

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

*République Algérienne Démocratique Et Populaire*

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

*Ministère De L'enseignement Supérieure Et De La Recherche Scientifique.*

جامعة الشاذلي بن جديد الطارف

*Université Chadli Bendjedid – El Tarf*

*Faculté Des Science De La Nature Et De La Vie*

*Département De Biologie*

*Mémoire présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master II*

*Spécialité :*

*Toxicologie Industrielle et Environnementale*

*THEME*

*Evaluation de L'effet des Nanoparticules  
Sur Les Cyanobactéries*

*Présenté Par :*

*Saad Bekhouche Hana*

*Devant le jury :*

|                        |            |                      |  |
|------------------------|------------|----------------------|--|
| <b>Pr NASRI HICHEM</b> | <b>Pr</b>  | <b>Président</b>     | <b>Université Chadli Bendjedid d'El-Tarf</b> |
| <b>Dr Gheid Samira</b> | <b>MCA</b> | <b>Examinatrice</b>  | <b>Université Chadli Bendjedid d'El-Tarf</b> |
| <b>Dr Amrani Amina</b> | <b>MCA</b> | <b>Promotrice</b>    | <b>Université Chadli Bendjedid d'El-Tarf</b> |
| <b>Dr Zaidi Hadjer</b> | <b>Phd</b> | <b>Co-promotrice</b> | <b>Université Chadli Bendjedid d'El-Tarf</b> |

2022/2023

## ***Résumé***

Notre étude expérimentale porte sur l'évaluation de l'impact de la molécule nanométrique à base d'oxyde d'antimoine, et leur effet sur des organismes aquatiques ; les cyanobactéries potentiellement toxique *Anabaena sp.* Les individus d'*Anabaena* sont exposés à un gradient de concentrations de  $Sb_2O_3$  pendant 48h. Les résultats obtenus montrent une diminution de la densité des individus d'*Anabaena* après exposition à  $Sb_2O_3$ , avec inhibition jusqu'au 72.22% après exposition à une faible concentration (25 mg). Des malformations et accumulation des nanoparticules dans les cellules d'*Anabaena* sont signalées.

**Mots clés :** Nanoparticules, trioxyde de l'antimoine,  $Sb_2O_3$ , *Anabaena*.

## ***Abstract***

Our experimental study focuses on the evaluation of the impact of the nanometric molecule based on antimony oxide, and their effect on aquatic organisms; the potentially toxic cyanobacteria *Anabaena* sp. *Anabaena* individuals are exposed to a concentration gradient of Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for 48 hours. The results obtained show a decrease in the density of *Anabaena* individuals after exposure to Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, with inhibition up to 72.22% after exposure to a low concentration (25 mg). Malformations and accumulation of nanoparticles in *Anabaena* cells are reported.

**Keywords:** Nanoparticles, antimony trioxide, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Anabaena*.



## **Remerciements**

Dieu pour tous les bienfaits qu'Il nous a accordé et pour le courage qu'il nous a attribué afin de compléter ce travail.

Je remercie **Pr Nasri H.** Professeur multidisciplinaire, faculté science de la nature et de la vie, université Chadli Bendjedid -El Tarf, d'avoir accepté de présider le jury.

Je tiens également à remercier **Dr Gheid S.** Maître de conférences à l'Université Chadli Bendjedid EL TARF, pour avoir pris sur son temps et accepter d'examiner et juger ce travail.

J'exprime ma reconnaissance à **Dr AMRANI AMINA** pour avoir accepté de m'encadrer dans cette étude. Je la remercie pour son implication, son soutien et ses encouragements tout au long de ce travail.

J'adresse mes remerciements à Mme **Mazdour Aisha** pour avoir supervisé le laboratoire et pour m'avoir aidé, ses conseils et ses orientations, je l'offre mon plus grand respect et ma gratitude et lui souhaite une longue et saine vie

Je remercie Mme **Hadjer Zaidi** du fond du cœur et j'apprécie ses grands efforts et son soutien continu j'ai eu l'honneur qu'elle m'ait encadré je lui offre beaucoup de respect et de remerciements et lui souhaite tout le meilleur

J'exprime le plus grand respect à monsieur **Fateh Sedarti** et le remercie beaucoup pour ses efforts continus avec moi pour ses conseils et son soutien et aide, je lui souhaite tout le meilleur et un avenir plein de succès et son accès à des postes plus élevés

Je remercie également les professeurs qui m'ont honoré en assistant à mes soutenances et en m'écoutant et je remercie tout ceux qui m'ont encouragé et

soutenu ou même initié des conseils ou des informations de la part des professeurs et autres

Enfin j'exprime mes remerciements et ma gratitude à toutes mes connaissances et à mes proches en particulier mes amis [Lauza](#), [Bilal](#) , [Inas](#) , [Khawla](#), [Chaima](#) , [Jihane](#) , [chahrazed](#)....

Je remercie aussi ma famille et surtout mes parents pour leur soutien morale et matériel pendant toute notre vie et surtout durant nos études.



## *Dédicaces*

J'adresse mes salutations, mes remerciement et ma grande gratitude à tout

les membre de mon honorable famille

Mes chers mère **Zakia** et père **Hassan**

Mes frères **Zuhair, Farid ,Bilal** et mes sœurs **Nadia, Rashida,Mona**

Mes neveux **Buchra, Rima, Abdel Basset, Mariam, Donia Zad, Zakaria,Abdel Salam ,Idris** et **Abdel Rahim ,Fares,Chams El Din** .

La femme de mon frère **Sabrina**

Ainsi que les gendre de la famille **Tawfik** et **Nasser**

Je leur adresse mes remerciement et ma grande gratitude de m'avoir accompagné, encouragé tout le long de cette aventure

j'espère que **Dieu** les protège avec une bonne santé et une longue vie



# Sommaire

|  |    |
|--|----|
| <b>Introduction</b>  | 01 |
| <b>CHAPITRE I : synthèse bibliographique</b>                         |    |
| I.    Les Cyanobactéries   | 04 |
| • Paramètres de croissance des cyanobactéries                        | 06 |
| • Les Cyanotoxines   | 08 |
| II. Généralité sur l'Antimoine                                       | 10 |
| -propriétés physico-chimique   | 10 |
| -Ses principaux dérivés l'antimoine                                  | 10 |
| -La pollution par le Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                  | 11 |
| - Toxicité des Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                        | 12 |
| <b>Chapitre 2 : matériels et méthodes</b>                            | 17 |
| 1. <b>Objectif</b>   | 17 |
| 2. Modèle biologique   | 17 |
| 3. Modèle chimique   | 17 |
| <b>4. Méthodologie</b>   | 17 |
| A. Isolement et culture des cyanobactéries.                          | 17 |
| B. Préparation de la BG11  | 18 |
| C. Dénombrement (Biovolume)  | 18 |
| D. Exposition des cyanobactéries                                     | 20 |
| E. Dosage des chlorophylles a et b                                   | 21 |
| Résultat et Interprétation   | 22 |
| 1.    Effet du trioxyde de l'antimoine sur dénombrement des Anabaena | 22 |
| 2.    Taux d'inhibition de croissance                                | 23 |
| 3. Impact de trioxyde de l'antimoine sur la morphologie d'Anabaena   | 24 |

|  |    |
|--|----|
| 4.Impact de trioxyde de l'antimoine sur la chlorophylle a et b | 27 |
| Discussion   | 28 |
| <b>conclusion</b>  | 31 |
| <b>Référence bibliographique</b>                               | 32 |

## Liste des figures

| N°  | Titre  | Page      |
|-----|--|-----------|
| 1.  | <b>Figure N°1:</b> Structure d'une cyanobactérie (Prescott et al., 2003)                                   | <b>04</b> |
| 2.  | <b>Figure N°2 :</b> Les différentes morphologies des cyanobactéries (site 1)                               | <b>05</b> |
| 3.  | <b>Figure N°03 :</b> le trioxyde de l'antimoine  | <b>17</b> |
| 4.  | <b>Figure N°04:</b> protocole d'utilisation (Moreda, 2013)   | <b>19</b> |
| 5.  | <b>Figure N°5:</b> les dimensions de la cellule (Ifaller, 2013)  | <b>19</b> |
| 6.  | <b>Figure N°06 :</b> exposition d'Anabaena au trioxyde d'antimoine (photo pers.2023)                       | <b>20</b> |
| 7.  | <b>Figure N°7 :</b> impact de trioxyde de l'antimoine sur le dénombrement d'Anabaena                       | <b>22</b> |
| 8.  | <b>Figure N°8 :</b> taux d'inhibition de la croissance d'Anabaena en présence du trioxyde de l'antimoine . | <b>23</b> |
| 9.  | <b>Figure N°9 :</b> Impact de trioxyde de l'antimoine sur la morphologie d'Anabaena                        | <b>26</b> |
| 10. | <b>Figure N°10 :</b> Impact de trioxyde de l'antimoine sur la chlorophylle a et<br>b                       | <b>27</b> |

## Liste des tableaux

| N° | Titre   | Page      |
|----|---|-----------|
| 1. | <b>Tableau N°1</b> : Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries, I.C.B.N. et I.C.N.B. ( <b>Rippka et al., 1979 ; Prescott et al., 2003</b> ) | <b>08</b> |

# Liste des abréviations

**PST II** : photosystème

**Oxypotobactéries** : photosynthèses oxygéniques

**ADN** : acide désoxyribonucléique

**AA** : acide aminé

**ADDA** : Acid Amine Atypique

**VIH** : virus de l'immunodéficience humaine

**EPS** : extracellulaire polysaccharide

**NPs** : nanoparticules

**Ps** : particule

**NM** : nanométrique

**NTs** : nanotechnologies

**Na** : sodium

**Mg** : magnésium

**CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone

**N<sub>2</sub>** : l'azote

**NH<sub>3</sub>** : ammoniac

**PH** : potentiel hydrogène

**UV** : ultra violet

**C°** : le degré celsius

**T** : température

**h** : heure

**mm** : mille mètre

**m** : mètre

**nm** : nanomètre

**µm** : micro mètre

**µl** : microlitre

**ppm** : partie par million

**kg** : kilo gram

**g** : gram

# *Introduction*

La nanotechnologie est un domaine scientifique moderne qui joue un rôle dominant dans les aspects de la vie quotidienne. Elle traite la production, la manipulation et l'utilisation de matériaux allant en nanomètres (**Kavitha et al., 2013**). Ainsi, elle concerne principalement les nanoparticules ayant une dimension de 1-100 nm (**Amudha Murugan et al., 2014**) qui sont largement utilisés dans les cosmétiques, aliments et médicaments pour de meilleures performances. (**Gojova et al., 2007**).

Les nanoparticules sont définies comme étant toute particule possédant un diamètre inférieur à 100 nm. Vu que la majorité de leurs atomes sont situées en surface, elles possèdent des propriétés physicochimiques propres et uniques. Elles provenant de deux sources principales, naturel et anthropiques (**Lanone et Boczkowski, 2010**).

Les nanoparticules ont envahi notre environnement quotidien suite au large spectre d'applications, malgré que nombreuses études aient bien démontrées leur pouvoir toxique plus ou moins important (**Massea et Boudene, 2012**); Plusieurs caractéristiques propres aux nanoparticules ; propriétés diélectriques, magnétique, tailles, propriétés structurelles et optiques ; ont suscité un intérêt massif pour eux, et leurs utilisations ont été élargies au fur et à mesure, dans différents domaines ; médicale, d'épurations environnementales et surtout industriel ; alors que ces même propriétés jugées favorables, sont impliquées dans leur potentielle toxique (**Schrand et al., 2010 ; Seabra et al., 2015**).

