



ENSP
ECOLE NATIONALE DE
LA SANTE PUBLIQUE

RENNES

FORMATION D'INGÉNIEUR DU GÉNIE SANITAIRE
Avril 2004

ATELIER SANTÉ-ENVIRONNEMENT

**Evaluation et gestion des risques liés à la
décomposition des algues vertes
Application dans les Côtes d'Armor**

Présenté par :

Chrystel BRENAUT

Marie FIORI

Massiré KARE

Valérie VIAL

Référent pédagogique :

Jean-Luc POTELON

Remerciements

Nous tenons à remercier :

Monsieur Jean-Luc POTELON, enseignant à l'ENSP, département EGERIS, pour son encadrement dans ce travail.

Madame Cécile ROBERT-JULIEN (DDASS 22) et Monsieur Ghislain MANET (CIRE) à l'origine du sujet, pour leurs conseils dans la réalisation de ce travail.

Monsieur Sylvain BALLU (CEVA) pour les précieux renseignements qu'il nous a fournis.

Monsieur Alain BRAULT (CRAM) pour sa disponibilité.

Monsieur Philippe MORAND (Chargé de recherche CNRS, station biologique de Paimpont) et Monsieur Alain BAERT (Centre Anti-Poison de Rennes) pour leur disponibilité, leurs conseils et la mise à notre disposition de documents.

Ainsi que toutes les personnes que nous avons contactées, notamment les services techniques des collectivités territoriales.

Abréviations

CAP : Centre Anti-Poison

CEVA : Centre d'Etudes et de Valorisation des Algues

CIRE : Cellule Interrégionale d'Epidémiologie

CNRS : Centre National de Recherche Scientifique

CRAM : Caisse Régionale d'Assurance Maladie

DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociale

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

MO : Matière Organique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

VLE : Valeur Limite d'Exposition

VME : Valeur Moyenne d'Exposition

Sommaire

Table des illustrations	5
Introduction.....	6
Démarche.....	7
Partie 1 « Analyse du problème dans son contexte et vérification du signal sanitaire »	8
I. Contexte médiatique.....	9
II. Problématique générale sur les marées vertes.....	10
II. 1 Présentation du problème	10
II. 2 Le devenir de ces algues après échouage	12
III. De l'objectivité du signal sanitaire ?	13
III. 1 Inventaire des plaintes.....	13
III.2 Enquêtes auprès des professionnels du ramassage.....	13
Partie 2 « Identification des substances mises en jeu lors de la dégradation des algues vertes sur les plages »	15
I. Démarche	16
II. Etape préalable à l'identification des dangers.....	16
II. 1 Hypothèses retenues sur les substances mises en jeu.....	16
II. 2 Effets dose-réponse de l'hydrogène sulfuré	19
II.2 Voies d'expositions	20
II. 3 Populations exposées	20
II. 4 Caractérisations des risques.....	21
Partie 3 « Discussion et recommandations »	22
I. Bilan des données recueillies.....	23
II. Etat des lieux des données manquantes pour l'évaluation des risques.....	23
II. 1 Données manquantes	23
II. 2 Propositions pour la poursuite d'études	24
III. Recommandations	25
Conclusion	27
Annexes.....	28
Bibliographie.....	55
Résumé.....	58

Table des illustrations

➤ Tableaux

Tableau 1: Liste récapitulative des substances identifiées	18
Tableau 2 : Récapitulatif des relations dose-effet pour H ₂ S.....	19
Tableau 3: Récapitulatif des VLE et des VME pour H ₂ S	20
Tableau 4 : Composition de l'Ulve	32
Tableau 5 : Principaux mécanismes des symptômes liés aux odeurs environnementales....	41

➤ Figures

Figure 1 : Facteurs externes influençant la formation des marées vertes	11
Figure 2: Substances émises lors de la méthanisation de la MO	17

Introduction

Le terme « Marée Verte » est utilisé pour caractériser la prolifération massive d'algues vertes sur le littoral. En France, ce phénomène touche principalement les côtes bretonnes : les départements du Finistère et des Côtes d'Armor récoltant l'essentiel de ces algues vertes, indésirables et envahissantes.

