

# CONCOURS **2026** Lycée **CGÉNIAL**

*De l'eau verte à l'eau claire*



Produit par Driss Dobis, Rose Mambour, Duncan Ropert, Susie Salomon, Vito Thomas-louis Titouan Cousseran, Bilel Azzouz, Tehina Colombani, Robin Durantou, Emilie Pouyadou et Antoan Novara.



## Sommaire :

### Première partie – Contexte scientifique et territorial du projet

1. Contexte et origine du projet
2. Présentation du site d'étude : les salins et le double tombolo de Giens
3. Fonctionnement d'un écosystème équilibré
4. Problématique scientifique

### Deuxième partie – Apparition et mécanismes de l'eutrophisation

1. Définition de l'eutrophisation
2. Évolution du territoire et pressions anthropiques
3. Apports en nutriments (nitrates, phosphates)
4. Conséquences sur l'écosystème aquatique

### Troisième partie – Démarche expérimentale en laboratoire

1. Choix du modèle biologique : les lentilles d'eau
2. Mise en place des protocoles expérimentaux
3. Mesures et outils utilisés (pH, nutriments, dioxygène, turbidité)
4. Résultats obtenus

### Quatrième partie – Analyse et interprétation des résultats

1. Comparaison des différents milieux expérimentaux
2. Discussion des résultats et hypothèses explicatives
3. Limites de l'expérience et améliorations envisagées

### Cinquième partie – La solution proposée : conception d'un éco filtre

1. Origine de la solution et lien avec les observations
2. Composition de l'éco filtre (biochar, coquilles d'huîtres, zéolite)
3. Tests d'efficacité du système de filtration

### Sixième partie – Conclusion et perspectives

1. Bilan scientifique et environnemental du projet
2. Applications possibles à l'échelle du territoire
3. Liens avec les enjeux de développement durable

# Comment le phénomène d'eutrophisation se développe-t-il dans les salins de Giens et quelles solutions pourraient être envisagées pour en limiter les effets ?

## Première partie – Contexte scientifique et territorial du projet (Par Driss)

### 1- Contexte et origine du projet

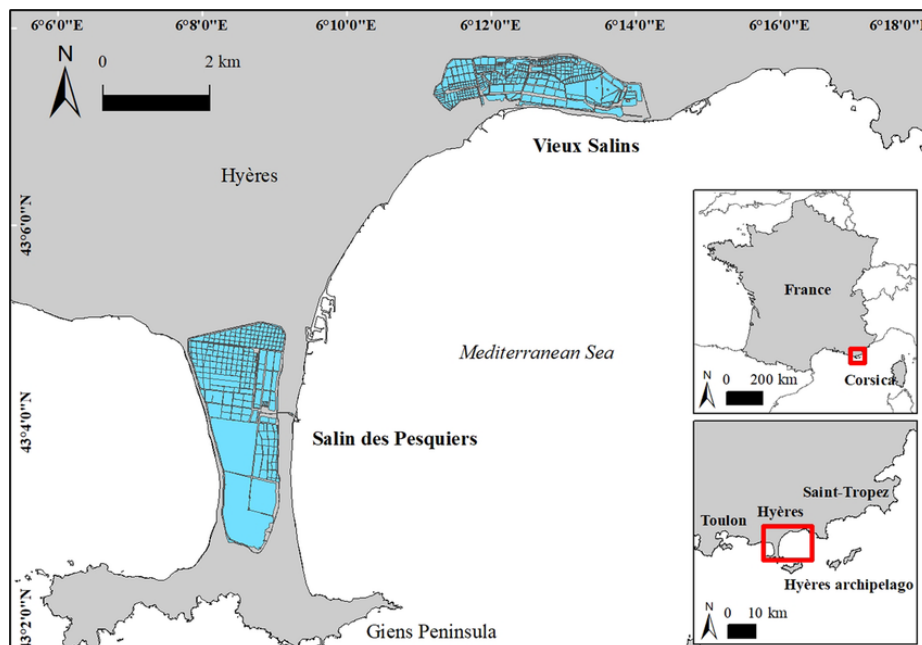
Nous sommes des élèves de seconde, option Sciences de Laboratoire, au Lycée Jean Aicard à Hyères. Dans le cadre de nos enseignements de Sciences de la Vie et de la Terre, nous avons travaillé sur un projet scientifique portant sur un problème environnemental observé à proximité de notre établissement. Ce projet a également été réalisé en collaboration avec plusieurs partenaires scientifiques et territoriaux, notamment le site des Salins d'Hyères, le Naturoscope et l'Université de Toulon.

Lors de sorties de terrain réalisées en début d'année, nous avons observé dans certaines zones humides du littoral une eau de couleur verdâtre ainsi qu'une forte prolifération de végétaux aquatiques. Ces observations nous ont amenés à nous interroger sur l'état écologique de ces milieux et sur les causes possibles de ce déséquilibre.

Nos recherches nous ont rapidement conduits au phénomène d'eutrophisation, qui correspond à une dégradation des écosystèmes aquatiques liée à un enrichissement excessif de l'eau en nutriments, notamment en nitrates et en phosphates. À partir de ce constat, nous avons décidé de mener une enquête scientifique afin de mieux comprendre ce phénomène à l'échelle locale et d'imaginer des solutions permettant d'en limiter les effets.

### 2- Présentation du site d'étude : les salins et le double tombolo de Giens

Le site étudié se situe au niveau des salins d'Hyères, dans la zone du double tombolo de Giens, sur le littoral varois. Ce site est une formation géomorphologique rare constituée de deux cordons sableux reliant la presqu'île de Giens au continent. La découverte et la compréhension du site ont été enrichies par les visites et les échanges réalisés avec M. Marc Simo, directeur du site des Salins d'Hyères, qui nous a apporté des éclairages précieux sur son fonctionnement et sa gestion écologique.



Les salins sont aujourd'hui une vaste zone humide littorale, reconnue pour sa richesse écologique et pour son rôle important dans l'accueil de nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs.

Cependant, ce milieu est également soumis à de fortes pressions anthropiques. Les salins sont entourés par des routes très fréquentées, des zones urbanisées et des infrastructures touristiques. Les surfaces imperméabilisées favorisent le ruissellement des eaux de pluie vers les zones humides, ce qui peut entraîner l'apport de substances dissoutes, notamment des nutriments.

Pour mieux comprendre les interactions entre le territoire et le fonctionnement de l'écosystème, nous avons étudié plusieurs types de cartes.

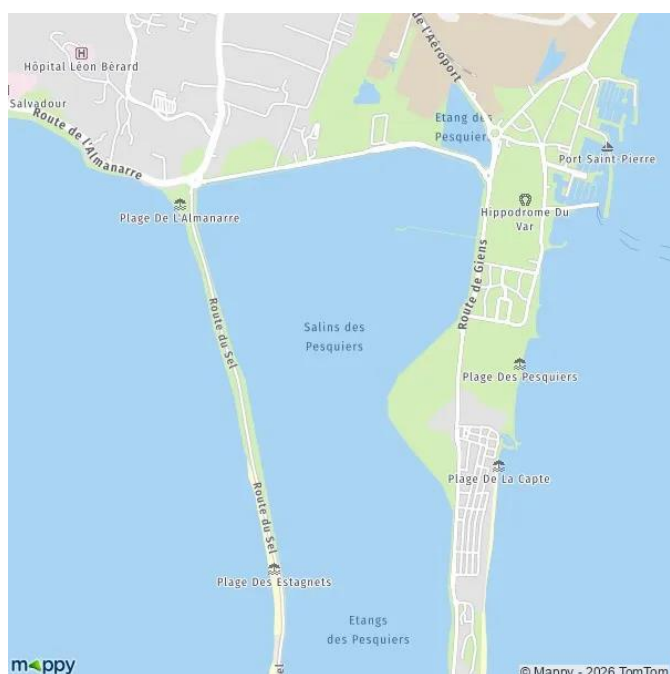
### L'hydrogéologie des salins

Une étude hydrogéologique permet de comprendre les circulations de l'eau dans le sous-sol et les connexions entre les nappes, les sols et les zones humides. Les salins d'Hyères fonctionnent grâce à un réseau hydraulique constitué de canaux, de bassins et de digues qui permettent de faire circuler et contrôler l'eau. L'eau de mer est introduite dans les bassins puis circule progressivement entre différents compartiments où la salinité et le niveau d'eau varient. Ce système hydraulique, hérité de l'ancienne exploitation salinière, permet aujourd'hui de gérer les niveaux d'eau et la salinité afin de maintenir les milieux lagunaires et la biodiversité associée. La circulation de l'eau dépend également des apports extérieurs (pluies, ruissellement) et des échanges avec la mer.