Les nanoparticules peuvent être selon **Lanone & Boczkowski, 2010** :

- D'origine naturelle (poussières émises par combustion ou par les volcans, produites par érosion).
- Produites par l'homme de façon non intentionnelle (ou nanoparticules non manufacturées d'origine anthropique).
- Les nanoparticules produites par l'homme de façon intentionnelle (ou nanoparticules manufacturées)

L'antimoine fait partie des nanoparticules qui présentes des caractéristiques physicochimiques très intéressantes, il est utilisé en électricité dans la fabrication des fils de fusibles ,en pharmacologie et en agriculture comme pesticide.

Bien que les mécanismes de toxicité du l'antimoine soient mal connus ; certaines études ont émis l'hypothèse que les nanoparticules de  $Sb_2O_3$  peuvent induire un stress oxydatif, en produisant les espèce réactives d'oxygène (ERO) ; ce qui suggère que la toxicité du l'antimoine doit obligatoirement être étudiée et évaluée à l'avenir.

Nous avons évalué par une étude expérimentale l'effet d'une nanoparticule : l'oxyde de l'antimoine  $Sb_2O_3$  sur une cyanobactérie potentiellement toxique *Anabaena sp.*, qui est l'une des espèces des cyanobactéries la plus abondante dans la région Nord-est d'Algérie.

**Ce document est structuré comme suit :**

- **La première partie :** Il s'agit d'une étude bibliographique sur les cyanobactéries et nanoparticules de trioxyde d'antimoine,
- **La deuxième partie :** traite les méthodes utilisées pour déterminer les effets de  $Sb_2O_3$  sur *Anabaena sp.*
- **La troisième partie :** Il présentera les résultats obtenus et la discussion.
- **Conclusion :** contient une déduction.

# *Synthèse*

## *Bibliographique*

## II.1. Les Cyanobactéries

Les Cyanobactéries ou algues bleu-verts qui flottent à la surface des étangs et des lacs, leurs cellules se caractérisent par l'absence d'un vrai noyau, de plastes et de reproduction sexuée (Bourrelly, 1985)

D'après Afssa (2006), ces microorganismes présentent outre des propriétés spécifiques des bactéries des caractéristiques propres aux algues ; d'une part, la structure cellulaire est similaire à celle des bactéries et caractérisée en particulier par l'absence de noyau et d'organites intracellulaires, d'autre part, comme les algues, la plupart des Cyanobactéries des eaux continentales possèdent de la chlorophylle-a, et non de la bactériophylle comme certaines bactéries photosynthétiques. Elles renferment généralement, comme autres pigments photosynthétiques des phycobilliprotéines et réalisent une photosynthèse productrice d'oxygène en utilisant l'eau comme donneur d'électrons. (Fig. N°1)

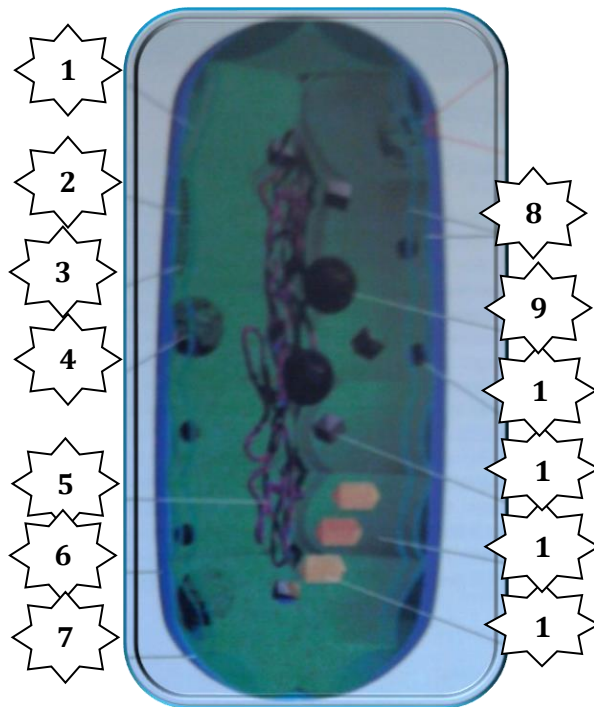
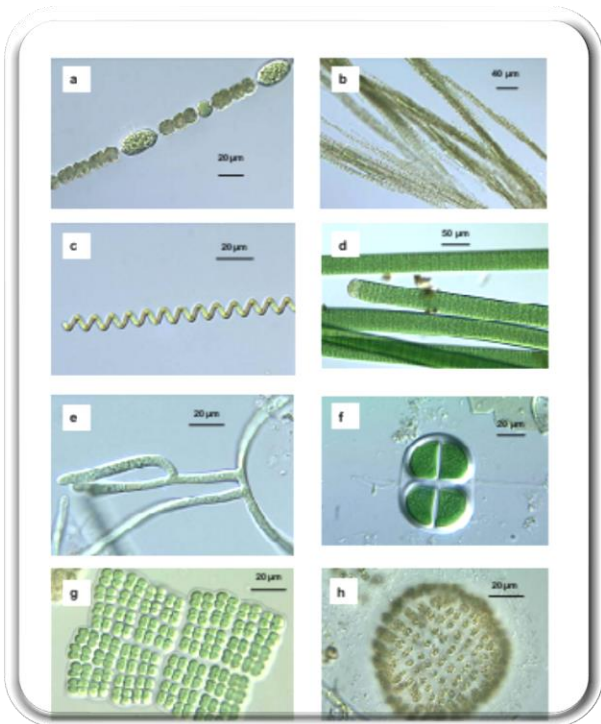


Figure N°1: Structure d'une cyanobactérie (Prescott et al., 2003)

**1 : Granules de glycogène - 2 : Rang du phycobilosomes (vue latérale) – 3 : Rang du phycobilosomes (vue de face) – 4 : granule de cyanophycine - 5 : Nucleoïde ou Nucléoplasme - 6 : Paroi Cellulaire – 7 : Membrane Plasmique 8 : Thylacoïde –9 : granule de polyphosphate – 10 : granule lipidique -11 : carboxysome – 12 : ribosome – 13 : vésicule gazeux**

Ce sont des organismes, qui poussent aussi bien en cellules isolées ayant alors un aspect sphérique ou bâtonnet très proche de celui des bactéries, qu'en colonies ou filaments formant des filaments simples non ramifiés (Leclerc et al., 1983) (Fig. N°2). De plus, les cyanoprocaryotes

possèdent des caractéristiques écologiques très variées qui leur permettent de coloniser la plupart des habitats aquatiques (dulcicoles et marins) (**Lance, 2009**).



**Figure N°2 :** Les différentes morphologies des cyanobactéries (**site 1**)

**a :** *Anabaena*, **b :** *Aphanizomenon*, **c :** *Spirulina*,

**d :** *Oscillatoria*,

**e :** *Hapalosiphon*, **f :** *Chroococcus*, **g :**

*Merismopedia*, **h :** *Woronichinia*

Les cyanophycées font partie des plus anciens organismes apparus sur terre (précambrien 2.5 à 3.5 milliards d'années). De plus ils sont très abondants et largement distribués (**Paerl et al., 2001 ; Cox et al., 2005**).

Bien que référencées dans la classification bactériologique, elles sont toujours intégrées dans le code de nomenclature de botanique et leur identification au niveau de l'espèce est difficile est nécessite une identification génétique. En notant la présence de 150 genres dans lesquelles sont réparties plus de 2000 espèces (**Fott, 1971 ; Afssa, 2006 ; Duy et al., 2000**)

L'adaptabilité et la prédominance des cyanobactéries sont due à leur composition pigmentaire et à la présence des vésicules à gaz (**Thébault et Lesne, 1995**), qu'ils les permettent de se déplacer verticalement afin d'optimiser leur position dans la colonne d'eau (**Walsby, 1994**) et des **akinètes** : des cellules différenciées que certaines espèces produisent lorsqu'elles sont mises dans des conditions de carence. Elles possèdent une paroi cellulaire épaissie et un cytoplasme riche en substance de réserves (glycogène). Les akinètes sont habituellement plus grandes que les cellules végétatives, et le niveau de leur métabolisme est ralenti. Elles sont douées d'une certaine résistance à la dessiccation et au froid et peuvent fonctionner comme unité de d'hibernation et/ou de dissémination (**Singleton, 2005 ; Prescott et al., 2003**)

La multiplication des cyanoprocaryotes est végétative ou asexuée, elle s'effectue par division binaire d'une cellule mère en deux cellules filles, par bourgeonnement (Pleurocapsales,

Chamaesiphonales) ou par division multiple (Nostocales, Stigonematales) (**Chorus et Bartram, 1999**).

- **Paramètres de croissance des cyanobactéries:**

Les cyanoprocaryotes ont des propriétés spéciales qui déterminent leur importance dans la communauté phytoplanctonique (**Chorus et Bartram, 1999**), ainsi, la composition des phytoplanctons varie au cours de l'année, chaque groupe étant constamment présents dans le milieu à des proportions différentes. En effet le brassage printanier fournit aux cyanobactéries l'alimentation nécessaire en remettant en suspension les particules ce qui favorise leur croissance.

Les cyanophycées ont la capacité de se proliférer lorsque les conditions favorables sont réunies typiquement dans les eaux de 20-30°C, du pH basique entre 6 et 9, à faible turbulence et à forte intensité lumineuse et à teneur moyenne à élevée en phosphore et/ou azote (milieu eutrophe ou hypertrophe) (**Chorus et Bartram, 1999 ; Duy et al., 2000 ; Oberholster et al., 2004 ; 2010**).

⇒ **Température**

Selon **Robarts et Zohary, (1987)**, les taux de croissance maximaux de la plupart des cyanobactéries sont atteints à des températures supérieures à 25 °C. **Reynolds et Walsby (1975)** suggèrent un optimum de température variant entre 25 et 35 °C. Ces températures optimales sont plus élevées que pour les algues vertes et les diatomées. Bien que les températures optimales de croissance des cyanobactéries soient généralement élevées, des fleurs d'eau de cyanobactéries ont aussi été observées tôt au printemps et tard à l'automne alors que la température de l'eau est basse. Certaines fleurs d'eau ont même été signalées sous un couvert de glace. Selon l'étude de **Robarts et Zohary (1987)**, *Microcystis* exhibe une forte baisse du taux de croissance à des températures sous 15 °C, cependant, le genre *Oscillatoria* était le plus tolérant aux basses températures de l'eau, proliférant sous les 10 °C. Même les espèces acclimatées aux régions polaires et alpines possèdent des optimums de croissance à températures élevées (>15 °C; **Tang et Vincent, 1999**). D'après **Carmichael et al., (1990) et Nasri, (2001)**, les cyanobactéries prolifèrent à une température comprise entre 15°C et 30°C.

⇒ **Le PH du milieu**

Bien que l'on ait souvent observé une dominance de cyanobactéries lorsque le pH est élevé, **Shapiro (1997)** suggère que c'est l'abondance de cyanobactéries qui réduit la concentration en CO<sub>2</sub> (suite à la photosynthèse) à des niveaux limitant fortement la croissance des algues, faisant ainsi augmenter le pH dû à une variation dans les réactions d'équilibre entre le CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. Les algues bleu-verts tolèrent les pH compris entre 6 et 9, un pH alcalin (**Carmichael et al., 1990 ; Nasri, 2001**).

