

Nos vertes marées

**Bilan intermédiaire
« C-génial » 2020**

**Collège Pierre Loti,
Rochefort**



*Avec la participation de : Paul, Sacha, Juliette, Erine, Mathis, Malo, Alice,
Florine, Hugo, Médisonne....*

C.gENIAL

Fondation pour la culture
scientifique et technique

Sciences à l'École



académie
Poitiers

MINISTÈRE DE
L'ÉDUCATION NATIONALE

MINISTÈRE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE



Plage de Bretagne

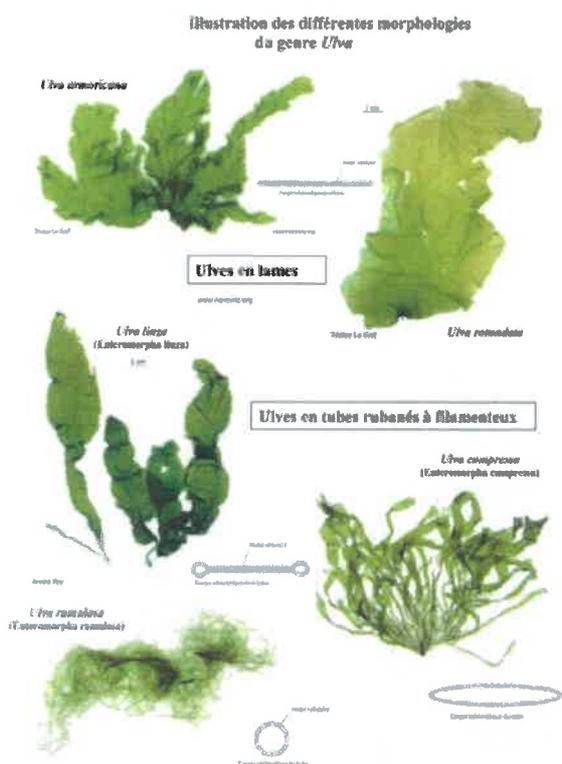


I. Le contexte :

Les algues vertes et les marées vertes :

Il a été observé depuis les années 70 l'apparition du phénomène des marées vertes, essentiellement sur les côtes bretonnes. Des tonnes d'algues vertes se déposent ainsi sur les plages, entraînant des nuisances visuelles et olfactives car en se décomposant, les algues vertes dégagent de l'ammoniaque et de l'hydrogène sulfuré, gaz pouvant être mortels en quelques minutes.

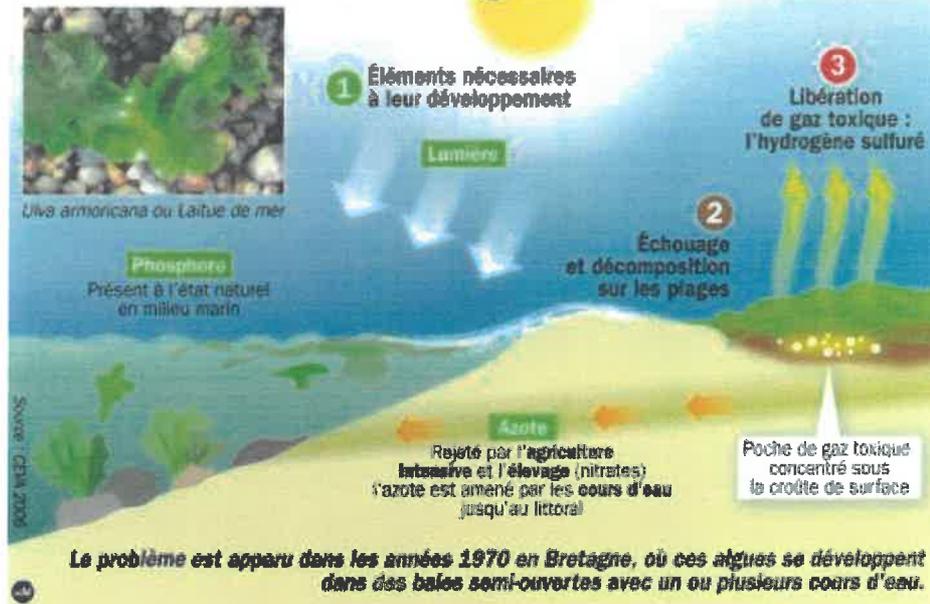
La mort d'un cheval et d'un joggeur sur une plage polluée ont été imputés au dégagement d'hydrogène sulfuré.