### L'urbanisation

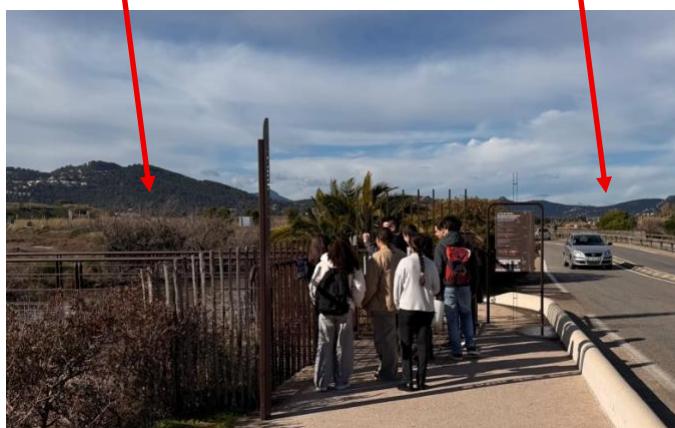
L'étude de l'évolution de l'urbanisation autour des salins montre une augmentation importante des surfaces artificialisées au cours des dernières décennies : routes, parkings, habitations et infrastructures touristiques.

Cette urbanisation réduit les zones naturelles tampons capables d'absorber ou de filtrer les eaux de ruissellement. L'eau de pluie circule alors plus rapidement vers les zones humides en transportant des nutriments ou d'autres substances dissoutes.



Les salins

Urbanisation



La cartographie de la végétation permet de mieux comprendre l'organisation écologique du site. Les salins accueillent différents types de milieux : zones d'eau libre, végétation halophile adaptée aux milieux salés, roselières et zones plus sèches en périphérie.

Cette diversité de milieux favorise la présence d'une biodiversité importante, notamment pour l'avifaune. Cependant, l'équilibre de ces écosystèmes dépend fortement de la qualité de l'eau et des apports en nutriments.



### 3- Fonctionnement d'un écosystème aquatique équilibré

#### Définition et caractéristiques d'un écosystème équilibré

Avant d'étudier l'eutrophisation, nous avons cherché à comprendre ce qu'est un écosystème aquatique équilibré. Un écosystème est considéré comme équilibré lorsque les conditions du milieu permettent à une diversité d'êtres vivants (producteurs, consommateurs, décomposeurs) de se maintenir dans le temps, avec des échanges de matière et d'énergie relativement stables. Cet équilibre n'est pas figé : il évolue naturellement selon les saisons, la température, la salinité ou la disponibilité en nutriments. Cependant, lorsque certains facteurs augmentent brutalement (par exemple des apports excessifs d'azote et de phosphore), le fonctionnement du milieu peut se déséquilibrer.

Dans notre projet, nous nous sommes appuyés sur des ressources scientifiques décrivant l'eutrophisation comme un phénomène associé à des modifications biologiques (proliférations végétales) et physico-chimiques (oxygène dissous, turbidité, nutriments, chlorophylle a, etc.).

#### Paramètres physico-chimiques de l'eau

Nous avons identifié les paramètres physico-chimiques essentiels pour décrire l'état d'une eau et comprendre les changements liés à l'eutrophisation. D'après les documents consultés, les paramètres les plus pertinents pour notre étude sont :

- La concentration en nutriments (notamment les nitrates et les phosphates), car ce sont eux qui favorisent une croissance excessive d'organismes photosynthétiques ;
- La turbidité, qui peut augmenter quand l'eau devient chargée en particules ou en microalgues ;
- Le dioxygène dissous, qui peut diminuer lorsque la matière organique produite en excès est décomposée par des bactéries ;
- La température et la salinité, qui influencent la solubilité de l'oxygène et le fonctionnement biologique du milieu ;
- Le pH, qui peut varier en fonction des activités biologiques (photosynthèse et respiration) et de la composition chimique de l'eau.

Ces éléments sont cohérents avec les indicateurs mentionnés dans des synthèses scientifiques sur l'eutrophisation, qui insistent sur l'intérêt de suivre à la fois des paramètres biologiques et physico-chimiques (nutriments, oxygène dissous, turbidité, salinité, etc.).

Dans notre projet, cela a guidé nos choix de mesures au laboratoire (pH, nutriments, dioxygène dissous, turbidité) pour relier nos observations de terrain à des données quantitatives.

## Biodiversité et interactions biologiques dans les salins

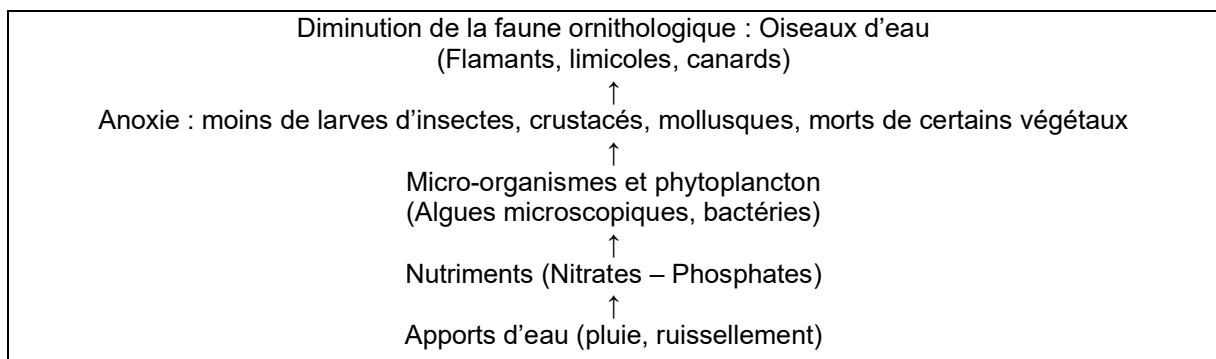
Pour comprendre le fonctionnement "normal" du milieu étudié, nous avons aussi documenté l'intérêt écologique des salins à l'échelle régionale. Les salins d'Hyères sont présentés comme une zone humide majeure sur le littoral méditerranéen, notamment parce que la gestion hydraulique permet d'obtenir une large gamme de salinité et de hauteurs d'eau, ce qui favorise l'accueil de nombreux oiseaux (migration, hivernage, reproduction).

Nous avons également consulté des ressources de gestion et de conservation montrant que ce site abrite une biodiversité importante, en particulier pour l'avifaune (espèces nicheuses, migratrices et hivernantes), ce qui confirme la valeur écologique du milieu.

Des documents plus scientifiques, comme ceux produits par la LPO Provence-Alpes-Côte d'Azur, décrivent les salins comme un réservoir de biodiversité et mettent en avant un très grand nombre d'espèces observées.

Enfin, les salins sont aussi reconnus au niveau international à travers leur inscription comme zone humide d'importance internationale (Ramsar), ce qui renforce l'idée qu'il s'agit d'un milieu patrimonial et fragile, dont l'équilibre dépend fortement des conditions de l'eau et de la gestion.

Cette phase de recherche documentaire nous a permis de comprendre que l'équilibre des salins dépend d'une combinaison de facteurs : gestion de l'eau (salinité, niveaux), qualité de l'eau (nutriments), conditions climatiques, et interactions biologiques. C'est à partir de cette base que nous avons ensuite étudié comment un excès de nutriments peut déclencher une eutrophisation et modifier le fonctionnement global du milieu.



### 4- Problématique scientifique

À partir de nos observations sur le terrain et de nos premières recherches, nous avons formulé la problématique scientifique suivante :

Comment le phénomène d'eutrophisation se développe-t-il dans les salins de Giens et quelles solutions pourraient être envisagées pour en limiter les effets ?