### ⇒ La lumière :

Une faible disponibilité en lumière dans la colonne d'eau favorise la croissance des cyanobactéries au détriment des algues. En effet, bien que de forts éclaircissements soient propices au développement des cyanobactéries, elles sont également bien adaptées à un manque de lumière causé par une prolifération algale excessive ou autres composantes de l'eau qui atténuent la lumière (matières humiques, sédiments en suspension). Les cyanobactéries tolèrent les faibles éclaircissements étant donné leurs pigments spécialisés et leur potentiel de flottabilité. (Lavoie *et al.*, 2007a ; Hennion et Rivasseau, 1995).

### ⇒ Nutriments et apports en azote et phosphore :

Une expérience effectuée par Schindler et son équipe en 1977 a démontré que les cyanobactéries fixatrices d' $N_2$  augmentaient considérablement lorsque le ratio NT:PT était abaissé de 15 à 5. L'étude de Nicholls *et al.* en (1986) a montré qu'une baisse de taux de phosphate a influencé sur le taux de croissance des espèces cyanobactériennes non fixatrice d'azote, or Zhang et Prepas (1996), ont montré que le « P » influe sur la biomasse et pas sur la structure de la communauté. Blomqvist *et al.*, (1994) suggère que le succès des cyanobactéries non-fixatrices d' $N_2$  (telle que la *M. aeruginosa*) est influencé par la présence de la forme inorganique d'azote ( $NO_3$ ), ainsi la capacité qu'ont certaines cyanobactéries à se développer est réduite lorsque la concentration en  $NO_3^-$  est supérieure à 20 mg/l. Pour sa part, Kappers (1984, in Lavoie *et al.*, 2007b) a découvert que le *M. aeruginosa* préfère le  $NH_4^+$  au  $NO_3^-$  en tant que source d'azote.

L'étude de De Figueiredo, (2006) conduite au lac Vela (Portugal) a révélé que le développement de fleurs d'eau d'*Aphanizomenon flos-aquae* était associé aux plus faibles concentrations en azote enregistrées dans le lac (0.3 mg  $NO_3$ /l, 0.35 mg  $NH_4$ /l), alors que les fleurs d'eau de *Microcystis aeruginosa* étaient associées aux fortes concentrations en ammonium et à la pénurie de phosphates.

### ⇒ Les facteurs biologiques :

Dans un écosystème aquatique, le phytoplancton est consommé par le zooplancton, lui-même ingéré par les poissons (des espèces de poissons herbivores sont toutefois capables de consommer directement du phytoplancton). Cependant les cyanobactéries ne sont pas facilement digérées par le zooplancton. Ainsi, par rapport à d'autres algues (diatomées, chlorophycées,...), la population de cyanobactéries peut alors augmenter. Les micro-algues sont soumises à compétition pour l'accès aux éléments nutritifs et à la lumière par des macrophytes ainsi que d'autres micro-organismes.

**Tableau N°1** : Correspondance des deux systèmes de classification des cyanobactéries, I.C.B.N. et I.C.N.B. (**Rippka et al., 1979 ; Prescott et al., 2003**)

| Classification Bactérienne (I.C.N.B.) | Classification Botanique (I.C.B.N.) | Description   |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Section I                             | <b>Chroococcales</b>                | Individus unicellulaires ou coloniaux, à multiplication par fission binaire et/ou formation d'exospores.  |
| Section II                            | <b>Pleurocapsales</b>               | Individus coloniaux (protothalles), à multiplication par fission multiples donnant des baeocytes.   |
| Section III                           | <b>Oscillatoriales</b>              | Formes filamenteuses unisériées, non hétérocytées, sans ramification, à division cellulaires perpendiculaires à l'axe du trichome.  |
| Section IV                            | <b>Nostocales</b>                   | Formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocytes, akinètes), à divisions cellulaires dans un seul plan.   |
| Section V                             | <b>Stigonematales</b>               | Formes filamenteuses à différenciation cellulaire (hétérocytes, akinètes) présentant des ramifications (vraies ou fausses), à divisions cellulaires dans plusieurs plans. |

### • Les Cyanotoxines

Dans les conditions environnementales qui leurs sont favorables, les cyanobactéries connaissent des phases de proliférations massives, aussi qualifiée d'efflorescence ou de bloom. Ces proliférations traduites par la production sur une courte durée, d'une biomasse importante avec une dominance d'une ou plusieurs espèces ce qui provoque une coloration de l'eau au dépend de leurs pigments majeurs. Ces phénomènes sont le plus souvent observés à la surface de l'eau où ils forment des agrégats flottants sont dites "fleurs d'eau", "écumes" ou "mousse"(Afssa, 2006). Ces eaux colorées sont accompagnées, dans certains cas, d'anoxie, l'une des conséquences sera la mortalité de poissons qui sont parmi les vertébrés les plus sensibles à la chute d'oxygène dissout.

En matière de synthèse chimique, les algues bleu-vert produisent une très grande variété de molécules, cela va de produits utiles comme des antibiotiques, des antiviraux et des anti-tumoraux, à

des composés néfastes tel que la géosmine ou le 2-méthyl isobornéol qui confèrent à l'eau du robinet un goût exécrable (**Inf'ODE, 2003**)

Les cyanotoxines sont des toxines produites par les Cyanobactéries en tant que métabolites secondaires. Le terme secondaire signifie, d'une part, que ces composants ne sont pas nécessaires au métabolisme primaire (la photosynthèse, la respiration et la synthèse de macromolécules) et, d'autre part, que les composants biologiques n'ont pas tous un rôle connu (**Carmichael, 1986**). En effet, alors que jusqu'à très récemment, on considérait les cyanotoxines comme des métabolites secondaires (**Carmichael, 1992; Rapala, 1998**), **Orr et Jones (1998)** suggèrent que les cyanotoxines de type microcystines et nodularine pourraient être des métabolites primaires, des composés azotés essentiels au métabolisme cellulaire, pouvant servir de transporteurs transmembranaire pour certains métaux.

## II. Généralité sur l'Antimoine

L'antimoine est un élément intermédiaire entre les métaux et les non-métaux. Il est principalement métallique. Son symbole est Sb. sa masse atomique est de 121,76 et son numéro atomique est  $Z=51$ . Il se caractérise par une structure électronique externe de  $5s^2, 5p^3$  dans la nature, c'est un mélange de deux isotopes avec des masses atomiques de 121 (57,25%) et 123 (42,75%).

### **-Propriétés physico-chimique :**

L'antimoine se trouve dans la liste 15 éléments pnictogènes dans le tableau périodique aux côtés de l'arsenic, du phosphore, du bismuth et de l'azote. C'est un métalloïde, autrement dit il revêt à la fois les propriétés d'un véritable métal et également celles d'un non-métal.

Cet élément chimique est connu sous l'abréviation **Sb** qui est un diminutif du mot **Stibi**, un terme servant à désigner les corps minéraux antimoniés, dont fait partie la **stibine** à titre d'information, cette dernière est un trisulfure d'antimoine, un métal stable qui a servi autrefois de remède contre les infections oculaires. D'ailleurs, une poudre de couleur noire, profonde était dans les temps anciens un allié de beauté pour les femmes –le khôl- qui leur permet de souligner à la manière d'un eye liner le contour de leurs yeux. **(la science des thérapies naturelles 2023)**

### **-Ses principaux dérivés l'antimoine :**

est caractérisé dans la plupart de ses composés par des degrés d'oxydation +3 et +5, comme c'est le cas dans ses deux oxydes :  $Sb_2O_3$  et  $Sb_2O_5$  et dans ses halogénures :  $SbX_3$  et  $SbX_5$ . Son hydrure est limité à l'état d'oxydation +3 ( $SbH_3$ ).

Le trioxyde d'antimoine,  $Sb_2O_3$ , est un oxyde amphotère. L'antimoine est légèrement soluble dans l'eau, mais il se dissout dans des acides concentrés donnant des sels correspondants qui s'hydrolysent facilement en composés d'antimoine. Il se dissout également dans les bases (donnant des composés d'antimonite  $SbO_3^{-3}$ ) ; Il polymérise à l'état de vapeur en  $Sb_4O_6$ . Il stabilise l'oxygène à haute température (800 °C), en se transformant en oxyde  $Sb_2O_4$ , et donne avec le tartrate de potassium un composé utilisé en médecine comme émétique.

**-Le trioxyde d'antimoine :** est employé comme ignifugeant pour les textiles et les matières plastiques, comme opacifiant pour les verres, les céramiques et les émaux, comme pigment pour les peintures et comme catalyseur chimique. Il est également utilisé dans la fabrication de sels d'antimoine.

### ***-La pollution par le $Sb_2O_3$***

L'antimoine est présent naturellement dans la croûte terrestre et les rejets dans l'atmosphère proviennent aussi bien des sources naturelles que des sources anthropiques. **41 %** des émissions dans l'air proviennent de sources naturelles : particules de sol transportées par le vent, volcans, aérosols marins, feux de forêts, sources biogéniques (ATSDR, 1992). Les sources anthropiques de rejet dans l'atmosphère incluent l'industrie des métaux non ferreux (extraction minière, fusion, raffinage) et la combustion du charbon et des ordures. Les rejets dans l'eau proviennent d'industries liées à la production et à l'utilisation de l'antimoine et de ses composés. (Aux USA, les eaux résiduelles des fonderies, de l'industrie de l'émaillage de la porcelaine et de l'industrie des métaux non ferreux présentent des concentrations supérieures à **1 ppm** )

#### **3-1-Comportement**

**-Dans l'eau :** L'antimoine est peu présent dans les eaux. Ses spéciations ainsi que les phénomènes chimiques et biochimiques qui se produisent dans les eaux sont peu connus (ATSDR, 1992). Il semble convenu que l'antimoine dans les eaux est principalement présent sous des formes associées à la matière particulaire.

**-Dns les sols :** l'antimoine est fortement adsorbé dans les sols. L'antimoine forme des espèces anioniques et son adsorption est plus importante dans des conditions faiblement acides. Cette adsorption est corrélée avec les teneurs en fer, manganèse et aluminium des sols dans la mesure où l'antimoine coprécipite avec les oxyhydroxydes de ces éléments (ATSDR, 1992).

**-Dans l'air :** L'antimoine peut être associé à des dépôts de minerai non ferreux, et c'est sous cette forme qu'il est le plus souvent émis dans l'atmosphère (Adriano, 1986 ; Kabata-Pendias et Pendias, 1992). En effet, l'antimoine est un métal relativement volatil et sous forme vapeur suite , à un proces de combustion, il se condense sur la matière particulaire en suspension fine dont le diamètre est inférieure au micromètre (ATSDR, 1992). La demi-vie de l'antimoine dans l'atmosphère est estimée à 1,9 jours, et peut aller jusqu'à 3,2 jours pour le trioxyde d'antimoine (ATSDR, 1992). L'antimoine peut donc être transporté sur de longues distances depuis son point d'émission. Les plus fortes concentrations d'antimoine dans l'atmosphère ont été relevées aux alentours de fonderies de cuivre, de zinc ou de plomb (Adriano, 1986 ; Kabata-Pendias et Pendias, 1992 ; Edwards et al., 1995).