Par leur volume (plusieurs tonnes chaque année), les nuisances notamment visuelles et olfactives, mais aussi économiques qu'elles génèrent, et par leur impact médiatique, les marées vertes constituent un signal environnemental fort. Celui-ci suscite plaintes, inquiétudes et manifestations répétées de la part des riverains des sites côtiers concernés et des défenseurs de l'environnement.

Interpellée sur des cas pathologiques, des effets sur le bâti et certains matériaux, la DDASS des Côtes d'Armor souhaite avoir des informations concernant les effets sanitaires potentiels des algues en décomposition. Elle s'interroge notamment sur la nature des composés gazeux issus de leur dégradation. Par la suite, pourra être menée une évaluation des risques sanitaires (notamment relatifs à l'exposition à ces gaz) des riverains des sites et des professionnels du ramassage et de l'épandage des algues.

C'est dans ce contexte que se situe notre travail. En amont d'une démarche d'évaluation des risques, cette étude a pour objectif d'identifier les dangers associés à la présence d'algues en décomposition sur les plages. Une des premières étapes est de recenser les diverses substances émises lors de cette putréfaction et pouvant avoir des effets sur la santé humaine.

A terme, ce travail a également pour objectif d'apporter des éléments de réponses quant à la pertinence de poursuivre la démarche.

Démarche

Afin de caractériser le signal sanitaire attribué à la décomposition d'algues vertes échouées, nous avons essayé de recenser les plaintes qui leur sont attribuées, et d'en vérifier l'objectivité. Existe-t-il un lien de cause à effet entre les problèmes rapportés et la présence des algues en décomposition ?

Pour pouvoir identifier les dangers liés à la présence d'algues en putréfaction sur les plages bretonnes, une recherche a été réalisée sur les différents composés gazeux susceptibles d'être émis lors de la décomposition de ce type d'algues afin de lister ceux ayant un effet néfaste sur la santé humaine.

Si les composés inventoriés présentent un quelconque danger pour la santé humaine, une caractérisation ultérieure des risques sanitaires sera réalisée par les autorités sanitaires.

Au vu des résultats obtenus, nous avons discuté des enjeux sanitaires relatifs à la dégradation des algues, émis des recommandations et proposé des pistes d'études à mener.

Partie 1 « Analyse du problème dans son contexte et vérification du signal sanitaire »

Afin de mieux cerner l'ampleur de la problématique des marées vertes, notre attention s'est portée sur :

- le contexte médiatique dont elles sont l'objet,
- la description de ce phénomène ainsi que son impact général,
- leur signal sanitaire afin d'en appréhender l'objectivité.

I. Contexte médiatique

Pour mesurer l'ampleur médiatique des phénomènes marées vertes, des lectures de la presse locale ont été réalisées. Sont mentionnés, ci-après, trois exemples d'articles relatifs à des plaintes et/ou des interrogations émises par des associations environnementales.

- Le Télégramme de Brest du 24 novembre 2003 donne la parole à l'association Sauvegarde du Trégor. Celle-ci, s'interrogeant sur les effets sanitaires des algues vertes, a réalisé des analyses d'eau « *pour chercher à prouver que les algues vertes produisent des bactéries en grand nombre* ». Au vu des résultats des analyses, Monsieur Le Lay, président de l'association, a déclaré: « *on peut clairement établir que le développement des microbes est favorisé par les algues vertes lorsqu'elles pourrissent* ». De plus, il pense que la DDASS Côtes-d'Armor est consciente du problème, mais qu'elle préfère le dissimuler pour éviter des fermetures de plages.

Par ailleurs, dans ce même article, l'association affirme avoir envoyé le résultat de ses analyses à la DDASS. Or celle-ci n'a jamais été contactée, ni même informée sur ce point. Suite à cet article, la DDASS 22 a fait paraître un démenti.

Dans l'attente de mener une action en justice pour demander réparation du préjudice subi, l'association projette de réaliser des analyses sur les gaz émis par les algues en décomposition afin de déterminer si il existe ou non des effets sur la santé.