Pour répondre à cette question, nous avons cherché à comprendre :

- Quelles sont les causes de l'eutrophisation observée sur le site,
- Comment les nutriments influencent le développement des organismes aquatiques,
- Et si des solutions simples et durables peuvent être mises en place pour améliorer la qualité de l'eau.

Ce questionnement nous a conduits à associer observations de terrain, expériences en laboratoire et réflexion sur des solutions adaptées au territoire.

## **Deuxième partie – Apparition et mécanismes de l'eutrophisation (par Vito et Ducan)**

### 1. Définition de l'eutrophisation

Après avoir étudié le fonctionnement d'un écosystème aquatique équilibré, nous nous sommes intéressés au phénomène d'eutrophisation. C'est un phénomène complexe qui peut être causé par plusieurs facteurs. Le principal est l'apport excessif de nutriments dans l'eau, notamment les nitrates et les phosphates, qui favorisent la prolifération d'algues et de végétaux aquatiques. Cependant, d'autres éléments peuvent également amplifier ce phénomène, comme la stagnation de l'eau, les températures élevées ou le manque d'oxygène dans le milieu. Les transformations du territoire, en particulier l'urbanisation et l'imperméabilisation des sols, peuvent aussi augmenter le ruissellement et les apports de nutriments vers les zones humides.

Dans le cadre de notre projet, nous avons choisi de nous concentrer sur le rôle des nutriments dans l'eutrophisation. Nous avons donc étudié l'effet des nitrates et des phosphates sur les milieux aquatiques et testé une solution permettant de réduire leur concentration dans l'eau grâce à un écofiltre.

## 2. Évolution du territoire et pressions anthropiques

Pour comprendre l'origine de l'eutrophisation observée dans les salins, nous avons étudié l'évolution du territoire autour du site. Ce travail a été réalisé avec l'accompagnement de Margaux, médiatrice scientifique au Naturoscope, qui nous a aidés à utiliser l'outil Géoportail afin de comparer les images aériennes anciennes et récentes et mettre en évidence l'évolution de l'urbanisation autour des salins. Nous avons constaté une augmentation importante de l'urbanisation au cours des dernières décennies : routes, parkings, zones habitées et infrastructures touristiques sont aujourd'hui très proches des zones humides.

Cette évolution s'accompagne d'une réduction des zones naturelles tampons entre les espaces urbanisés et les salins. Lors des épisodes de pluie, l'eau ruisselle sur les surfaces imperméabilisées avant de rejoindre directement les zones humides. Ce ruissellement constitue une source importante de substances dissoutes pouvant modifier la qualité de l'eau.

Les documents scientifiques consultés soulignent que les zones humides littorales sont particulièrement sensibles à ces pressions anthropiques, car leur équilibre dépend fortement des apports en eau et de leur qualité.

## 3. Apports en nutriments (nitrates et phosphates)

Nous avons ensuite cherché à identifier les principales sources de nutriments susceptibles d'alimenter l'eutrophisation. Les nitrates et les phosphates peuvent provenir de plusieurs origines : ruissellement des eaux de pluie sur les routes, lessivage des sols, rejets domestiques ou apports diffus liés aux activités humaines.

Ces nutriments sont indispensables à la croissance des organismes photosynthétiques, mais lorsqu'ils sont présents en trop grande quantité, ils favorisent une croissance excessive des algues et des plantes aquatiques. Les ressources scientifiques consultées indiquent que ce déséquilibre est l'un des mécanismes majeurs de l'eutrophisation dans les milieux aquatiques continentaux et littoraux.

Ces éléments nous ont conduits à choisir les nitrates et les phosphates comme paramètres clés à étudier expérimentalement lors de notre travail en laboratoire.

## 4. Conséquences sur l'écosystème aquatique

Les conséquences de l'eutrophisation sur l'écosystème aquatique sont multiples. La prolifération végétale peut réduire la pénétration de la lumière dans l'eau, perturber les chaînes alimentaires et modifier la composition des communautés biologiques. Lors de la décomposition de la matière organique produite en excès, les bactéries consomment le dioxygène dissous, ce qui peut conduire à des situations de déficit en oxygène, voire à des conditions défavorables pour certaines espèces.

Dans les documents étudiés, l'eutrophisation est décrite comme un phénomène pouvant entraîner une baisse de la biodiversité, une modification du fonctionnement du milieu et une fragilisation globale de l'écosystème. Ces constats ont renforcé notre volonté de comprendre ce processus en détail et de réfléchir à des solutions permettant de limiter ses effets sur les salins.

Cette analyse nous a conduits à mettre en place des expériences en laboratoire afin de reproduire certains mécanismes de l'eutrophisation et d'en étudier les effets de manière contrôlée.

## Troisième partie – Démarche expérimentale en laboratoire (par Antoan , Rose et Suzie)

### 1. Choix du modèle biologique : les lentilles d'eau

Afin d'étudier expérimentalement les mécanismes de l'eutrophisation, nous avons choisi d'utiliser les lentilles d'eau comme modèle biologique. Les lentilles d'eau sont de petites plantes aquatiques flottantes qui se développent rapidement lorsque les conditions du milieu sont favorables. Leur croissance dépend directement de la disponibilité en nutriments, notamment les nitrates et les phosphates.

Figure : Lentilles d'eau utilisées dans les bacs expérimentaux

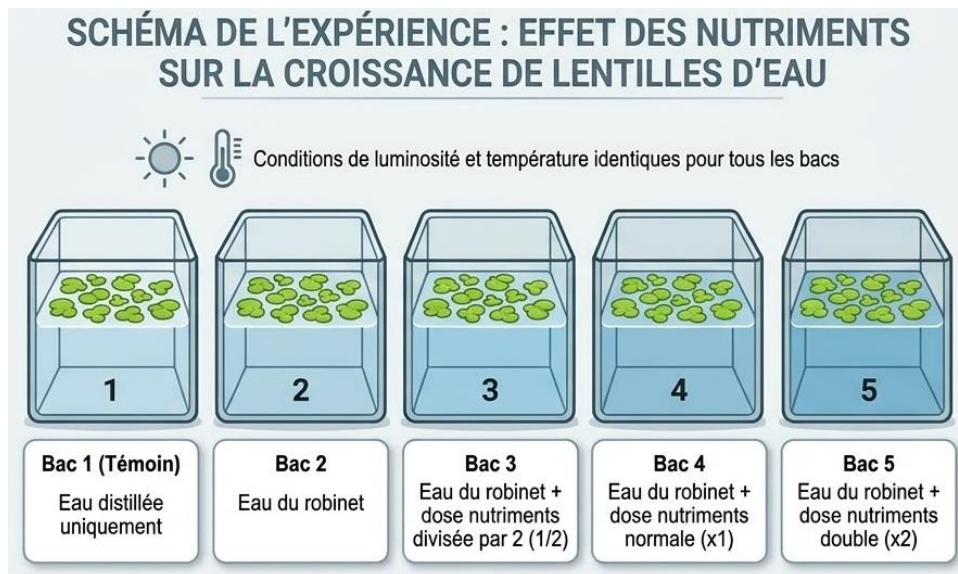


Ce choix s'est appuyé sur des recherches documentaires montrant que les lentilles d'eau sont fréquemment utilisées comme organismes modèles en laboratoire pour étudier la qualité de l'eau, les phénomènes de pollution et les effets des nutriments sur la croissance végétale. Leur développement rapide permet d'observer des résultats sur une courte durée, ce qui est adapté à un travail expérimental mené en classe.

## 2. Mise en place des protocoles expérimentaux

Nous avons mis en place une série de bacs contenant des lentilles d'eau, soumis à des conditions différentes afin de comparer l'effet des nutriments sur leur croissance. Chaque bac contenait le même volume d'eau et le même nombre initial de lentilles d'eau, afin de limiter les biais expérimentaux.

Différentes conditions ont été testées, avec des concentrations variables en nutriments. Certains bacs contenaient uniquement de l'eau sans ajout de nutriments, tandis que d'autres recevaient des quantités croissantes de solution nutritive. Cette organisation nous a permis de reproduire, de manière simplifiée, des situations allant d'un milieu peu enrichi à un milieu fortement enrichi en nutriments.