### 3-2- Persistance :

L'antimoine, en tant qu'élément chimique, ne peut pas être dégradé. Cependant il peut être transformé par des facteurs abiotiques ou biotiques. Dans l'environnement, l'antimoine sera principalement sous les degrés d'oxydation Sb(III) et Sb(V). Ces deux formes peuvent facilement être hydrolysées en Sb(OH)<sub>3</sub> et Sb(OH)<sub>6</sub> - respectivement.

D'après les potentiels redox, la forme Sb(V) sera majoritaire en milieu oxygène tandis que la forme Sb(III) sera préférentiellement retrouvée en milieu anoxique. Cependant, la forme Sb(III) peut aussi être retrouvée dans les eaux oxygénées, et plus particulièrement dans la zone photique de la colonne d'eau.

La présence de la forme Sb(III) dans cette zone a pu être interprétée comme le résultat d'une réduction photochimique (Cutter et al., 2001) ou de l'activité métabolique du phytoplancton (Benson, 1998). L'antimoine peut aussi être méthylé suite à l'action de microorganismes (Gurleyuk et al., 1997).

L'antimoine sous forme méthylé a été retrouvé dans les eaux de surface (représente en proportion jusqu'à 10% de l'antimoine dissous), dans les biotes (Filella et al., 2002) et dans les émanations gazeuses des boues d'épuration (Hirner et al., 1994) **.(D.Guillard 25/04/2007)**

#### **-Toxicité des Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Dans ses propriétés chimiques et son action métabolique, l'antimoine est très similaire à l'arsenic, et puisque les deux éléments sont parfois trouvés ensemble, l'arsenic peut être blâmé pour l'effet de l'antimoine, en particulier chez les fondeurs. Cependant, des expériences sur l'antimoine métallique de haute pureté ont montré que ce métal II a des toxines complètement indépendantes; Différents spécialistes ont trouvé une DL50 moyenne comprise entre 10 et 11,2 mg/100 g

Le principal danger de l'antimoine est l'empoisonnement par ingestion, inhalation ou absorption cutanée. Les voies respiratoires

sont la voie d'entrée la plus importante car l'antimoine est fréquemment rencontré sous forme de poussière fine en suspension dans l'air. L'ingestion peut se produire par ingestion de poussière ou par contamination de boissons. L'absorption cutanée est également moins fréquente, mais peut se produire lorsque l'antimoine est en contact prolongé avec la peau.

### **-Intoxication aigues :**

L'antimoine peut pénétrer dans le corps par la peau, mais la voie principale passe par les poumons. Le sang et les tissus absorbent l'antimoine des poumons, en particulier l'antimoine libre. Des études sur des travailleurs et des expériences sur l'antimoine radioactif montrent que la majeure partie de la dose absorbée pénètre dans le corps. Dans les 48 heures, il est éliminé dans les fèces et, dans une moindre mesure, dans les urines.

La poussière trouvée dans l'extraction d'antimoine peut contenir de la silice libre. Des cas de pneumonie (appelée antimoniose ou silicose) ont été signalés chez les mineurs d'antimoine. Au cours du traitement, le minerai d'antimoine très fragile est transformé plus rapidement en fine poussière de roches associées, ce qui entraîne des concentrations élevées de fines poussières dans l'atmosphère lors de processus tels que la réduction et le tamisage.

La poussière produite lors du concassage est relativement grossière et les processus restants sont la classification, la flottation, la filtration, etc. Ils peuvent présenter des opacités pulmonaires diffuses habituelles, sans signes cliniques ou fonctionnels d'altération en l'absence de poussière de silice.

-L'inhalation d'aérosols d'antimoine peut entraîner des réactions locales au niveau des muqueuses, des voies respiratoires et des poumons.

-L'examen des mineurs, des condensateurs et des fondeurs exposés aux poussières et fumées d'antimoine a révélé des dermatites, des rhinites, des infections des voies respiratoires supérieures et inférieures, y compris des pneumonies et même des gastrites, conjonctivite et perforations septum nasal.

-Une pneumonie, parfois associée à des modifications pulmonaires obstructives, a été signalée après une exposition à long terme chez l'homme. Bien que la pneumonie à l'antimoine soit considérée comme bénigne, les effets respiratoires chroniques associés à une exposition grave à l'antimoine ne sont pas considérés comme inoffensifs. En outre, même des effets cardiaques mortels ont été associés à une exposition professionnelle à long terme au trioxyde d'antimoine. Des infections cutanées pustuleuses apparaissent parfois chez les personnes ayant été en contact avec des sels d'antimoine. Ces éruptions sont transitoires et affectent principalement les zones de la peau exposées à la chaleur ou à la transpiration.

-Le reste reste dans le sang pendant un certain temps, les érythrocytes contenant plusieurs fois plus d'antimoine que le sérum chez les travailleurs exposés à l'antimoine pentavalent, où l'excrétion d'antimoine dans l'urine est corrélée à la sévérité de l'exposition.

-L'antimoine inhibe l'activité de certaines enzymes, lie les groupes sulfures dans le sérum et perturbe le métabolisme des protéines et des glucides ainsi que la production de glycogène dans le foie.

-Des expérimentations animales prolongées avec des aérosols d'antimoine ont entraîné une pneumonie lipoïde interne caractéristique.

- Des lésions cardiaques et des morts subites ont également été signalées chez des travailleurs exposés à l'antimoine

- une fibrose pulmonaire focale et des effets cardiovasculaires ont été observés lors d'expériences sur des animaux.

-L'utilisation thérapeutique des médicaments à base d'antimoine a notamment permis de découvrir la toxicité myocardique cumulée des dérivés trivalents de l'antimoine (qui sont excrétés plus lentement que les dérivés pentavalents

#### **-Les symptômes d'empoisonnement aigu :**

- comprennent une violente irritation de la bouche, du nez, de l'estomac et des intestins ; Ce qui provoque des vomissements et des selles sanglantes

- ainsi qu'un coma respiratoire lent et peu profond, parfois suivi de la mort par épuisement et complications du foie et des reins

- parmi les cas d'intoxication chronique figurent : gorge sèche, nausées, maux de tête, insomnie, pertes d'appétit et de vertiges, où certains spécialistes notaient des différences entre les sexes dans les effets de l'antimoine .( **Al Hawamdeh, 2020**)

#### **-Toxicité à long terme :**

Que ce soit en expérimentation animale ou chez les travailleurs, l'exposition prolongée à des poussières de composés trivalents de l'antimoine (oxyde, sulfure)

-produit une irritation des voies aériennes supérieures (rhinite, laryngite, trachéite)

-une inflammation du tractus broncho-pulmonaire suivie d'une fibrose entraînant une pneumoconiose stibiée (stibiose). Des atteintes cardiovasculaires sont fréquentes (myocardie, hypertension, arythmie...).

- Parfois sont observés des troubles digestifs (gastro-entérites) et nerveux (céphalées, atteintes psychologiques...). Tous ces symptômes n'ont rien de caractéristique, ce qui rend difficile l'identification de l'implication directe des composés de l'antimoine.

Récemment, plusieurs études ont été entreprises pour déterminer l'activité génotoxique des composés de l'antimoine, dans ces pathologies. Selon le CIRC, malgré l'absence de réponse avec la plupart des tests de mutagénèse, les résultats positifs de cancers bronchiques en expérimentation animale ont permis de classer le trioxyde d'antimoine ( $Sb_2O_3$ ) parmi les composés cancérogènes possibles chez l'Homme (groupe 2B). En ce qui concerne l'activité reprotoxique, Choe et coll. ont en évidence en 2003 que l'antimoine ( $SbCl_3$ ) avait une activité œstrogénique proche de celle du cadmium et est de ce fait un perturbateur endocrinien indéniable, qu'il serait nécessaire de prendre en considération. **(Picot et Narbonne, 2011)**

*CHAPITRE II*

*MATERIELS ET*

*METHODE*

# Matériels et Méthodes

## 5. Objectif :

L'objectif primordial de notre étude est de tester l'impact des nanoparticules d'oxyde métallique le trioxyde d'antimoine sur les caractéristiques morphologiques et physiologiques des cyanobactéries.

Le travail est réalisé au niveau du laboratoire de recherche « Biodiversité et Pollution des Ecosystèmes » dirigé par Pr Nasri Hichem- université Chadli Bendjeddid-El Tarf.

## 6. Modèle biologique

Notre modèle biologique c'est *Anabaena sp.* C'est un genre de cyanobactéries filamenteuses de la famille des Nostocaceae. *Anabaena* a été isolée à partir d'un bloom de cyanobactéries au niveau du lac des oiseaux (nord-est Algérien) le mois de Septembre 2022.

## 7. Modèle chimique

Le matériel chimique utilisé dans cette expérimentation est une préparation commerciale de nanoparticules à base de trioxyde de l'antimoine ( $Sb_2O_3$ ).



Figure N°03 : le trioxyde de l'antimoine (photo pers, 2023)

## 8. Méthodologie

### a. Isolement et culture des cyanobactéries.

- Verser 1ml du milieu BG11 filtré dans une plaque multi-puits ;
- Déposer dans chacun trois colonies purifiées du genre *Anabaena* ;
- Fermer immédiatement la plaque;

- Incuber la plaque dans un incubateur à une température de 25°C et à 16/8h de luminosité ;

- **Préparation de la BG11**

Le tableau N°3 montre les composants principaux du notre milieu de culture.

**Tableau N°3 : Composition du milieu BG11 (Hong, 2016)**

| Composé   | Quantité (g /l) |
|---|-----------------|
| NaNO <sub>3</sub>                                   | 1,5             |
| CaCl <sub>2</sub> ,2H <sub>2</sub> O                | 0,036           |
| Citrate ferrique d'ammonium                         | 0,012           |
| EDTA.Na <sub>2</sub> 2H <sub>2</sub> O              | 0,001           |
| K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>                     | 0,04            |
| MgSO <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O                | 0,075           |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                     | 0,02            |
| Solution de métaux traces                           | 1ml /L          |
| <hr/>   |                 |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                      | 2,86            |
| MnCl <sub>2</sub> -4H <sub>2</sub> O                | 1,81            |
| ZnSO <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O                | 0,0222          |
| NaMoO <sub>4</sub> ,2H <sub>2</sub> O               | 0,39            |
| CuSO <sub>2</sub> ,5H <sub>2</sub> O                | 0,079           |
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O | 0,049           |

**b. Dénombrement (Biovolume)**

Le dénombrement des *Anabeana* est réalisé avant et après l'exposition à l'aide d'une cellule de comptage la malassez (numération directe). C'est une épaisse lame de verre, creusée de rigoles qui délimitent deux plates-formes latérales élevées qui supporteront une lamelle épaisse et plane et une plate-forme centrale légèrement abaissée, sur laquelle est gravé deux quadrillages.