- Le 9 février 2004, dans Ouest-France, c'est au tour de l'association Halte aux marées vertes d'exposer son point de vue. Cette association, ainsi que trois autres (Sauvegarde du Trégor, Eaux et Rivières de Bretagne et La Source à la Mer) expliquent qu'elles déposeront prochainement auprès du Tribunal Administratif de Rennes, un recours en contentieux contre l'État.

André Ollivro, Président d'Halte aux marées vertes cite -entre autres récriminations :

- « (...) *le non-respect de la directive européenne de 1991 qui stipule que l'État doit assurer la qualité de l'eau (...)* »,
- « *des dermatites constatées chez des enfants ayant joué avec des algues vertes (...)* »

Aussi, ces associations réclament 152 000 € de préjudices, mais précisent qu'ils recherchent surtout « *une condamnation symbolique, qui crée une jurisprudence pour les particuliers* ». Cette procédure s'annonce longue.

L'association a divers projets comme de repérer en mer des stocks d'algues, de constater les émanations de gaz toxiques et irritants, de vérifier la réalité des plans d'épandages,...

Les associations, très « virulentes » sur les aspects pollution de l'environnement et dégradation des plages, ne semblent pas disposer actuellement d'informations scientifiques sur les effets sanitaires, bien qu'elles laissent souvent sous-entendre que des risques existent.

Concernant un impact sanitaire lié à la décomposition des algues vertes, Mr PIRIOU (CEVA) déclare dans le journal Ouest-France du 27 juin 1998 : « *La putréfaction de ces ulves génère de l'hydrogène sulfuré et de l'ammoniac, c'est pourquoi, certaines personnes sont prises de malaises à Venise.* ».

Cependant, aucune étude n'a été réalisée. Aussi, l'origine de ces malaises n'est peut-être pas, ou pas seulement, liée à l'exposition aux gaz issus de la dégradation des ulves.

II. Problématique générale sur les marées vertes

II. 1 Présentation du problème

Le phénomène des marées vertes, nom donné à la prolifération massive d'algues vertes macrophytes, a été décrit pour la première fois, au début du vingtième siècle dans la baie de Belfast. Il semble s'amplifier depuis une trentaine d'années et touche désormais tous les continents :

- EUROPE : Bassin Méditerranéen, Mer Baltique, Océan Atlantique, Manche, Mer du Nord...
- AMERIQUE : façades Atlantique et Pacifique des Etats-Unis
- OCEANIE : sud ouest de l'Australie et de Nouvelle Zélande
- ASIE : Japon, Inde, Ile de Guam
- AFRIQUE : Côtes Sénégalaises, Afrique Australe, Tunisie...

En Europe, ces phénomènes ont été observés notamment au niveau de la lagune de Venise, du fjord de Roskilde au Danemark, de la Veerse Meer en Hollande. On les retrouve également au niveau des lagunes de la Côte Languedocienne, du Bassin d'Arcachon et surtout sur le Littoral Armoricaïn.

Les marées vertes constituent un problème récurrent en Bretagne, depuis une trentaine d'années. Elles affectent près d'une soixantaine de communes du littoral breton et sont à l'origine des problèmes principalement d'ordre environnementaux, économiques et médiatiques.

Ce phénomène est saisonnier : les algues se développent principalement en période printanière et estivale (mi-avril ; mi-septembre). Ce phénomène peut avoir pour origine des facteurs géologiques, climatiques, hydrodynamiques et/ou anthropiques.

Les marées vertes touchant le littoral breton correspondent à des proliférations de Chlorophycées du type *Ulva* (communément appelées « laitue de mer »). Les espèces en cause dans cette région sont majoritairement *Ulva armoricana* et *Ulva rotundata*.

Les études menées par l'IFREMER et le CEVA donnent comme facteurs prédominants de la croissance algale (explicités dans la figure 1) :

- l'introduction d'une grande quantité de nutriments et/ ou de matières organiques dans les milieux aquatiques,
- une plage sableuse enclavée et de faible pente,
- une température et un éclaircissement élevés en belle saison (cas des lagunes : la faiblesse des profondeurs favorise le réchauffement des eaux et une importante activité photosynthétique),
- un hydrodynamisme faible lié à un renouvellement lent de la masse d'eau côtière (cas des lagunes).