Les algues vertes qui prolifèrent ainsi sont pour l'essentiel des Ulves (ou laitues de mer) et des entéromorphes, en moindres proportions. Ces deux espèces sont des macroalgues se développant dans des eaux peu salées. Les fonds de baies, où se mélangent eaux douces et eau salée leurs conviennent donc très bien ; Les ulves n'ont pas besoin de substrat pour se fixer et se multiplient par simple bouturage. Les ulves ont donc un pouvoir de croissance très important quand sont réunies les conditions suivantes : ensoleillement, profondeur d'eau faible, température de l'eau d'environ 18°C, déplacement minimum de la masse d'eau et courants favorables, profusion de nutriments.

Ulves et enteromorphes

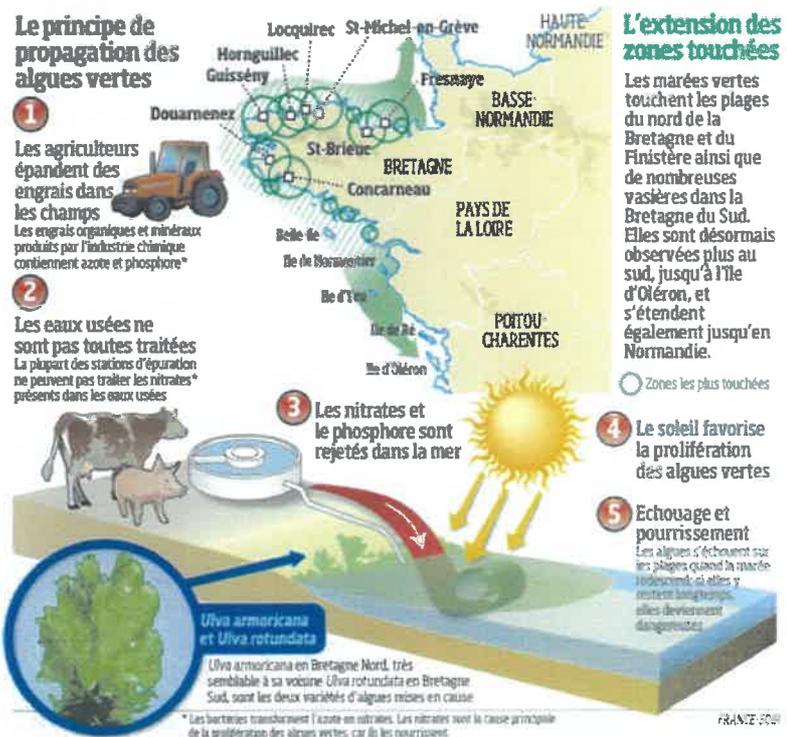
Comment se forment les algues vertes... Les risques



Mécanismes de prolifération des algues vertes

Cette algue prolifère donc essentiellement d'avril à août, sur les plages et dans les fonds de baies, là où débouchent un ou plusieurs cours d'eau. Au printemps, quand les températures augmentent, c'est aussi le moment de l'épandage des engrais sur les terres agricoles ; l'azote et le phosphate de ces engrais sont lessivés par les pluies, emportés dans les cours d'eau pour arriver sur le littoral. La sur-fertilisation des terres agricoles amplifie donc le phénomène, fournissant aux algues vertes profusion de nutriments, ce qui conduit à leur prolifération anarchique. Outre les nuisances visuelles et olfactives, les marées vertes sont un coût pour les régions concernées. Le ramassage des algues échouées qui se compte en plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes a coûté à l'état 750 000 euros en 2016. Aujourd'hui, tout le monde s'entend pour dire que la seule solution pour combattre le phénomène des marées vertes est l'action préventive, en réduisant le taux de nitrate dans les rivières.

Principales zones touchées



Utilisation des algues :

Les algues sont utilisées en nutrition humaine ou animale. Elles sont consommées soit entières (ulves, haricot de mer, certaines algues rouges...), soit pour partie : de certaines algues brunes (laminaires) sont extraites des substances possédant un pouvoir gélifiant, épaississant ou stabilisateur : les carraghénanes, les alginates, l'agar agar.

Elles sont également utilisées comme fertilisant car riches en matière organique et en oligoélément.