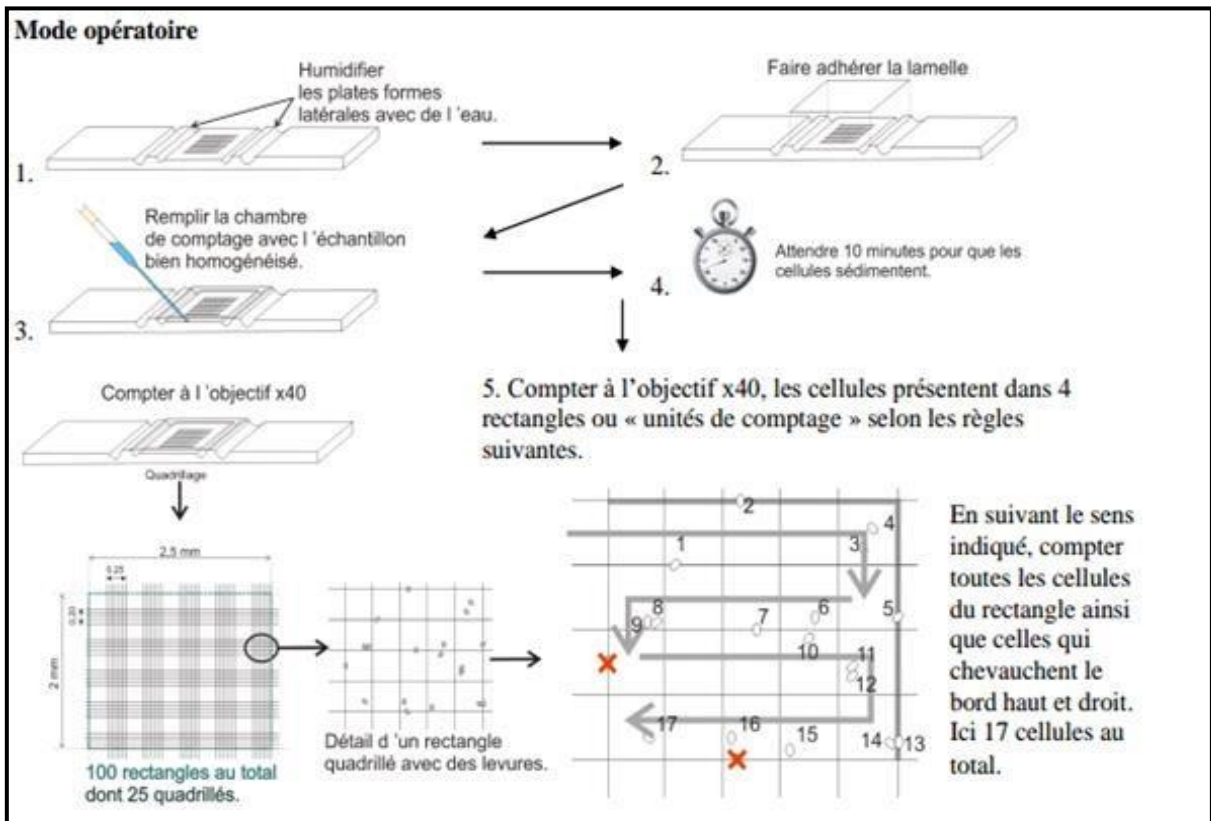


Figure N°04: protocole d'utilisation (Moreda, 2013)

- **Calcule :**

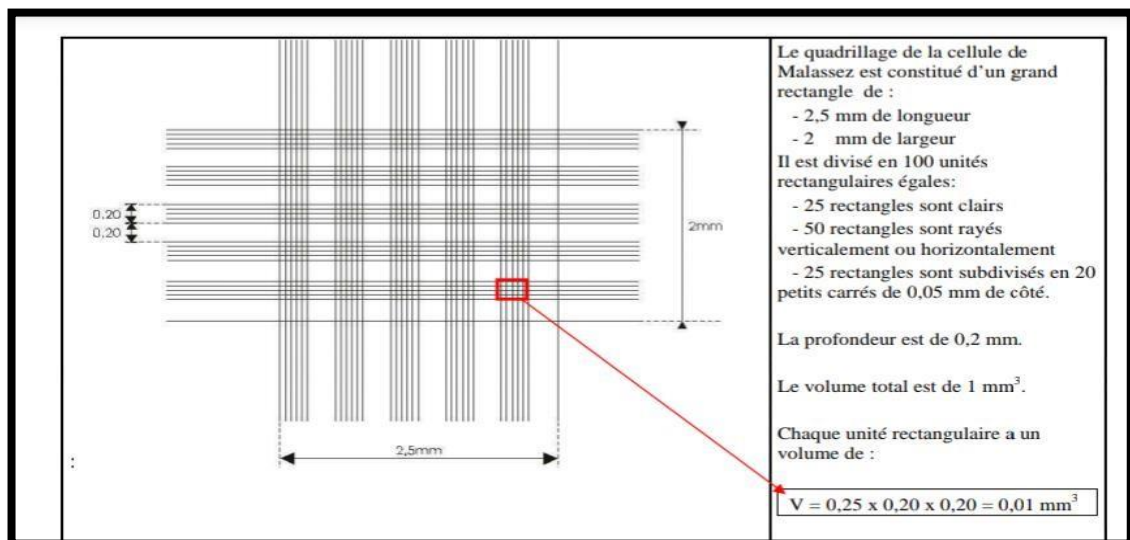


Figure N°5: les dimensions de la cellule (Ifaller, 2013)

- **Formule a appliqué :**

$$N = (n / (a.v)).Fd$$

**N**=nombre de cellules par unité de volume

**n**=nombre de cellules comptés

**a**= nombre d'unité de comptage dénombrés (on dénombre au moins 5)

**v**=volume d'une unité de comptage

**Fd**=facteur de dilution

**Remarque :** sur Malassez un rectangle ou unité de comptage contient  $0,01 \text{ mm}^3$  c'est à dire  $0,01 \mu\text{l}$  d'échantillon (rappelle  $1\text{mm}^3=1\mu\text{l}=1.10^{-3} \text{ ml} =1.10^{-6} \text{ l}$ )

c. Exposition des cyanobactéries

Après la réussite de culture d'*Anabaena* sp., et le comptage de nombre de spécimens dans chaque puits,  $200 \mu\text{l}$  d'une préparation  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  est ajoutée à chaque puits, contenant respectivement **10mg , 25mg , 35mg , 50mg , 70mg** de  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , plus d'un puit témoin non-traité.

La culture est incubée pendant 72h dans les même conditions de culture précédemment cités.



**Figure N°06 :** exposition d'*Anabaena* au trioxyde d'antimoine (photo pers.2023)

- Après 72h d'exposition, la densité cellulaire était mesurée avec la méthode de comptage Malassez (cellules de numération).
- Les différentes malformations sont prises sous microscope optique.
- Un dosage de la chlorophylle a et b était effectué.

#### **d. Dosage des chlorophylles a et b**

Les culots d'algues ont été collectés par centrifugation (8000 g, 10 min) de 1 ml de suspension de cellules d'algues après culture pendant 72 h.

Par la suite, 1 ml d'éthanol absolu a été ajouté aux culots et la suspension a été incubée à 4°C dans l'obscurité pendant 24 h.

Le surnageant est récupéré après centrifugation à 12000 g pendant 15 min.

Ensuite, l'absorbance du surnageant a été mesurée à 663 nm et 652 nm à l'aide d'un spectrophotomètre

Les concentrations de la chlorophylle a est calculé selon l'équation suivante :

$$\text{Chlorophyll. a (mg/L)} = 16.52 \times A_{665} - 8.096 \times A_{652},$$

$$\text{Chlorophyll. b (mg/L)} = 27.44 \times A_{652} - 12.17 \times A_{665}$$

Dont  $A_{665}$  et  $A_{652}$  représentent les absorbances à 665 nm et 652 nm, respectivement.

# Résultat et Interprétation

## 1. Effet du trioxyde de l'antimoine sur dénombrement des *Anabaena*

La figure N° montre l'impact des cinq concentrations de  $Sb_2O_3$  sur le nombre des cellules cultivés d'*Anabaena*.

Avant l'exposition le nombre d'*Anabaena* est  $18 \times 10^5$ , une diminution significative du nombre des individus est notée au niveau des cinq concentrations d'antimoine, la plus faible quantité est observée dans la puit traitée par 25 mg de la  $Sb_2O_3$

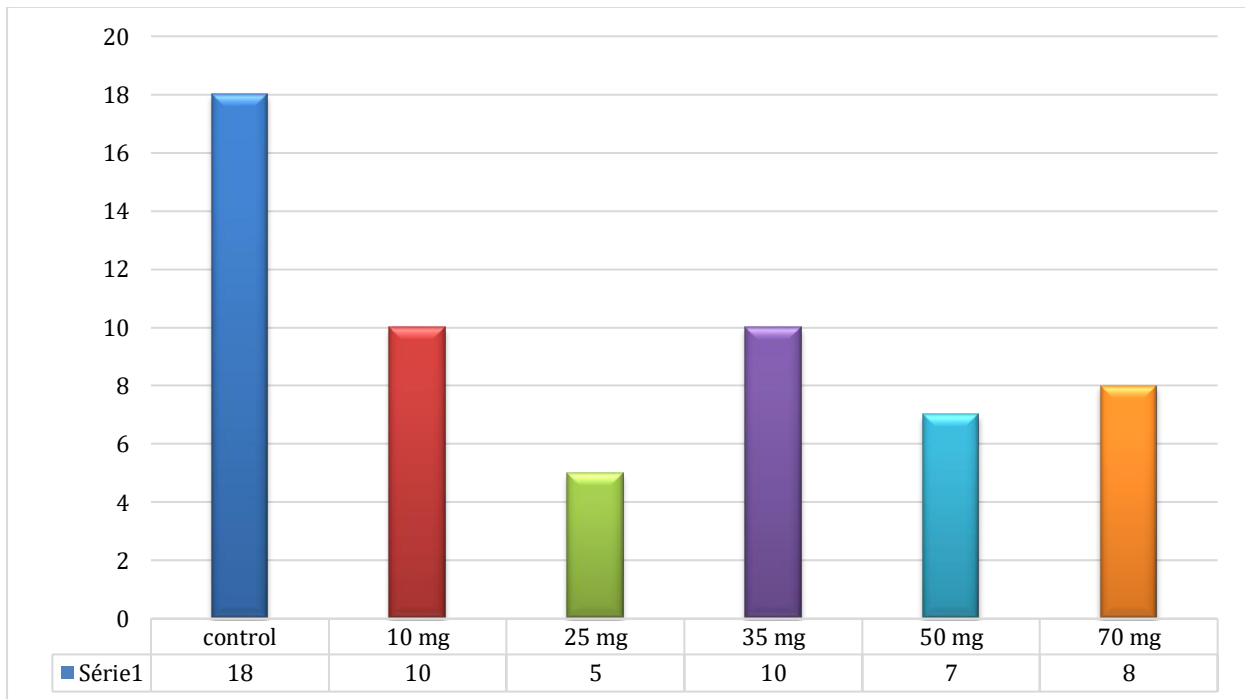


Figure N°7 : impact de trioxyde de l'antimoine sur le dénombrement d'*Anabaena*

## 2. Taux d'inhibition de croissance

Le taux d'inhibition provoqué par le trioxyde d'antimoine était important dans les cinq puits (la figure N°).

L'inhibition la plus importante est signalée au niveau du puit N°02 exposé à 25 mg de  $Sb_2O_3$  avec un pourcentage équivalent à 72.22%.

La plus faible inhibition de croissance du notre genre toxique est observée au niveau de deux puits traités respectivement par 10 mg et 35 mg d'antimoine avec un pourcentage équivalent à 44.44%.