Les bacs ont été placés dans des conditions identiques de lumière et de température. Les observations et les mesures ont été réalisées sur plusieurs jours, voire plusieurs semaines, afin de suivre l'évolution progressive du milieu.

### 3. Mesures et outils utilisés

Pour analyser l'évolution des milieux expérimentaux, nous avons réalisé différentes mesures physico-chimiques. Le pH de l'eau a été mesuré afin d'observer d'éventuelles variations liées à l'activité biologique. La concentration en nutriments, en particulier les nitrates et les phosphates, a été suivie pour vérifier l'enrichissement du milieu.



Nous avons également mesuré le dioxygène dissous, car sa concentration peut diminuer lorsque la production de matière organique devient trop importante et que sa décomposition consomme de l'oxygène.



Titre : Mesure du dioxygène dissous avec ExAO    Titre : Estimation de la turbidité de l'eau à l'aide d'un disque de Secchi

La turbidité de l'eau a été observée afin d'évaluer l'augmentation éventuelle de la biomasse végétale et la modification de la clarté de l'eau. Nous avons fabriqué un disque de Secchi pour mesurer la transparence de l'eau. Pour cela, nous avons découpé un disque dans un matériau rigide, que nous avons peint en noir et blanc, puis nous l'avons attaché à un fil gradué. Cet outil nous permet d'estimer la turbidité de l'eau en observant la profondeur à laquelle le disque n'est plus visible.

Ces mesures ont été réalisées à l'aide de capteurs et de matériel de laboratoire adaptés, ce qui nous a permis d'obtenir des données quantitatives et comparables entre les différents bacs.

Paramètre	Bac Témoin BT	Bac 1 B1	Bac 2 B2	Bac 3 B3	Bac 4 B4
Nitrate mg/L	0	10	100	500	1000
Nitrite mg/L	0	0	5	80	80
Température T°	24,7	24,5	24,8	24,9	24,5
pH	6,8	8,4	7,8	7,6	6,8
Phosphate	0	1 > 0,10	2 > 1	2 > 1	2 < 4
Opacité de l'eau (cm)	0 (eau claire)	0 (eau claire)	55	25	40
O <sub>2</sub> dissous (mg/L)	8,236	8,80	17,4	16,2	15,50
Observations biologiques	Feuilles mortes	Feuilles vertes claires, début de vieillessement	Forte multiplication, eau vert foncé	Feuilles vert foncé, début de mortalité	Feuilles vert clair, présence de larves

Titre : Mesures des paramètres physico-chimiques et observations biologiques des bacs expérimentaux (jour 1)

#### 4. Résultats obtenus (Par Rose et Suzie)

##### Tableau de synthèse des résultats après 5 semaines d'expérimentation

Après cinq semaines d'expérimentation, les mesures réalisées montrent des différences nettes entre les bacs, en fonction des concentrations en nutriments.

Dans le bac témoin (BT), sans apport de nutriments, l'eau est restée claire tout au long de l'expérience. Les concentrations en nitrates et en phosphates sont nulles. La concentration en dioxygène dissous est d'environ 8,2 mg/L. Les lentilles d'eau ont peu à peu dépéri et la majorité des feuilles est morte, ce qui montre que le milieu est peu favorable au développement végétal en l'absence de nutriments.

Dans le bac B1, contenant une faible concentration en nitrates (10 mg/L), l'eau est également restée claire. Les feuilles sont encore vertes mais commencent à montrer des signes de vieillissement. La concentration en dioxygène dissous est légèrement plus élevée que dans le bac témoin (environ 8,8 mg/L). La croissance des lentilles d'eau reste limitée, ce qui suggère que l'apport en nutriments est encore insuffisant pour stimuler fortement la production végétale.

Dans le bac B2, enrichi en nutriments (100 mg/L de nitrates), nous avons observé une forte augmentation du nombre de lentilles d'eau. L'eau devient nettement plus opaque, avec une opacité mesurée à 55 cm. La concentration en dioxygène dissous est élevée (environ 17,4 mg/L), ce qui peut s'expliquer par une photosynthèse importante due à la forte biomasse végétale. La couleur de l'eau est vert foncé, traduisant une prolifération importante d'organismes photosynthétiques.

Dans le bac B3, avec une concentration encore plus élevée en nutriments (500 mg/L de nitrates), la multiplication des lentilles d'eau est importante, avec des feuilles vert foncé. Cependant, certaines feuilles commencent à mourir. L'opacité de l'eau est également élevée (25 cm) et la concentration en dioxygène dissous reste forte (environ 16,2 mg/L). Ces résultats suggèrent que le milieu commence à devenir défavorable, malgré une production végétale encore importante.

Dans le bac B4, également très enrichi en nutriments, la croissance des lentilles d'eau est comparable à celle observée dans les bacs B2 et B3. L'eau présente une coloration vert clair et une opacité de 40 cm. La concentration en dioxygène

dissous est d'environ 15,5 mg/L. Nous avons également observé la présence de larves, indiquant une modification du milieu et des interactions biologiques.

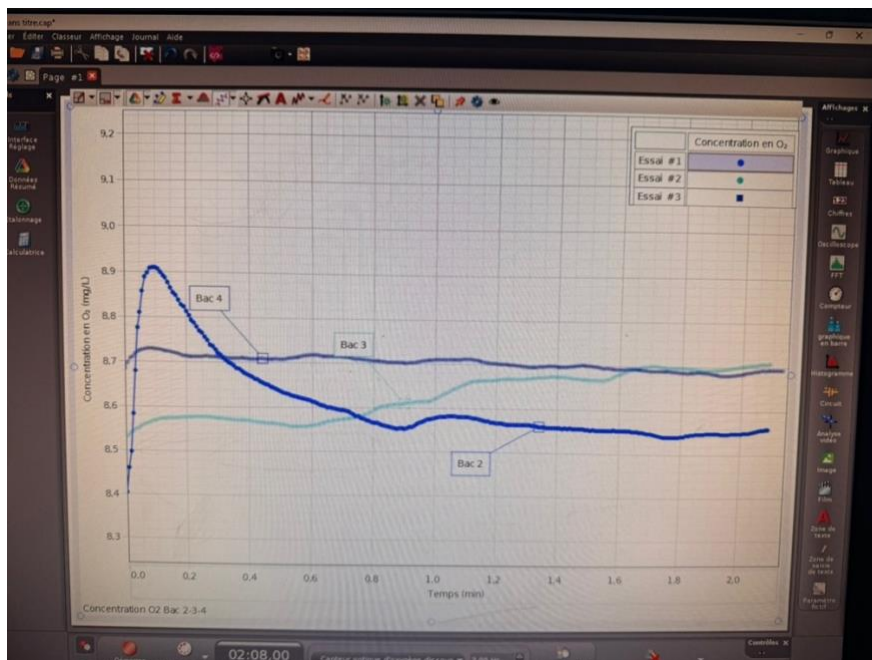
Globalement, ces résultats montrent que l'augmentation des concentrations en nutriments favorise d'abord la croissance des lentilles d'eau, puis conduit progressivement à un déséquilibre du milieu lorsque les concentrations deviennent trop élevées. Ces observations sont cohérentes avec les mécanismes de l'eutrophisation décrits dans les documents scientifiques étudiés.

Les résultats ont montré des différences nettes entre les milieux expérimentaux. Dans les bacs contenant une faible quantité de nutriments, les lentilles d'eau se sont développées lentement et l'eau est restée relativement claire. Dans les bacs contenant une quantité modérée de nutriments, la croissance des lentilles d'eau a été plus importante, traduisant un milieu favorable au développement végétal.

En revanche, dans les bacs fortement enrichis en nutriments, nous avons observé une prolifération rapide des lentilles d'eau, associée à une augmentation de la turbidité et, dans certains cas, à une diminution du dioxygène dissous. Ces observations sont cohérentes avec les mécanismes de l'eutrophisation décrits dans les documents scientifiques étudiés.

Cette démarche expérimentale nous a permis de relier nos observations de terrain à des résultats mesurables et de mieux comprendre les effets des nutriments sur le fonctionnement d'un écosystème aquatique.