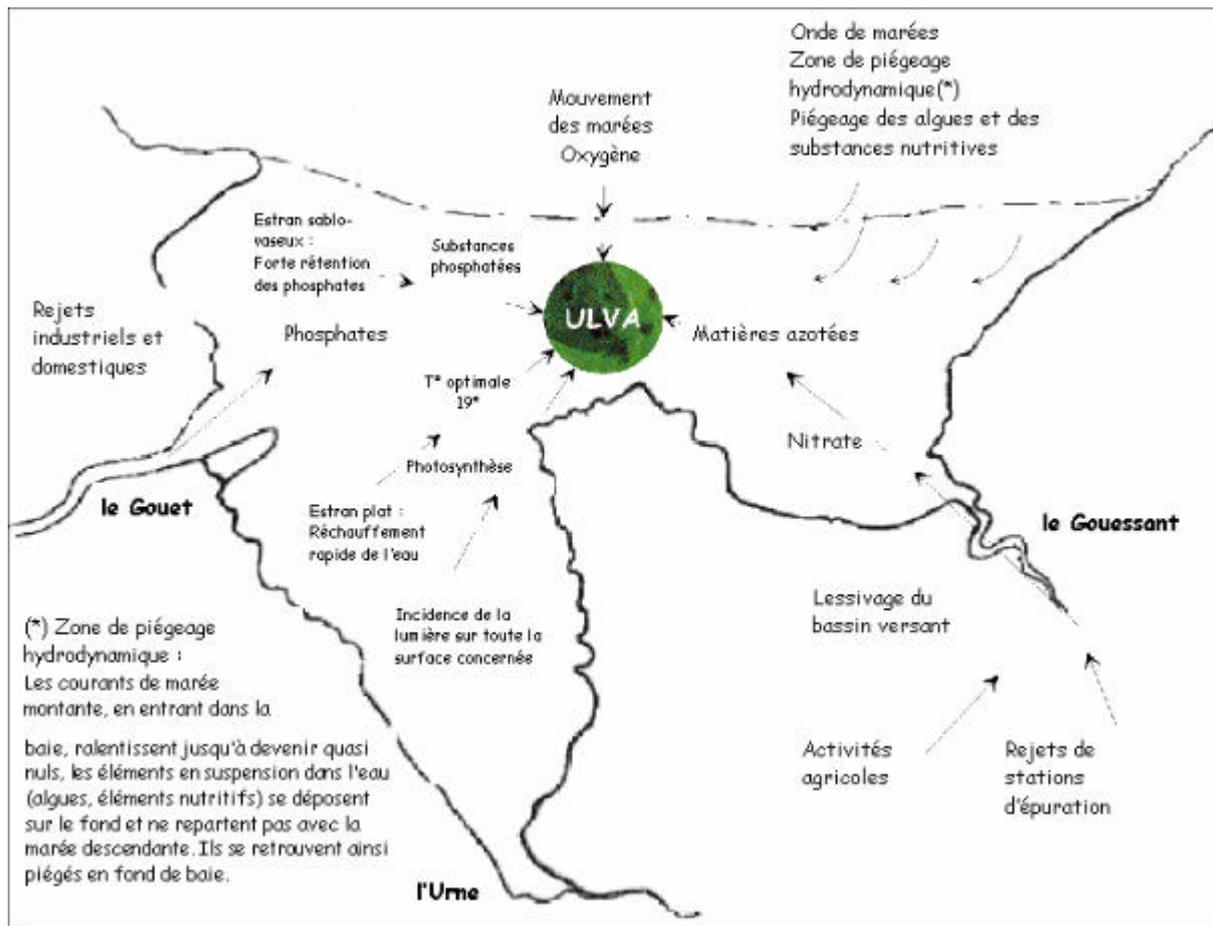


Figure 1 : Facteurs externes influençant la formation des marées vertes
(source : site internet association Halte aux marées vertes)

Conséquences des marées vertes

Les marées vertes conduisent localement à des échouages importants d'algues vertes pouvant couvrir des estrans entiers. Les algues déposées sur les plages, meurent en séchant et se décomposent en générant divers problèmes.