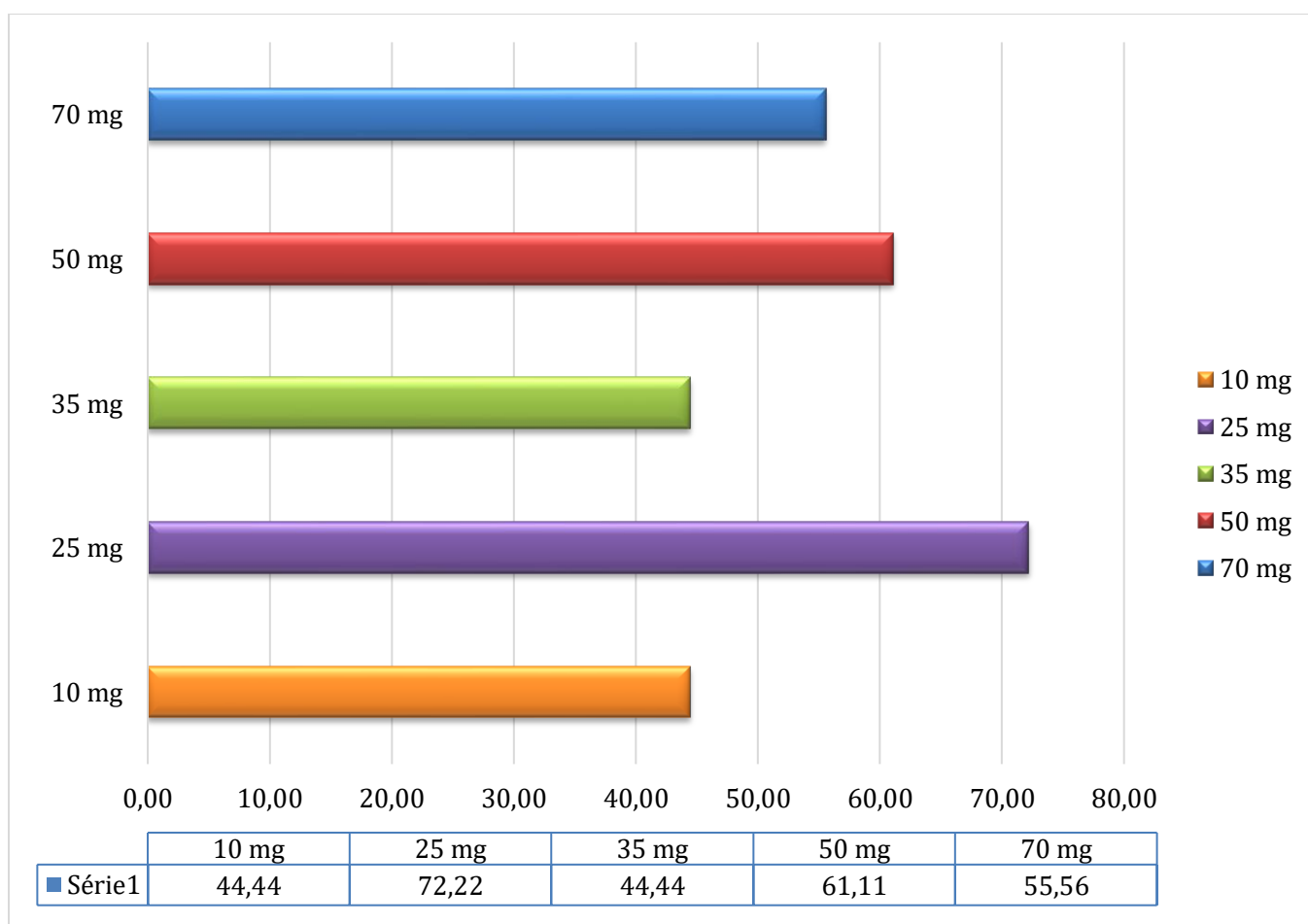


Figure N°8 : taux d'inhibition de la croissance d'*Anabaena* en présence du trioxyde de l'antimoine .

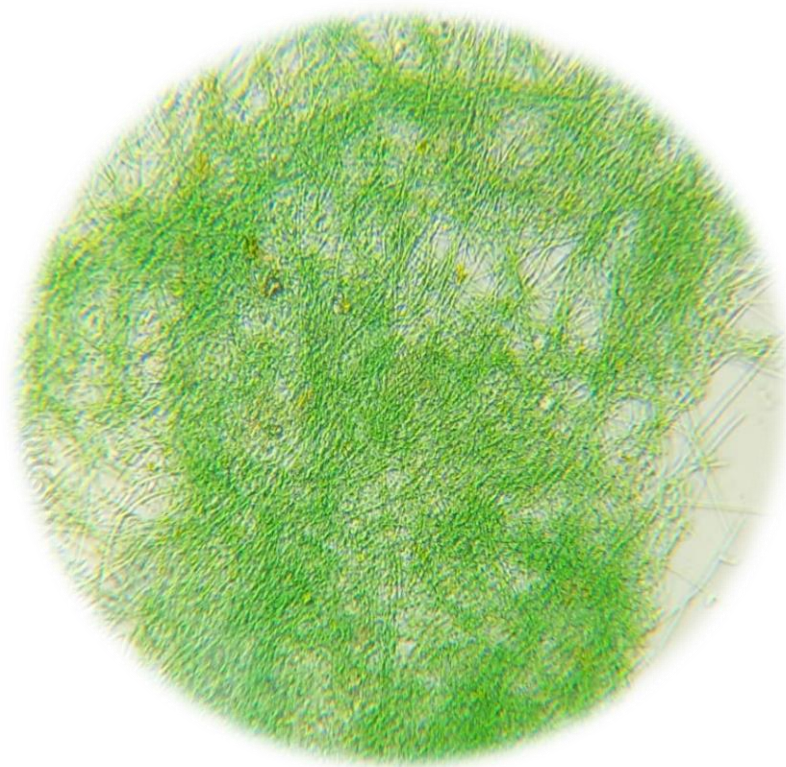
### 3. Impact de trioxyde de l'antimoine sur la morphologie d'*Anabaena*

La série des photos présentées dans la figure N° prouve l'impact du trioxyde de l'antimoine sur la culture in vitro d'*Anabaena*.

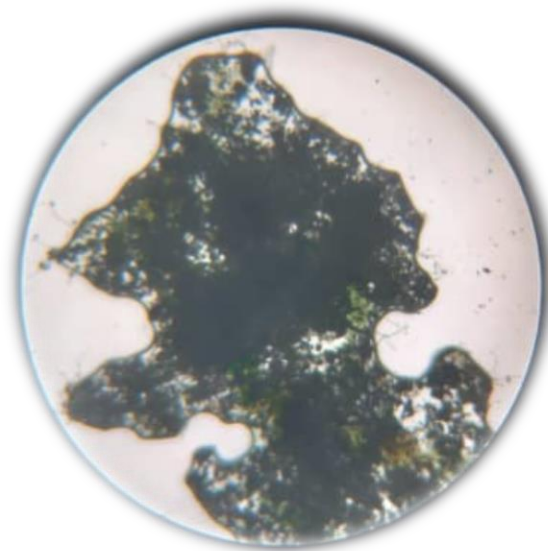
*Anabaena* est l'une des formes cultivables les plus fréquemment rencontrée dans les sols humides ou submergés et les eaux. Elle ne forme pas de colonies de forme définie mais des voiles à la surface du sol et des eaux. *Anabaena* à généralement des vitesses de croissance élevées grâce à la présence des cellules spécialisée nommée les akinètes fixatrices d'azote.

L'ajout des concentrations croissantes de  $Sb_2O_3$  a formé une couche noire de la nanoparticule qui a déformé la forme filamenteuse d'*Anabaena* en inhibant sa croissance.

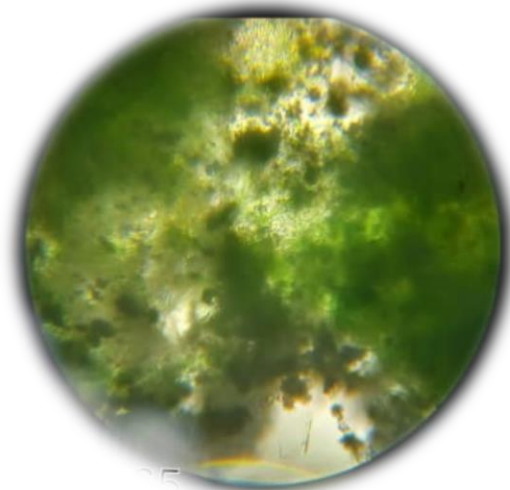
La photographie de la deuxième concentration indique une perte de la forme cellulaire et une dégradation totale des spécimens. Cette dégradation s'évolue d'un puits à un autre avec une perte de la couleur verte de la cellule.



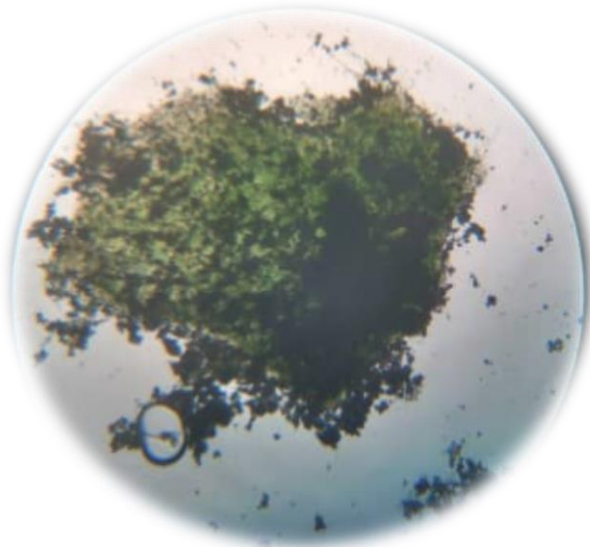
Photographie d'*Anabaena* sp. (Groupe témoin x40)



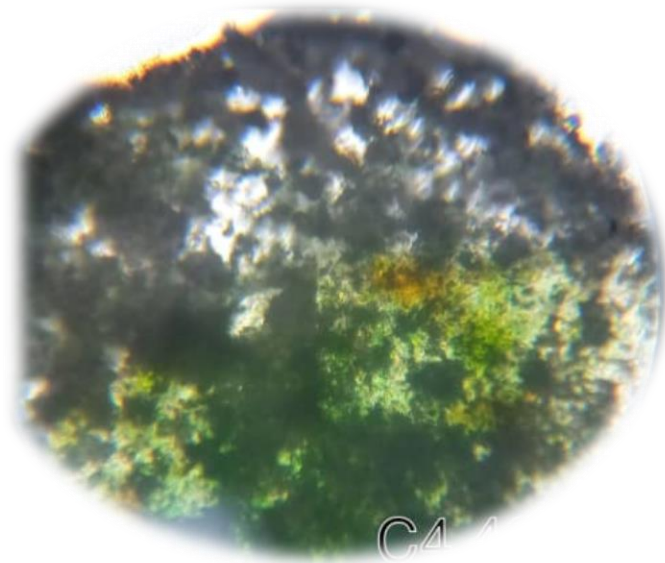
**Photographie d'*Anabaena* sp. (C1 : 10mg - x10)**



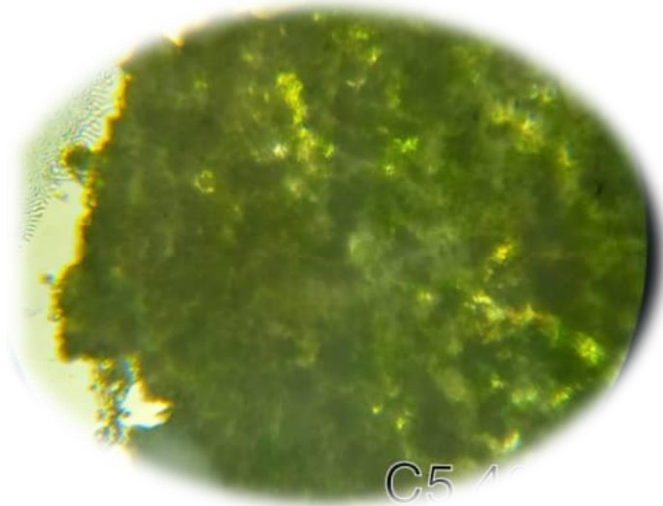
**Photographie d'*Anabaena* sp. (C2 : 25mg – x40)**