Jour 1 : Mesure de la quantité de dioxygène en mg/L en fonction du temps



## Quatrième partie – Analyse et interprétation des résultats

### 1. Comparaison des différents milieux expérimentaux

La comparaison des différents bacs expérimentaux met en évidence l'influence des concentrations en nutriments sur le fonctionnement du milieu aquatique. Le bac témoin, sans apport de nutriments, présente une eau claire mais une faible croissance des lentilles d'eau, avec une mortalité progressive des feuilles. Ce milieu apparaît peu productif, en raison de l'absence de ressources nutritives.

Dans le bac B1, faiblement enrichi en nitrates, la croissance des lentilles d'eau est légèrement améliorée par rapport au bac témoin, mais reste limitée. L'eau demeure claire et les paramètres physico-chimiques sont relativement stables. Ce bac correspond à un milieu faiblement enrichi, proche d'un état d'équilibre.

Les bacs B2, B3 et B4, plus fortement enrichis en nutriments, montrent une augmentation importante de la biomasse végétale. La multiplication des lentilles d'eau s'accompagne d'une augmentation de l'opacité de l'eau et d'une coloration verte plus marquée. Ces observations traduisent une forte production végétale liée à l'abondance des nutriments.

Cependant, dans les milieux les plus enrichis, des signes de déséquilibre apparaissent, avec des feuilles qui commencent à mourir et une modification globale de l'aspect du milieu. Ces différences entre les bacs montrent que l'enrichissement en nutriments modifie progressivement le fonctionnement du système aquatique.

## 2. Discussion des résultats et hypothèses explicatives

Les résultats obtenus suggèrent que l'augmentation des concentrations en nitrates et phosphates favorise d'abord la croissance des lentilles d'eau, en stimulant la photosynthèse et la production de matière organique. Cette phase correspond à une augmentation de la productivité du milieu.

Cependant, lorsque les concentrations en nutriments deviennent trop élevées, le milieu semble entrer dans une phase de déséquilibre. La mortalité de certaines feuilles et l'évolution des paramètres physico-chimiques peuvent s'expliquer par une compétition accrue entre les organismes, une modification des conditions du milieu ou une accumulation excessive de matière organique.

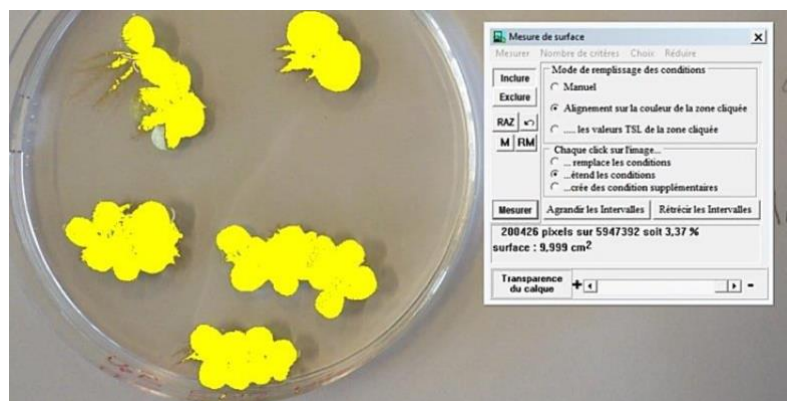
L'augmentation du dioxygène dissous observée dans certains bacs peut être liée à une photosynthèse intense, mais elle ne reflète pas nécessairement un milieu équilibré sur le long terme. Ces observations sont cohérentes avec les mécanismes de l'eutrophisation décrits dans la littérature scientifique, qui montrent que ce phénomène est progressif et dépend fortement de la quantité de nutriments présents dans l'eau.

Nos résultats expérimentaux permettent ainsi de relier les observations de terrain réalisées dans les salins à des mécanismes biologiques et physico-chimiques observables en laboratoire.

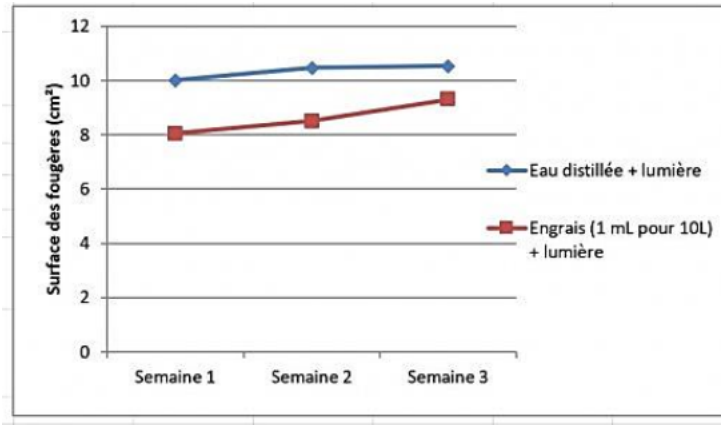
## 3. Limites de l'expérience et améliorations envisagées

Au cours de l'expérimentation, nous avons rencontré plusieurs limites. La principale difficulté a concerné la mesure de la croissance des lentilles d'eau. Le comptage des feuilles s'est révélé peu fiable en raison de leur superposition, de leur taille variable et de leur répartition irrégulière dans les bacs. Les estimations visuelles ne permettaient pas une comparaison précise entre les différents milieux.

Face à cette difficulté, nous avons envisagé un autre protocole reposant sur le traitement numérique des images. Les cultures ont été photographiées à intervalles réguliers, dans des conditions identiques de prise de vue. À l'aide d'un logiciel de traitement d'images (mesurim 2), nous avons sélectionné les lentilles d'eau sur chaque photo afin d'estimer la surface totale occupée par les plantules, en nous appuyant sur le diamètre connu des boîtes de culture.



Cette méthode permet d'obtenir des mesures quantitatives plus précises et comparables dans le temps. Les données ont ensuite été regroupées dans des tableaux et représentées sous forme de graphiques montrant l'évolution de la surface occupée par les lentilles d'eau en fonction des conditions expérimentales.



D'autres améliorations sont également envisageables, comme le suivi de la production de dioxygène ou de la consommation de dioxyde de carbone, l'étude de l'influence de la lumière ou l'utilisation d'autres végétaux aquatiques. Ces pistes permettraient d'approfondir la compréhension des mécanismes de l'eutrophisation et de renforcer la validité du modèle expérimental.

### Cinquième partie : Notre solution, la création d'un éco filtre (Bilel)

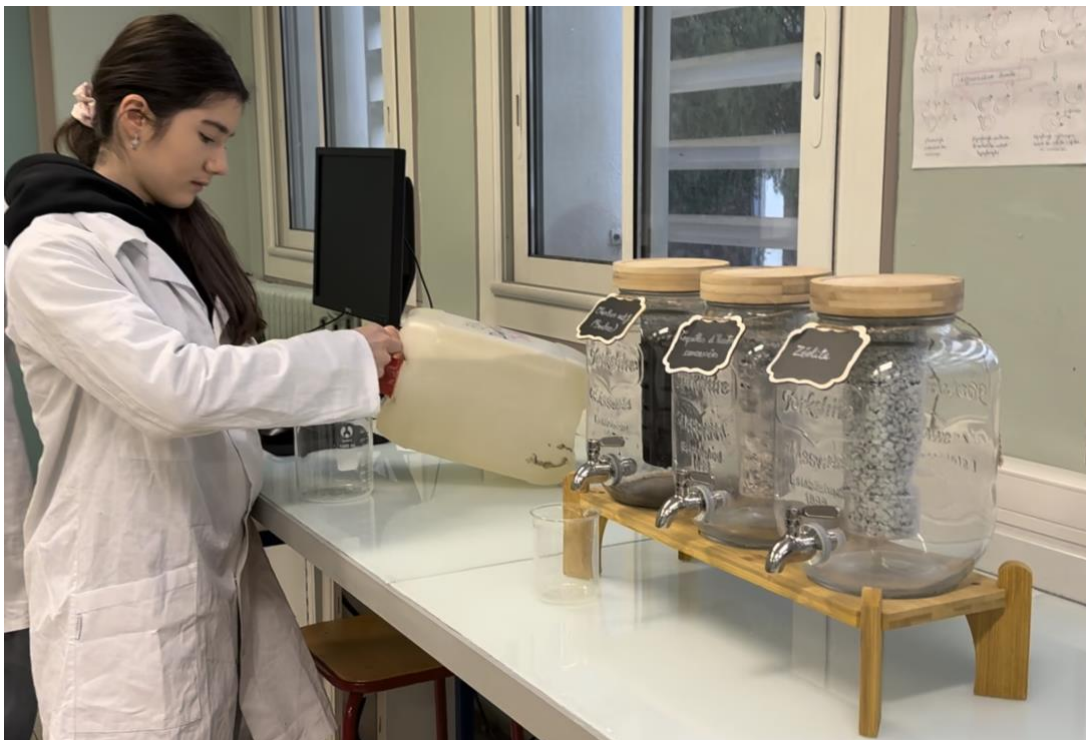
#### 1- Pourquoi avons-nous imaginé un éco filtre ?