Elles sont aussi utilisées dans l'industrie agroalimentaire pour leurs propriétés gélifiantes, entrent dans la composition de cosmétiques, de dentifrices, sont utilisées pour produire du biogaz. De nombreuses recherches sont menées actuellement pour la production de bioéthanol à partir des algues brunes, pour fabriquer des bioplastiques (la société Algopack par exemple fabrique du plastique à base d'algues brunes pour fabriquer des coques de téléphone, des jouets, des pots de fleurs...). En Bretagne, une importante étude a été initiée en février 2020 pour fabriquer des engins de pêche biodégradables avec des plastiques à base d'algues (projet Indigo) en vue de réduire les déchets marins et leurs conséquences dévastatrices pour l'environnement.

Cependant, les principaux débouchés trouvés à ce jour concernent les algues brunes. Peu de travaux sont faits sur les algues vertes. Il serait pourtant intéressant de trouver des débouchés à ces algues considérées comme envahissantes et nuisibles et qui sont par conséquent disponibles en grande quantité et pourraient être une matière première bon marché.

II. Démarche scientifique :

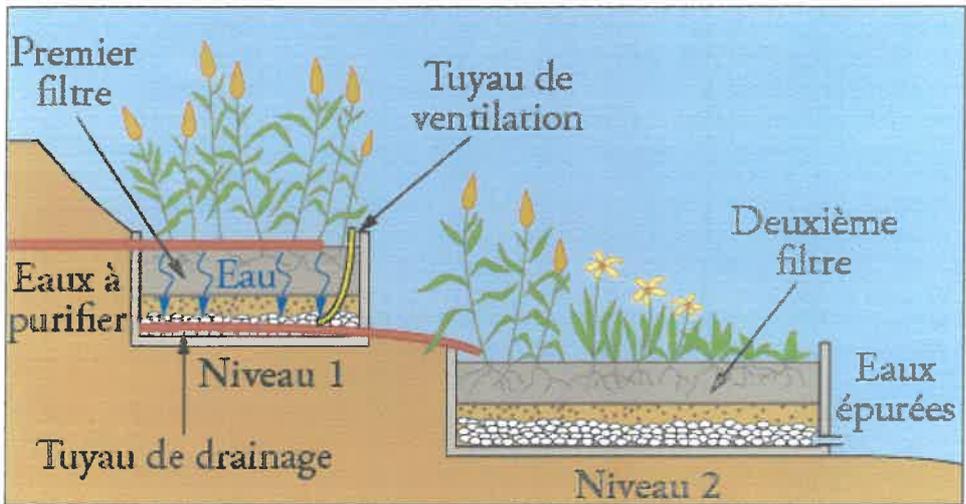
Le projet « algues vertes » a été proposé aux élèves de l'atelier scientifique en début d'année. Les élèves devaient trouver des idées pour utiliser les algues vertes. Après des recherches bibliographiques, nous avons choisi de nous intéresser à l'épuration de l'eau à l'aide d'algues vertes et à la recherche de nouveaux débouchés pour ces algues : bioplastiques, béton à base de poudre d'algues vertes, bioéthanol.

En effet, nous pensons que la culture d'algues vertes en milieu contrôlé permettrait d'améliorer la qualité des eaux de mer (et donc limiterai le phénomène des marées vertes) tout en produisant de la biomasse valorisable dans de nombreux domaines.

La phytoépuration

Pour épurer les eaux usées, la phytoépuration s'appuie sur l'action des plantes, roseaux, joncs, massettes, ou plus exactement des bactéries qui se développent sur leur système racinaire (racines ou rhizomes).

Celles-ci dégradent toutes les molécules organiques issues des eaux usées en composants assimilables par les plantes. En échange, ces dernières produisent l'oxygène nécessaire à la survie des bactéries, bactéries qui sont également capables de traiter les nitrates et les phosphates.



principe de fonctionnement du station de phytoépuration

Nous pensons qu'il est possible qu'un tel procédé soit utilisé pour épurer les eaux riches en nitrate, dans le fond des baies, en remplaçant les végétaux terrestres par des algues vertes. L'eau douce riche en azote et phosphate serait mélangée à de l'eau salée pour que la culture d'algues soit possible.

Les biomatériaux :

Aujourd'hui, le plastique à base de pétrole est en cours d'interdiction car non biodégradable. Les bioplastiques sont essentiellement fabriqués à base d'amidon de maïs. Le problème est que ce procédé mobilise des terres agricoles pour produire le maïs, ce qui empêche d'exploiter ces terres pour l'alimentation humaine ou animale.