**Photographie d'*Anabaena* sp. (C3 : 35mg - x10)**



**Photographie d'*Anabaena* sp. (C4 : 50mg – x40)**



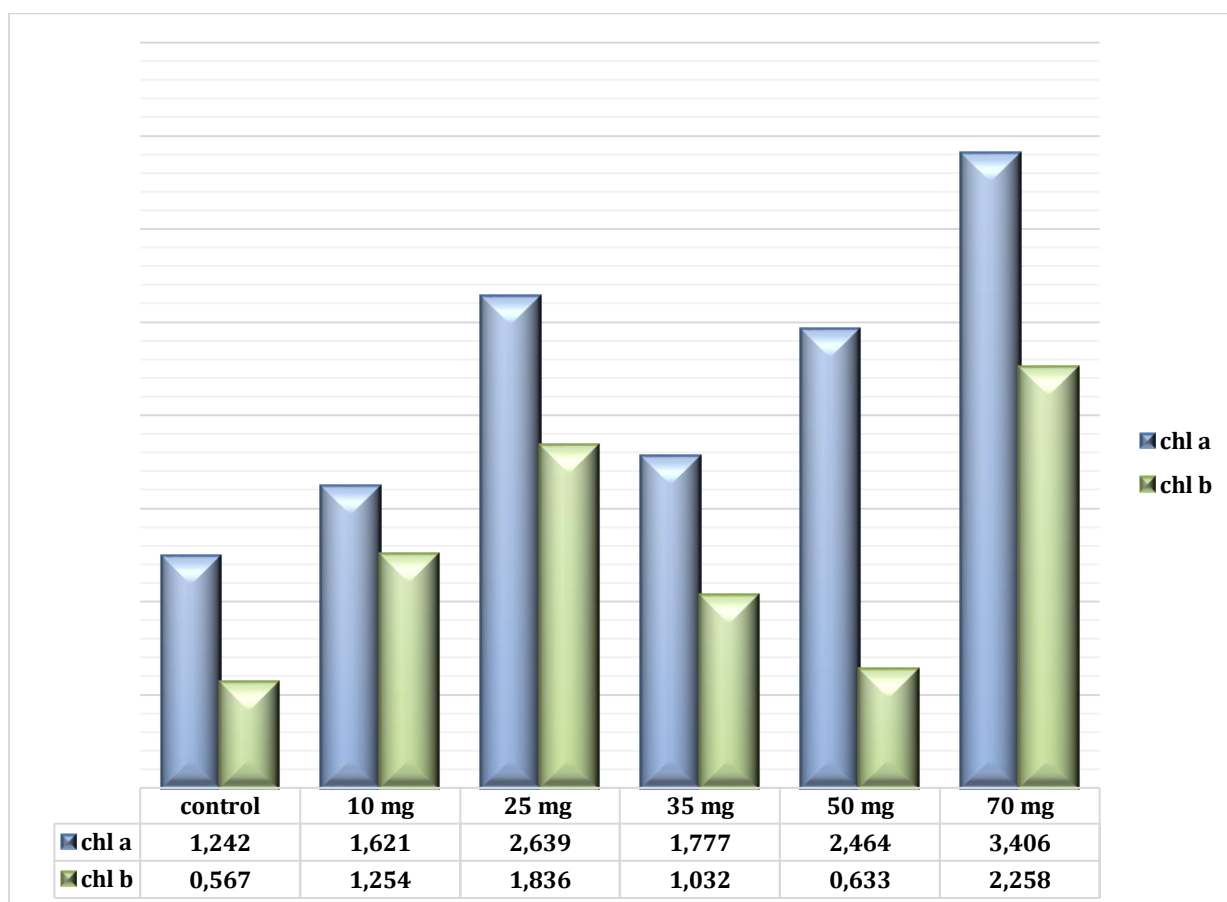
**Photographie d'*Anabaena* sp. (C5 : 70mg – x40)**

**Figure N°9 : Impact de trioxyde de l'antimoine sur la morphologie d'*Anabaena***

#### 4. Impact de trioxyde de l'antimoine sur la chlorophylle a et b

La figure N° montre l'effet de la nanoparticule étudié sur le taux de la chlorophylle a et b produit par la culture d'*Anabaena*.

Une variation des concentrations de la chlorophylle a est détectée chez les colonies traités par le trioxyde de l'antimoine allant d'un témoin 1.242  $\mu\text{g/l}$  au plus forte 3.406  $\mu\text{g/l}$ .



**Figure N°10 :** Impact de trioxyde de l'antimoine sur la chlorophylle a et b

## Discussion

L'utilisation généralisée des nanomatériaux ces dernières années a entraîné une augmentation de la pollution des eaux de surface et des eaux usées. Il peut affecter gravement la vie aquatique comme les cyanobactéries et il est donc impératif d'évaluer les effets potentiels de ces substances sur les écosystèmes aquatiques.

Malgré l'augmentation des recherches sur le devenir des nanoparticules (NPs, > 100 nm) dans les systèmes d'eau douce, on sait peu de choses sur leurs effets toxiques conjoints sur les microalgues. Les NPs avec différents groupes fonctionnels ont une toxicité différente pour les micro-organismes (Besseling et al., 2014).

L'objectif major de notre étude est d'étudier l'effet toxique des nanoparticules de trioxyde de l'antimoine sur une cyanobactéries filamenteuse *Anabaena sp.* Les résultats obtenus montrent une inhibition importante de croissance de cyanobactéries et à faible concentration.

Nos résultats sont similaires à ceux publiés par Bertru et al. (1986), qui ont exposé *Microcystis aeruginosa* et *Aphanizomenon flos-apuae* à des séries de concentration de l'oxyde de cuivre. *A. flos-apuae* est nettement moins tolérant que *M. aeruginosa* au cuivre. Le nombre de cellules viables basé sur l'activité de transport d'électrons a montré que les cultures de *M. aeruginosa* peuvent détoxifier le cuivre.

L'étude de Cherchi et Gu (2010) a examiné de manière approfondie l'impact de l'exposition aux nanomatériaux de dioxyde de titane ( $n\text{TiO}_2$ ) sur la croissance cellulaire, l'activité de fixation de l'azote et la dynamique de stockage de l'azote chez la cyanobactérie productrice primaire *Anabaena variabilis* à diverses concentrations de dose et durées d'exposition. Les résultats ont indiqué que le taux de croissance et l'activité de fixation de l'azote étaient inhibés par l'exposition au  $n\text{TiO}_2$ . Cette étude a démontré que l'activité fixatrice d'azote pouvait être entravée par le relargage de  $n\text{TiO}_2$  dans les milieux aquatiques ; par conséquent, il a un impact potentiel sur d'importants processus biogéochimiques, tels que le cycle du carbone et de l'azote.

Karim et al. (2017) ont étudié les réponses d'*Anabaena sp.* aux CuO-NPs, Les CuO-NPs ont eu un impact significatif sur la forme et la morphologie des cellules d'*Anabaena sp.* et a entraîné leur gonflement et leur élargissement. Les modulations des antioxydants enzymatiques et non enzymatiques étaient clairement évidentes chez *Anabaena sp.* exposés au CuO-NPs.

Wang et al. (2023), ont exploré les effets toxiques conjoints de deux types de NP de polystyrène [un modifié avec un groupe acide sulfonique (PSNPsSO<sub>3</sub>H) et un sans ce groupe fonctionnel (PSNPs)] et de l'arsenic (As) sur la microalgue *Microcystis aeruginosa*. Les résultats ont mis en évidence que les PSNP-SO<sub>3</sub>H présentaient un diamètre hydrodynamique plus petit et un plus grand potentiel d'adsorption des ions chargés positivement que les PSNP, contribuant à une inhibition de croissance plus sévère, alors que les deux produisaient un stress oxydatif.

Il a été récemment montré que l'accumulation de métabolites secondaires, tels que les phénylpropanoïdes, y compris les flavonoïdes, qui a été rarement signalée chez les cyanobactéries, pourrait être l'une des stratégies des organismes cyanobactériens pour se protéger contre les dommages cellulaires (Singh et al., 2014). Les flavonoïdes, les acides phénoliques et les tanins, ainsi que certains dérivés des flavonoïdes, sont également des composés qui ont de nombreuses activités biologiques différentes, y compris une activité antioxydante dans des conditions de stress (Agati et al., 2011), en plus de certaines activités médicinales (Fresco et al. , 2006). Bien que seuls de rares rapports soient disponibles sur les phénols totaux et la teneur totale en flavonoïdes dans les réactions de tolérance au stress salin et aux nanoparticules chez les cyanobactéries, des corrélations positives avec l'accumulation de polyphénols, une activité antioxydante accrue et une tolérance aux stress ont été signalées chez les espèces végétales (Korkina, 2007) . En conséquence, il n'y a pas de réponse additive des facteurs antioxydants non enzymatiques dans le traitement combiné NaCl + CuO-NPs par rapport à leurs réponses à des stress uniques. Cela peut être dû à leurs effets antagonistes (Rai et al., 2013).

La chlorophylle a est un pigment largement utilisé comme paramètre commode et corrélatif pour l'estimation de la biomasse et de la productivité du phytoplancton (Reynolds, 1984). Les concentrations en chlorophylle a dans les eaux superficielles présentent une variabilité saisonnière ; le développement du phytoplancton qu'est en effet, lié à l'énergie lumineuse, à la concentration en sels nutritifs, à la stabilité des masses d'eaux et à l'intensité de la consommation par le zooplancton (Lorenzen, 1967).

## Conclusion

Les nanoparticules d'oxyde de l'antimoine ont suscité ces dernières années un intérêt énorme au près des scientifiques, du fait de leurs caractéristiques uniques très favorables sont en interaction continue avec l'environnement du fait de leurs utilisations massive et souvent non contrôlé, ces nanoparticules sont utilisées dans différents domaines : dans l'industrie, en pharmacie et en cosmétique.

Notre objectif major c'est d'identifier l'effet de la  $Sb_2O_3$  sur les cyanobactéries. Les résultats montrent :

- Diminution de la densité des individus d'*Anabaena* après exposition à  $Sb_2O_3$ .
- Inhibition jusqu'au 72.22% après exposition à une faible concentration de  $Sb_2O_3$ .
- Des malformations des cellules cyanobactériennes et accumulation des nanoparticules dans les cellules *d'Anabaena*.
- Une variation du taux de chlorophyll d'une concentration à l'autre.

## ***Références Bibliographiques :***

E'cotoxicologie théorie et application V.E.FORBES et T.L.FORBES traduit par Jean Louis RIVIERE (- I- Les question importantes il faut se dépêcher à propos des déchets car si on ne fait rien. Ce qui arrivera. Ne nous plaira pas. Kenneth E. Boulding,1990)par **(jean - louis rivière 1997).page (19)**

Bertru, G., Saout, M. L., & Gueune, Y. (1986). Toxicité du cuivre vis à vis deMicrocystis aeruginosa Kütz. et d'Aphanizomenon flos-aquae Ralfs. Internationale Revue Der Gesamten Hydrobiologie Und Hydrographie, 71(6), 841–849. doi:10.1002/iroh.19860710612

Karimi, R., Norastehnia, A., Abbaspour, H., Saeidisar, S., & Naeemi, A. S. (2017). Toxicity assessment of Anabaena sp. following exposure to copper oxide nanoparticles and sodium chloride. Applied Ecology & Environmental Research, 15(4).