Lors de nos expériences sur l'eutrophisation, nous avons observé que lorsque l'eau contient trop de nutriments (notamment des nitrates et des phosphates), les micro-organismes se développent fortement. L'eau devient plus trouble, l'oxygène peut diminuer et l'équilibre du milieu est perturbé.

Nous avons donc réfléchi à une solution concrète :  
Comment réduire la quantité de nutriments avant que l'eau n'arrive dans les zones sensibles ?

Nous avons imaginé un écofiltre, c'est-à-dire un système naturel de filtration, utilisant des matériaux simples, durables et en partie recyclés.

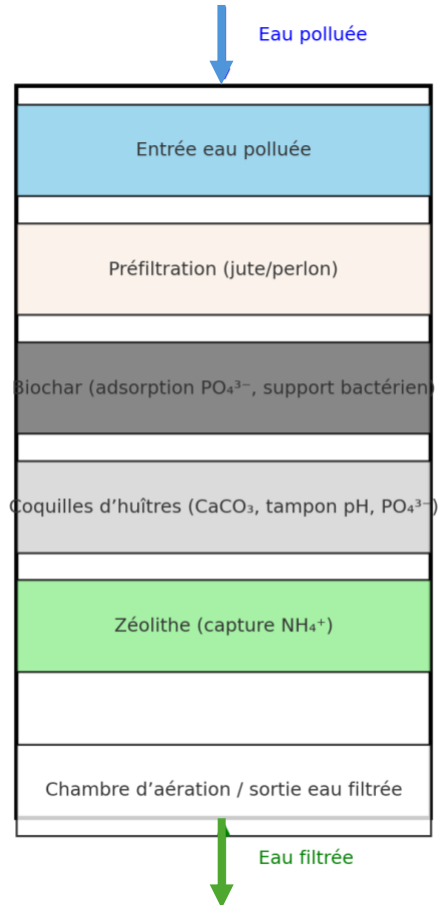
L'objectif est de filtrer mécaniquement les particules, retenir certains ions dissous et de limiter la quantité de nutriments responsables de l'eutrophisation.



## 2- Composition de notre éco filtre

Notre filtre fonctionne par couches successives. L'eau traverse plusieurs matériaux, chacun ayant un rôle complémentaire.

- 1- Charbon actif (issu de biochar)
- 2- Coquilles d'huîtres broyées
- 3- Zéolite



### a) Le charbon actif (à partir de biochar)

Au départ, nous avons produit du biochar à partir de matière végétale chauffée dans un four, en absence d'oxygène. Ce processus s'appelle la pyrolyse. Il permet d'obtenir un matériau riche en carbone.

Mais le biochar brut n'est pas encore optimal pour filtrer. Nous avons donc transformé ce biochar en charbon actif à l'Université de Toulon, au laboratoire MIO, en utilisant les équipements du laboratoire et en bénéficiant de l'accompagnement des équipes scientifiques.

Comment transforme-t-on le biochar en charbon actif ?

1. Pyrolyse (fabrication du biochar)  
La matière organique est chauffée entre environ 400 et 700 °C sans oxygène. Cela élimine les composés volatils et laisse une structure carbonée poreuse.
2. Activation thermique  
Le biochar est ensuite chauffé à température plus élevée (environ 700 à 900 °C). Cette étape permet d'ouvrir et de développer les pores microscopiques du matériau.
3. Séchage à l'étuve  
Après traitement, le matériau est séché pour éliminer l'humidité résiduelle.

Pourquoi cette activation est-elle importante ?

Parce qu'elle augmente énormément la surface spécifique du charbon (surface disponible pour fixer des molécules). Cela permet une meilleure adsorption, c'est-à-dire la fixation des molécules à la surface du matériau.

Dans notre filtre, le charbon actif joue donc un rôle essentiel pour capter certaines molécules organiques et une partie des nutriments dissous.

b) Les coquilles d'huîtres broyées

Les coquilles d'huîtres sont riches en carbonate de calcium.

Elles ont deux rôles :

- 1- Tamponner le pH (stabiliser l'acidité de l'eau)
- 2- Favoriser la précipitation des phosphates, c'est-à-dire transformer les phosphates dissous en formes moins solubles

Nous avons choisi ce matériau car il est naturel, recyclé et localement disponible.



c) La zéolite

La zéolite est un minéral microporeux capable de réaliser des échanges d'ions.

Cela signifie qu'elle peut retenir certains ions présents dans l'eau et les échanger contre d'autres ions présents dans sa structure. Elle est souvent utilisée pour capter l'ammonium ou d'autres composés dissous.

Dans notre filtre, elle complète l'action du charbon actif.

3- Comment avons-nous testé l'efficacité de l'éco filtre ?

Pour vérifier si notre éco filtre fonctionne, nous avons comparé une eau enrichie en nutriments (témoin) et la même eau après passage dans le filtre.

Nous avons mesuré :

- La turbidité (transparence de l'eau),
- La concentration en nitrates,
- La concentration en phosphates,
- Le pH,



#### 4 - Analyse quantitative des nitrates et phosphates

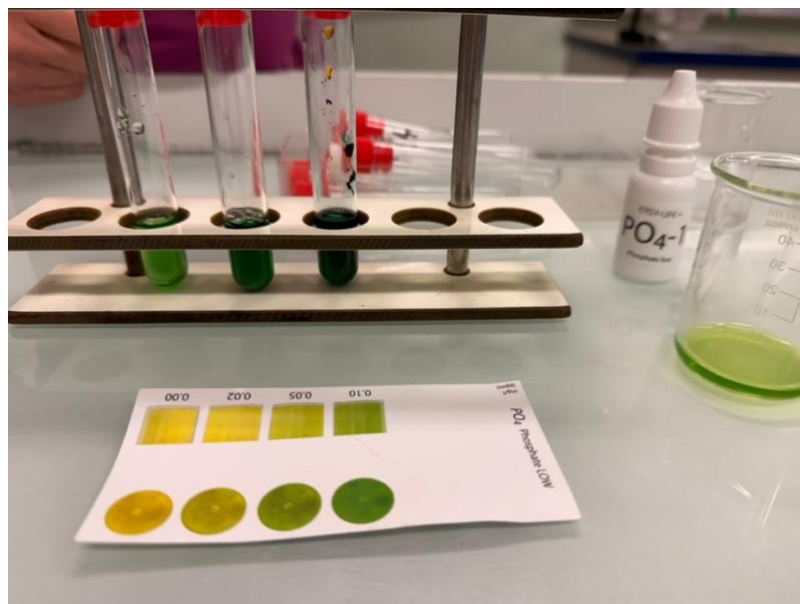
##### a) Limites du kit colorimétrique

Dans un premier temps, nous avons utilisé un kit colorimétrique commercial pour mesurer les concentrations en nitrates et en phosphates.

Le principe repose sur l'ajout d'un réactif spécifique, la formation d'un composé coloré et la comparaison visuelle avec une échelle de teintes.

Cependant, cette méthode présente plusieurs limites :

- Lecture subjective de la couleur,
- Difficulté à détecter de faibles variations de concentration,



Les écarts mesurés avant et après filtration étaient trop faibles pour être interprétés avec certitude.