De nombreuses équipes travaillent à la mise au point de plastiques à base d'algues. En effet les algues sont riches en polysaccharides, substances ayant des propriétés gélifiantes. Par ailleurs, la matière première est intéressante car peu utilisée en alimentation.



Bioplastiques



D'autres types de biomatériaux sont à l'étude : pneus à base de tournesol, béton à base de cendres ou de bois, revêtements de sol ou peintures à base de poudre d'huîtres..

III. Travaux :

1. Mise en place une culture d'algues vertes (Ulves et entéromorphes) en aquarium.

L'objectif de ce travail est de vérifier la faisabilité d'une culture d'algues vertes en eau salée et en eau saumâtre.



Culture d'algues vertes en aquarium et pesée des algues

Nous mesurons et pesons les algues toutes les semaines pour vérifier leur croissance.

Par ailleurs, comme les algues vertes prolifèrent dans des eaux riches en azote et en phosphore, nous nous demandons s'il n'est pas possible de dépolluer les eaux chargées en nitrates et phosphates, avant qu'elles ne soient déversées dans la mer, en les faisant passer dans un bassin où des algues vertes seraient cultivées ; Nous avons donc mis en place deux cultures d'algues. Une culture témoin avec de l'eau de mer et une autre culture dans laquelle nous avons ajouté de l'engrais pour plantes vertes riche en azote et phosphore. Nous pouvons donc étudier la croissance des algues en absence et en présence de ces éléments.

Nous avons prélevé des échantillons d'eau pour doser les nitrates et phosphates en début et en fin de culture pour vérifier que les algues assimilent bien ces substances.

Parallèlement, nous mesurons et pesons les algues toutes les semaines pour estimer leur croissance.

2. Fabrication de béton à base d'algues vertes

Pour trouver des débouchés aux algues vertes nous cherchons à savoir s'il est possible de produire du béton à base de poudre d'algues vertes.

Nous avons testé différents mélanges

| | Essai 1 témoin | Essai 2 | Essai 3 | Essai 4 | Essai 5 |
|---------------|-------------------|----------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------------|
| ciment | 200mL | 200mL | 200ml | 200mL | 200mL |
| eau | 200mL | 200mL | 200mL | 220mL | 200mL |
| Sable | 400mL | 300mL | 400mL | 400mL | 400mL |
| Algues vertes | | 50g en poudre (sechées) | 100g en poudre (sechées) | 50g en poudre (sechées) puis bouillies avant mélange. pH ajusté à 7. | 90 g algues entières fraiches |

L'ensemble est mélangé puis coulé dans des bacs identiques, sur une épaisseur identique pour chaque essai (1,2 cm) puis séché une semaine.

3. Fabrication de bioplastiques à base de poudre d'algues vertes ou d'extraits d'algues vertes.

- a) Nous avons cherché à extraire les polysaccharides des algues vertes, appelés ulvanes.

Pour ce faire, il faut casser les parois des cellules des algues, qui sont bien plus résistantes que les parois des cellules des végétaux terrestres. Les algues vertes ont d'abord été séchées et broyées pour faciliter l'extraction.



Séchage puis broyage des algues vertes

Puis nous avons utilisé plusieurs procédés :

- **Essai A** : Ebullition d'un mélange eau- poudre d'algues vertes pendant 15 min
- **Essais B** : Mélange de la poudre d'algues vertes avec de l'acide chlorhydrique de concentrations variables (de 0,1M à 3M)
Ebullition pendant 15 min puis réaction à température ambiante pendant 7 jours.
- **Essai C** : Extraction des ulvanes en présence d'oxalate de sodium :
Mélange d'algues séchées , broyées dans une solution d'oxalate de sodium 0,005M puis chauffage à 90°C pendant 2h.
- **Essai D** : Ajout d'amylase et de protéases pour casser les parois des cellules :

Les pigments (chlorophylle) sont extraits préalablement à l'éthanol (5g d'algues séchées et broyées + 100mL d'éthanol, filtration). Le rétentat est ensuite mélangé à 200mL d'eau puis porté à ébullition pendant 15 min ; Après refroidissement, on ajoute 2 comprimé d'amylase et 2g de pepsine.