Cherchi, C., & Gu, A. Z. (2010). Impact of titanium dioxide nanomaterials on nitrogen fixation rate and intracellular nitrogen storage in Anabaena variabilis. Environmental science & technology, 44(21), 8302-8307.

<https://www.antenna.ch/wp-content/uploads/2017/04biologie.pdf> (**Antenna Technologies.04/2017**) « spiruline(quelques bases scientifiques »

<https://arabe-ency.com.sy/ency/details/271/3> (**Mouhamed Ali Al Munjjid.Abd Ulmajid Al Belkhi 1988-1989**)

<https://almerja.com> ( **Zahra Mahmoud Al Khafadji 27/12/2017**) « cyanobactéries »

<https://www.aquaportail.com/definition-1821microcystine.html> (**Web Pro 12/11/2007**) « microcystise »

<https://www.aquaportail.com/définition-2113-cyanobactéries.html> (**Web Pro 5/12/2007**) « cyanobactérie »

<https://www.aquaportail.com/definition-7473-marqueur-biologique.html> (**Web Pro 13/6/2010**) « marqueur biologique »

<https://www.aquaportail.com/genre-microcystis-564.html> (**Web Pro 14/3/2020**) « gener microcystis »

<https://www.aquaportail.com/fich-algue-1434-microcystis-aeruginosa.html>

<https://www.britannica.com/science/bleuegreen-algae> ( **Ahmed Maher Zahran 5/7/2020**) « les cyanobactéries comme les algues mais elles sont sciencophelia »

[cfb.unh.edu/phycokey/phycokey.htm](http://cfb.unh.edu/phycokey/phycokey.htm) ( **Al Baker 21/11/2017**) « algae :ps protista cyanobactéries and other aquatic objects »

<https://www.canada.ca/FR/emploi-developpement-social/services/sante-securite/rapports/nanoparticule-fabriquees.htm> (**Emploi et Développement Social Canada 27/1/2023**) « nanoparticules fabriquées : aspects liés à la santé et à la sécurité »

<https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/d50.html#n-this-page-hdr> (**CCHST**) « qu'est-ce que dl50 et cl50 »

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=3f37f17071e90a830a40f7f18b748b7c91d66fb0> (**Hélène Barberousse.18/9/2006**) «étude de la diversité des algues et des cyanobactéries colonisant les revêtements de façade en France et recherche des facteurs favorisant leur »

<https://cyanobactéries.pagesperso-orange.fr/pages/plan.htm> (**copyright P.A.Roger 2006**) « les cyanobactéries »

[https://documentation.ehesp.fr/memoires/2004/igs\\_ase/03-Antimoine.pdf](https://documentation.ehesp.fr/memoires/2004/igs_ase/03-Antimoine.pdf) ( **Fite Johanna, Marson Nolwenn, Ney Eléonore**) « atelier santé-environnement : evaluation et gestion des risques liés à l'exposition à l'antimoine »

<https://dtournassat.free/naintenance/cyanobactéries/cyanobactéries.htm> (**Denis Tournarsat - glucos 2009**) « les cyanobactéries » <https://dumas.ccsd.ccsd.fr/dumas-01243523> (**Svetlana**

**Jordanovska 15/décembre/2015**) « les nanoparticules dans l'industrie pharmaceutique : comparaison des méthodes de fabrication »

<https://e3arabi.com/%25d8%25a7%25d9%2584%25d8%25aa%25d8%25aa%25d8%25b1%25d8%25a8%25d9%258a%25d9%2584%25d9%2585%25d9%2587%25d9%2586%2585%25d9%255a%25d8%25a9/des-riques-accord-avec-antimoine/> (**Talal Al Hawamdeh**

**17/12/2020**) « des risques accord avec antimoine »

[elearning.univ-biskra.dz/moodle/pluginfile.php/272014/mod-resource/content/1/les%20cyanobactéries%20algues%20bleu%20vert%29.pdf](https://elearning.univ-biskra.dz/moodle/pluginfile.php/272014/mod-resource/content/1/les%20cyanobactéries%20algues%20bleu%20vert%29.pdf) (**dell 8/1/2021**)

« les cyanobactéries »

<https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/habitats-of-cyanobacteria-aieir.pdf> (**Marwa**

**30/3/2021**) « habitats of cyanobactéria »

<https://www.future.sciences.com/planete/dossiers/geologie-tout-savoir-antimoine-826/page/6/>

(**Claire König 2/2/2009**) « antimoine et santé »

<https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/geologie-tout-savoir-antimoine.826/page/2/>

(**Claire König 1/2/2009**) « hestorique de l'antimoine »

<https://espace.inrs.ca/id/eprint/534/1/R00091.pdf> (**Isabelle Lavoie. Isabelle Laurion. Annabelle**

**Warren. Warwick Vincent 1/10/2007**) « les fleurs d'eau de cyanobactéries : revue de littérature »

<https://www.intaurlist.org/guid-taxa/b95931> « microcystise, cyanoscepe »

[www.freshwaterlife.org](http://www.freshwaterlife.org) « microcystise »

<https://www.intechopen.com/chapters/77584> (**Aycha Algade Amadu. Kweku Amoako**

**Attade Grafr Johnson et Gabriel Kamla Ameka 7/10/2021**) « application industrielles des cyanobactéries »

[https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/larecherche/publication-](https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/larecherche/publication-documentation/fiches-radionucleides/Antimoine-sb125-v3.pdf)

[documentation/fiches-radionucleides/Antimoine-sb125-v3.pdf](https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/larecherche/publication-documentation/fiches-radionucleides/Antimoine-sb125-v3.pdf) (**K. Beaugelin ,**

**Seiler. J, Garnier. Laplace 22/12/2002**) « antimoine 125 et environnement »

<https://learnchemistry12.com/2017/04/nano-history.html> « history of nanotechnology »

**M**

<https://www.microbioenvironnement.com/wp-content/uploads/2021/09/microcystis200 .fpg>  
(**Kit Carla 9/2021**) « microcystis »

<https://www.montclair.edu/water-science/freshwater-cyanobacteria-of-nenr-jersey/visual-guide-to-cyanobacteria-in-nenr-jersey/cocoid/colonial/microcystis/> (**nenrjersey center for water science and technology**) « mirocristis »

<https://www.nicolas-aubineau.com/antioxydant-sport/> (**Nicolas Aubineau Diététicien 2023**)  
« les antioxydants alliés indispensables pour les sportifs »

<https://www.neozone.org/astuces/connaissez-vous-ces-astuces-pour-rafraichir-une-bouteille-deau-sans-utiliser-de-frigo/> (**Nathalie Kecinski 4/8/2020**) « connaissez-vous ces astuces pour rafraîchir une bouteille d'eau, sans utiliser de frigo ? »

<https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/2011-351-avril-P.53-picot-HD.pdf> (**André Picot et Jean François Narbonne 7/4/2011**) « l'antimoine un toxique mythique toujours méconnu »

<https://newsroom.univ-cotedazur.fr> (**Journal of Physical Chemistry 4/11/2019**) « comment croissent les nanoparticules dans les fibres optiques ? »

<https://oraprdnt.uqti.quebec.ca/pls/public/docs/GSC543/F1426724471-cyano-revue-litterature-vulgarisee.pdf> (**Isabelle Lavoie. Isabelle Laurion. Warwick Vincent 25/9/2007**)  
« les fleurs d'eau de cyanobactéries document d'information vulgarisée »

<https://oraordnt.uqtr.quebec.ca/pls/public/docs/GSC1272/F291210543-gril-cyanobactéries-28juin2007-rev-avril2008.pdf> (**GRIL 28 /6/2008**) « les cyanobactéries dans les lacs québécois : un portrait de la situation selon les chercheurs du GRIL »

<https://planet-vie.ens.fr/thematiques/microbiologie/culture-de-cyanobactéries> (**Marie Jeanne Pellerin 22/3/2000**) « culture de cyanobactéries »

<https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologies/gestion-de-l-environnement-pollution/cyanobactéries-et-cyanotoxines> (**Julie Vonaix 7/10/2008**) « cyanobactéries et cyanotoxines »

<https://www.projetecolo.com/cyanobactérie-définition-caracteristiques-et-exemples-307.html>

(**Antoine Decrouy 9/9/2021**) « cyanobactéries, definition,caracteristiques et exemples »

<https://www.researchgate.net/juin2006> (**Lorraine Backer, Dennis J, Mcglli Cuddy**

**6 /2006**) « harmful algal blooms at the interface bet ween coaastal oceanography and humain health »

[https://www.researchgte.net/figure/Composition-of-BG-11-medium\\_tbl1\\_308692839](https://www.researchgte.net/figure/Composition-of-BG-11-medium_tbl1_308692839) (**Ji**

**Won Hong september 2016**) « Composition du milieu BG11 »

<https://www.santescience.fr/antimoine/> (antimoine perturbateurs)

<https://www.sfma.org/toxin/EAU/PARAMETR/MICROCYS.HTM> (**Vincent Danel**

**11/2017**) « microcystine-LR »

[https://www.shutterstock.com/fr/image-photo/blooming-cyanobactéries-baltic-Sea-](https://www.shutterstock.com/fr/image-photo/blooming-cyanobactéries-baltic-Sea-1956586093)

[1956586093](https://www.shutterstock.com/fr/image-photo/blooming-cyanobactéries-baltic-Sea-1956586093) (**Lukasz Barzowski 2003-2023**) « cyanobactéries en fleur dans la mer baltic »

<https://www.unige.ch/antimony/application/files/5914/7723/97711/Ineris2007.pdf>

(**D.Guillard 25/4/2007**) « antimoine et ses dérièves »

[https://www.universallis.fr/encyclopedie/cyanobactéries-cyanophycees-algues-bleues/5-](https://www.universallis.fr/encyclopedie/cyanobactéries-cyanophycees-algues-bleues/5-classification/)

[classification/](https://www.universallis.fr/encyclopedie/cyanobactéries-cyanophycees-algues-bleues/5-classification/) (**Pierre Bourrelly.Jean Claude Lefeuvre 2023**) « cyanobactéries ou cyanophycées anc.algues

bleues » [https://www.uoanbar.edu.iq/womenEducationCollege/catalog/conférences-](https://www.uoanbar.edu.iq/womenEducationCollege/catalog/conférences-lesalgues-dr-AbdAlNasser)

[lesalgues-dr-AbdAlNasser](https://www.uoanbar.edu.iq/womenEducationCollege/catalog/conférences-lesalgues-dr-AbdAlNasser) (**Dr Abdul Nasser Abdullah Mahdi Al Tamimi 2019**) «les algues »

<https://www.uoanbar.edu.iq/estoreImage/Bank/3503.pdf> (**Dr Ahmed Saker 29/2/2020**)

«classification genirale des les algeues 3503pdf »

<https://www.vellemirfroy.fr/bouteille-verre-ou-plastique-laquelle-laplus-ecologique/>

(17/1/2022) « bouteille en verre ou plastique Laquelle est le plus écologique)