Nous avons donc décidé d'utiliser une méthode d'analyse quantitative plus précise : la spectrophotométrie d'absorption.

## b) Dosage par spectrophotométrie et loi de Beer-Lambert

### Principe physique

La spectrophotométrie repose sur l'interaction entre la lumière et la matière.

Lorsqu'un faisceau lumineux monochromatique traverse une solution contenant une espèce chimique colorée, une partie de la lumière est absorbée.

On mesure alors l'absorbance (A), définie par :

$$A = -\log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

avec :

- $I_0$  = intensité incidente,
- $I$  = intensité transmise.

La loi de Beer-Lambert établit que :

$$A = \varepsilon \cdot l \cdot C$$

où :

- $\varepsilon$  est le coefficient d'extinction molaire (dépend de la longueur d'onde et de la substance),
- $l$  est l'épaisseur de la cuve (généralement 1 cm),
- $C$  est la concentration molaire.

Dans le domaine de validité de la loi, l'absorbance est proportionnelle à la concentration.

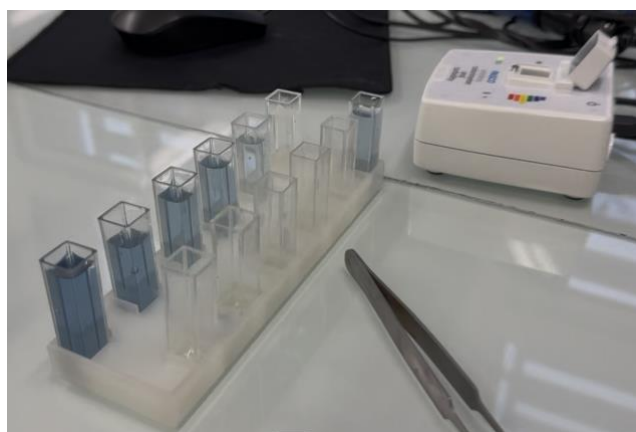
### Application au dosage des phosphates

Les phosphates ne sont pas fortement colorés naturellement.

Nous avons donc utilisé une méthode basée sur la formation d'un composé coloré après réaction chimique.

Nous avons alors :

1. Préparé une gamme étalon (solutions de concentrations connues).
2. Mesuré leur absorbance.
3. Tracé une courbe d'étalonnage  $A = f(C)$ .
4. Mesuré l'absorbance de notre échantillon inconnu.
5. Déterminé sa concentration par interpolation graphique.

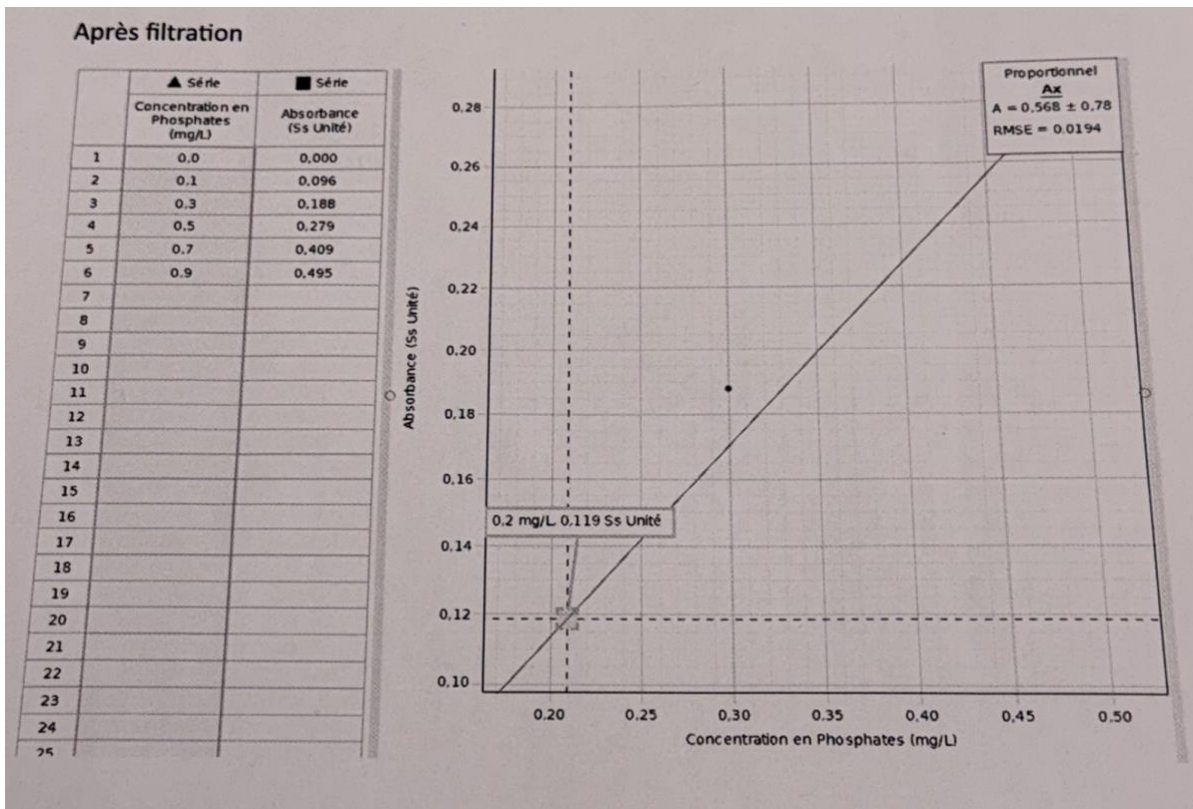


Titre : Dosage des phosphates par spectrophotométrie

Avant filtration :



Après filtration :



### Interprétation des résultats :

Avant passage dans l'éco filtre l'absorbance mesurée est plus élevée, graphiquement, on observe que le point correspondant à l'échantillon se situe dans la zone haute de la droite. Cela confirme que notre eau était bien enrichie artificiellement en nutriments.

Après passage dans l'éco filtre l'absorbance mesurée diminue et la projection sur la courbe d'étalonnage donne une concentration plus faible.

Cela montre que :

$$C_{\text{après}} < C_{\text{avant}}$$

Donc :

$$\Delta C = C_{\text{avant}} - C_{\text{après}} > 0$$

Ce résultat est cohérent avec l'hypothèse selon laquelle le filtre retient une partie des nutriments.

La diminution observée peut s'expliquer par plusieurs mécanismes complémentaires :

- Adsorption sur charbon actif

Le charbon actif possède une très grande surface spécifique (pouvant atteindre plusieurs centaines de m<sup>2</sup>/g). Les ions ou molécules peuvent se fixer physiquement à sa surface.

- Échanges ioniques avec la zéolite

La zéolite peut capter certains ions dissous grâce à ses cavités cristallines.

- Interaction avec les coquilles d'huîtres

Le carbonate de calcium peut favoriser la précipitation ou la fixation partielle des phosphates. L'efficacité observée est donc probablement le résultat de ces actions combinées.

### Passage au terrain : prélèvements aux salins et limites des tests

Après avoir validé notre protocole en conditions contrôlées, nous avons voulu confronter notre démarche à la réalité du terrain. Nous sommes donc allés aux salins, là où se situe la problématique d'eutrophisation, afin de prélever de l'eau et d'appliquer nos méthodes de mesure.

Nous avons récupéré de l'eau à différents endroits (selon l'accès / les points d'eau disponibles), avec l'objectif de :

- Mesurer les concentrations en nutriments (nitrates, phosphates),
- Comparer ces valeurs à nos expériences en laboratoire,
- Tester si notre méthode permettait d'obtenir une mesure exploitable sur un milieu naturel.



### Résultats obtenus : mesures peu concluantes

Les tests réalisés sur l'eau des salins se sont révélés difficiles à interpréter. Les mesures ne permettaient pas d'obtenir des résultats suffisamment fiables ou reproductibles pour conclure.

Nous pensons que cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs possibles :

#### *Hypothèse 1 : concentrations trop faibles ou hors domaine de mesure*

Les concentrations en nitrates/phosphates dans l'eau prélevée peuvent être très faibles (en dessous du seuil de détection du test) ou au contraire en dehors du domaine de la méthode (si trop concentré sans dilution). Dans les deux cas, la mesure devient imprécise.