Les différents tests ont été réalisés simultanément. Après chauffage ou action des acides ou des enzymes, les mélanges ont été filtrés pour récupérer les filtrats qui ont ensuite été séchés puis pesés pour déterminer la quantité d'ulvanes extraits.

b) Nous avons fabriqué différents plastiques à base d'agar, substance extraite des algues

Comme nous n'avons pas assez de polysaccharides extraits des algues vertes, nous avons fait nos tests de fabrication de plastiques à base d'algues à partir d'agar et d'alginate du commerce.

Nous avons testé différentes proportions d'agar et nous avons rajouté du glycérol pour que le plastique reste souple (en différentes proportions également). Nous avons aussi fait des tests en rajoutant « une charge » c'est-à-dire un matériaux rendant le plastique opaque et plus consistant ; Nous avons testé de la poudre de calcaire et de la poudre d'huitres.



Première série de tests

| Nom de l'échantillon | C6 et H7 | C8 et H9 | C10 et H11 | C12 et H13 |
|--|----------|----------|------------|------------|
| Masse d'agar en g | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| Volume d'eau en mL | 14 | 14 | 14 | 14 |
| Masse de « charge » en g Poudre d'huitre (H) ou poudre de calcaire (C) | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Deuxième série de tests

| Nom de l'échantillon | C15 et H16 | C17 et H18 | C19 et H20 | C21 et H22 | C23 et H24 | C25 et H26 |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Masse d'agar en g | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Volume d'eau en mL | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| Masse de « charge » en g Poudre d'huitre ou poudre de calcaire | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |

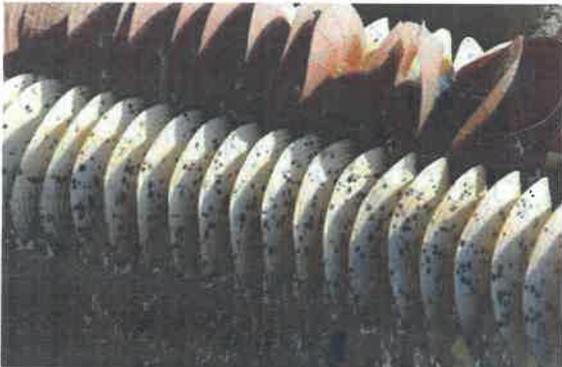
Nous avons ensuite rajouté un peu de glycérol dans les mélanges pour obtenir un matériau plus souple.

c . Fabrication de coupelles de naissains d'huitres

A partir du bioplastique obtenus, nous avons fabriqué des coupelles de naissains d'huitres. Notre objectif est de produire ce type de coupelles biodégradables car nous avons observé que

l'on retrouve beaucoup de ses coupelles abandonnées sur les plages, ce qui est source de pollution.

Nous avons fait un moule puis coulé le bioplastique dans le moule.



Coupelles de naissains d'huitres et moule

4. Enfin, nous nous intéressons à la production de bioéthanol à partir d'algues vertes.

La principale difficulté étant la présence de polysaccharides soufrés dégageant du sulfure d'hydrogène toxique lors de la fermentation, les ulvanes, nous avons réalisé la fermentation sur de la poudre d'algues après extraction des ulvanes (voir 3. a).

Plusieurs essais ont été effectués :

| | Essai fermentation 1 | Essai fermentation 2 | Essai fermentation 3 | Essai fermentation 4 |
|-----------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------------|---|
| Volume d'eau en mL | 400 | 400 | 400 | 400 |
| Masse de sucre en g | 4 | 1 | 1 | 1 |
| Masse de levures en g | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| Masse d'algues séchées en g | | 12g d'algues non traitées | 12 g d'algues traitées avec amylase | 12 g d'algues séchées traitées avec oxalate de sodium |

Essais de fermentation



IV. Résultats

1. Culture d'algues vertes

Les algues vertes poussent bien dans les aquariums. Il ne faut pas que l'eau soit trop chaude (aux environs de 20°C). L'eau doit être aérée. Nous avons en effet remarqué que les algues sont mortes dans l'eau était trop chaude.

Les mesures de masse, et de taille des algues en fonction du temps et de la quantité d'azote dans l'eau ne donnent pas de résultats significativement différents ; Il est difficile de peser les algues car il reste toujours de l'eau sur les algues et leur taille varie également car des morceaux d'algues se détachent.

Nous attendons les résultats de dosage des nitrates et des phosphates pour pouvoir dire si les algues vertes peuvent diminuer la quantité d'azote et de phosphore dans les eaux polluées.

