through the natural water cycle, where they can potentially have harmful effects on living organisms, the elimination of antibiotics and pesticides from the aquatic environment has become a crucial issue in due to their toxicity and their persistence. The aim of this study is to determine the effects of AMOXICILLIN (AMX), ACEPLAN SP20 (ACE) and their combination after 10 days of culture on the morpho-physiological parameters and biochemical parameters of microalgae spirulina (*Arthrospira Platensis*) were studied. The results showed that there was a decrease in growth when applying AMX and ACE individually. The combined application of pesticides and antibiotics further reduced the growth of spirulina. Furthermore, our results unveiled the induction of oxidative stress in response to AMX and ACE, as evidenced by a significant elevation in intracellular hydrogen peroxide (H_2O_2) and lipid peroxidation (MDA) levels 10 days after exposure. Notably, the activities of the antioxidant enzymes peroxidase (POD) and glutathione-S-transferase (GST) were significantly impaired. when applying AMX and ACE individually. The combined application of AMX+ACE also increases enzyme production. The results concluded that combined toxicity (AMX+ ACE) is more dangerous for the growth of *Arthrospira Platensis* compared to individual toxicity.

Keywords:Amoxicillin;Aceplan; Combined toxicity; Bioremediation; Microalgae

Résumé

Les polluants émergents (PE) sont un groupe de différents contaminants, tels que, les pesticides, et les antibiotiques. Les activités urbaines et agro-industrielles quotidiennes de la population mondiale rejettent des PE dans l'environnement et sont transportés vers les eaux superficielles et souterraines à travers le cycle naturel de l'eau, où ils peuvent potentiellement avoir des effets nocifs sur les organismes vivants, l'élimination des antibiotiques et des pesticides de milieu aquatique est devenue une question cruciale en raison de leur toxicité et de leur persistance. Le but de cette étude est déterminer les effets des AMOXICILLINE (AMX), ACEPLAN SP20 (ACE) et leur combinaison après 10 jours de culture sur les paramètres morpho-physiologiques et biochimiques des microalgues spiruline (*Arthrospira Platensis*) ont été étudiés. Les résultats ont montré qu'il y'a une diminution dans la croissance, lors de l'application individuelle d'AMX et ACE. L'application combinée des pesticides et des antibiotiques encore diminué la croissance de la spiruline.De plus, nos résultats ont dévoilé l'induction d'un stress oxydatif en réponse à l'AMX et ACE, comme en témoigne une élévation significative des niveaux de peroxyde d'hydrogène intracellulaire (H_2O_2) et la peroxydation lipidique (MDA). Notamment, les activités des enzymes antioxydants, peroxydase (POD) et glutathion-S-transférase (GST) ont été significativement altérées lors de l'application individuelle d'AMX et ACE. L'application combinée des AMX+ACE augmente aussi la production des enzymes. Les résultats conclus que la toxicité de combiné (AMX+ ACE) est plus danger pour la croissance *d'Arthrospira Platensis* par rapport à la toxicité individuelle.

Mots clés:Amoxicilline;Aceplan; Toxicité combiné; Bioremédiation; Microalgues