#### *Hypothèse 2 : l'eau des salins*

L'eau des salins n'est pas une eau "simple", elle est très minéralisée (salinité élevée). Elle contient de nombreux ions (chlorures, sulfates, carbonates...), de la matière organique dissoute et des pigments (algues, bactéries).

Ces éléments peuvent provoquer des interférences et une absorbance faussée.

#### *Hypothèse 3 : turbidité / particules / pigments*

Si l'eau contient des particules fines ou des micro-organismes, la lumière est diffusée, ce qui peut augmenter artificiellement l'absorbance mesurée.

#### *Hypothèse 4 : le débit*

Le débit d'écoulement et le temps de contact entre l'eau et les matériaux filtrants jouent un rôle déterminant. Si l'eau traverse le filtre trop rapidement, le temps de contact est réduit et les mécanismes de fixation ne peuvent pas s'effectuer de manière optimale. À l'inverse, un débit plus faible augmente la durée d'interaction et peut améliorer le rendement du système.

Nous avons donc commencé à réaliser des essais en faisant varier le volume d'eau et la vitesse d'écoulement afin d'observer l'influence de ces paramètres sur la concentration mesurée après filtration. L'objectif est de mesurer l'évolution de la concentration en fonction du temps de contact, afin de déterminer un temps optimal de filtration et d'estimer le rendement du filtre en fonction du débit. Ces expériences sont en cours et nécessitent encore plusieurs répétitions pour obtenir des résultats exploitables.

## Pistes d'amélioration proposées

Pour obtenir des mesures plus fiables sur l'eau des salins, nous proposons :

- Filtrer l'eau (papier filtre / seringue + filtre) pour limiter la turbidité,
- Réaliser des dilutions et tester plusieurs facteurs de dilution,
- Utiliser une méthode encore plus spécifique en laboratoire partenaire.

## Sixième partie- conclusion et perspectives (Théhina et Émilie)

Notre projet avait pour objectif de comprendre le phénomène d'eutrophisation et de proposer une solution concrète adaptée au territoire des salins.

Sur le plan scientifique, nous avons mis en évidence le rôle des nutriments (nitrates, phosphates) dans la prolifération biologique, conçu et testé un éco filtre combinant adsorption (charbon actif), échange ionique (zéolite) et interaction chimique (coquilles d'huîtres), validé son efficacité en laboratoire par spectrophotométrie selon la loi de Beer-Lambert et obtenu une diminution mesurable des concentrations après filtration.

Ces résultats montrent que notre filtre permet effectivement de réduire une partie des nutriments responsables de l'eutrophisation. Cependant, nos observations de terrain nous ont conduit à élargir notre analyse.

Nous avons constaté que l'eutrophisation ne dépend pas uniquement de la concentration en nutriments. D'autres facteurs interviennent, notamment :

- La stagnation de l'eau,
- Le manque d'oxygénation,
- Les courants,
- Les conditions climatiques et les saisons.

L'eutrophisation apparaît donc comme un phénomène multifactoriel. Notre filtre agit sur une cause chimique, mais il ne traite pas les facteurs physiques du milieu.

Face à cette complexité, nous proposons d'aller plus loin en développant une approche plus globale, combinant filtration chimique, zone tampon végétalisée et amélioration de l'oxygénation et du mouvement de l'eau.

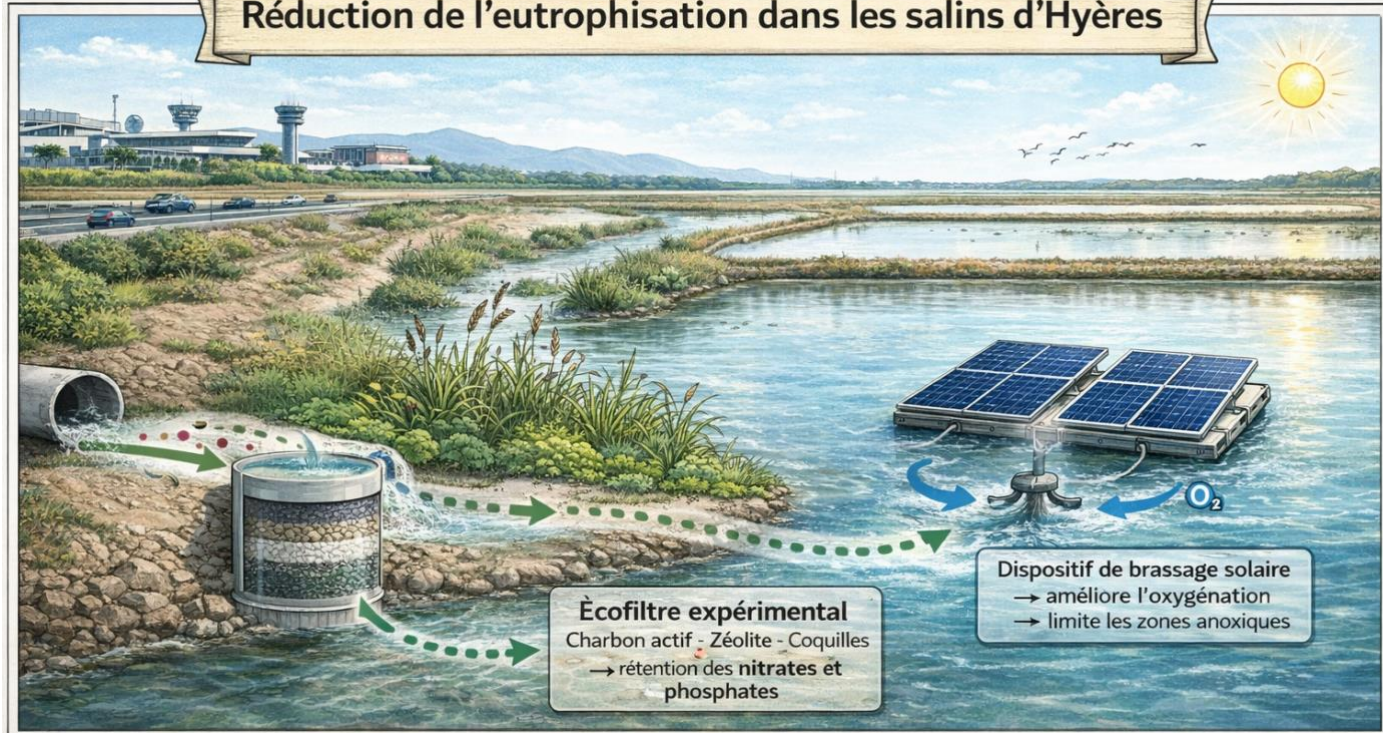
Cette zone pourrait ralentir l'arrivée des eaux de ruissellement, favoriser la décantation naturelle des particules, permettre l'absorption des nutriments par des végétaux adaptés aux milieux salés et agir comme un filtre écologique complémentaire. Les végétaux pourraient capter une partie de l'azote et du phosphore avant leur arrivée dans les bassins principaux. Nous avons également identifié un autre facteur clé : le manque de circulation de l'eau.

Une eau stagnante s'appauvrit en dioxygène et accentue le déséquilibre biologique. Nous proposons donc d'ajouter un système léger de mise en mouvement de l'eau. L'idée serait d'installer de petits dispositifs flottants reposant sur des coussins gonflants et alimentés par des panneaux photovoltaïques.

Ces panneaux pourraient fournir l'énergie nécessaire pour actionner une petite pompe, créer un courant localisé et favoriser le brassage et l'oxygénation.

Notre projet montre qu'une solution technique simple peut réduire une partie des nutriments responsables de l'eutrophisation.

## Réduction de l'eutrophisation dans les salins d'Hyères



Les partenaires :



Agir pour  
la biodiversité

UNIVERSITÉ DE  
TOULON



VILLE D'HYÈRES  
LES PALMIERS

**NATUR**  **SCOPE**   
CENTRE D'ÉTUDE ET D'INITIATION À L'ENVIRONNEMENT

 Conservatoire du  
**littoral**