2. Béton à base d'algues verte

Le béton à base d'algue est très friable. Il se forme des bulles à l'intérieur du béton quand on rajoute la poudre d'algue. Nous pensions que rajouter des algues vertes au béton permettrait d'obtenir un matériau souple, utilisable par exemple pour les terrains de jeu. Le béton obtenu est en effet souple mais trop fragile.



Béton à base de poudre d'algues vertes

| | Essai 1 | Essai 2 | Essai 3 | Essai 4 | Essai 5 |
|----------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|---|
| Observations après séchage | Béton solide | Très fragile. Poreux (bulles d'air) | Très fragile. Poreux (bulles d'air) | fragile. Friable. Moins poreux que les essais 2 et 3 | plus solide qu'avec les algues séchées mais se casse au niveau des algues |

3. Extraction des ulvanes

Extractions acides (essais B)

| | HCl 0,4 M | HCl 0,2 M | HCl 0,1 M | HCl 0,5M |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| observations | Filtrat foncé | Filtrat clair | Filtrat clair | Filtrat foncé |

Nous avons ensuite essayé de sécher les filtrats pour déterminer la masse d'ulvanes extraits mais notre matériel est trop peu précis pour mesurer les masses d'ulvanes secs obtenus.

Nous pouvons cependant déduire de nos observations que les meilleurs rendements d'extraction s'obtiennent à partir d'acide 0,4 ou 0,5 M.

Autres extractions : les comparaisons de rendement sont en cours.

5. Bioplastique



Tests de
bioplastiques



Après différentes séries de tests, nous avons déterminé la meilleure composition du plastique à base d'agar : les plastiques ayant la meilleure texture (souple, peu de rétraction, solidité)



Couppelles de naissains d'huitres en bioplastique à base d'algues

sont les plastiques 23C, 24H, 25C et 26H. La poudre d'huitre donnant (H) donnant de bons résultats, similaires à la poudre de

calcaire, nous avons choisi d'utiliser les plastiques à base d'agar et de poudre d'huitre. Nous pensons en effet que l'utilisation de la poudre d'huitre peut améliorer la captation de naissains d'huitres. C'est en effet de la poudre d'huitre qui est utilisée pour fixer les larves d'huitre au moment de « l'éclosion ».

- La meilleure formule est donc : 0,9 ou 1g de poudre d'huitre
- 0,8 g d'agar
- 14 mL d'eau

Comme notre plastique reste trop rigide, nous avons rajouté du glycérol en proportions variables pour obtenir un matériau plus souple.

La formule définitive du plastique pour fabriquer les coupelles de naissains d'huitres est donc la suivante :

- 1g de poudre d'huitre
- 0,6 g d'agar
- 12 mL d'eau
- 2mL de glycérol.

Des tests ont été réalisés pour vérifier la résistance de notre matériau dans l'eau ; Au bout de plusieurs semaines, le matériau reste souple et ne se désagrège pas. Il est cependant un peu « mou ».

Nous avons ensuite fabriqué des coupelles de naissains d'huitres : la méthode n'est pas encore tout à fait au point ;

4..bioéthanol

La fermentation des algues vertes ne produit pour l'instant pas beaucoup d'alcool. Nous avons testé différentes conditions, fait varier les quantités de levure de boulangerie, l'agitation, rajouté du sucre pour mieux amorcer la fermentation ...

V. Conclusion

La culture d'algues vertes en aquarium donne des résultats probants. Reste à confirmer la diminution de la quantité d'azote et de phosphore dans l'eau pour valider notre procédé ;

Les dosages seront faits prochainement ;

La production de béton à base d'algues vertes n'est pas satisfaisante ; Le béton obtenu est trop friable.

La production de plastique à base d'algues et de poudre d'huitres donne des résultats assez satisfaisants. Notre procédé est encore à améliorer et nous continuons nos travaux pour tester l'utilisation directe de la poudre d'algues dans nos plastiques (ce qui évite l'étape d'extraction, longue, coûteuse).

La production de bioéthanol semble difficile.

Une partie de l'équipe au travail....



Nous continuons nos recherches pour améliorer nos résultats.

Handwritten signature



Collège Pierre Loti
49, rue Audry de Puyravault - BP 90210
17304 ROCHEFORT CEDEX
Tél. : 05 46 87 42 24 - Fax : 05 46 87 86 45