➤ Effets environnementaux et écologiques

Aucun effet négatif sur le fonctionnement de l'écosystème breton n'a été, à ce jour, démontré. Il semble cependant que des modifications physico-chimiques se produisent dans certaines zones où la collecte des algues n'est pas régulière, et ce avec des répercussions sur la faune et la flore endogènes.

Les algues échouées sur l'estran ont un impact environnemental, en raison de caractéristiques intrinsèques. En effet, elles constituent un stock d'azote et de phosphore sous une forme organique. Ce stock nutritif, progressivement libéré dans l'eau lors de la décomposition de ces algues, favorise l'eutrophisation littorale.

De plus, des phénomènes d'oxydation de la surface d'objets en étain ainsi que des effets sur le bâti ont été signalés ; témoignant d'une certaine contamination de l'air dans ces secteurs.

➤ Effets sanitaires

Les algues vertes n'ont pas, en tant que telles, d'effets négatifs reconnus sur la santé. En effet, contrairement aux algues rouges et aux algues bleues vertes (les cyanobactéries), elles ne produisent pas de toxines.

Cependant, leur décomposition semble être à l'origine d'une certaine pollution de l'air, susceptible d'avoir des effets sur la santé. Cet aspect sera plus largement abordé dans la suite du rapport.

Par ailleurs, des hypothèses sont émises sur la participation de l'eutrophisation littorale à une contamination bactérienne de sites conchylicoles et/ou de zones de baignade. Les Ulves auraient la propriété d'émettre dans le milieu marin des substances « osmoprotectrices » pour les bactéries fécales, augmentant leur durée de vie. Cette hypothèse nécessite toutefois des études scientifiques supplémentaires.

➤ Effets socio-économiques

La présence de ces masses d'algues sur les plages perturbe fortement les populations riveraines, les activités touristiques et balnéaires en raison des nuisances d'ordre visuel et olfactif qu'elles engendrent.

En effet, la décomposition des algues s'accompagne d'une odeur pestilentielle gênante pour les riverains ou touristes, et limitant les activités de plein air en été. Cette nuisance est fonction de l'épaisseur d'algues échouées sur les plages, de leur durée d'accumulation sur la plage et des conditions climatiques (ensoleillement, vent).

L'impact médiatique autour des marées vertes et la gêne qu'elles génèrent peuvent remettre en cause l'image de marque de la Bretagne et de ses produits. Ceci pourrait, à terme, déstabiliser son activité économique.

II. 2 Le devenir de ces algues après échouage

L'arrêté du 7 mai 1974 et la circulaire du 14 mai 1974 stipulent que le ramassage des algues sur les plages et les zones littorales fréquentées par le public incombe aux collectivités territoriales. Celles-ci fixent par un arrêté municipal la périodicité du ramassage des algues, considérées comme des déchets.

Pour pallier à ce problème, diverses solutions de valorisation des Ulves ramassées ont été envisagées : telles que le compostage, la méthanisation, l'alimentation animale ou encore l'utilisation par les industries agro-alimentaires. Certaines se sont avérées faisables, mais aucune vraiment rentables. (Cf. annexe 1)

Il faut noter que le ramassage des algues génère des coûts non négligeables pour les collectivités territoriales. Ainsi, en 2002, environ 60 000 m³ d'algues fraîches ont été ramassées en Bretagne pour un coût d'environ 500 000€. Pour limiter la prolifération massive des algues vertes et agir en amont du problème, les conseils généraux de Bretagne

ont mis en place depuis avril 2002, avec l'agence de l'eau Loire-Bretagne et divers acteurs locaux, le programme « Prolittoral ». (voir annexe 2)

III. De l'objectivité du signal sanitaire ?

Afin de percevoir le signal sanitaire lié aux marées vertes, ont été recensées les différentes plaintes émises ainsi que les cas cliniques « attribués » aux algues vertes en décomposition. Pour cela, des contacts ont été pris auprès de divers acteurs : la DDASS 22, les collectivités territoriales, la CRAM...

Alain Baert du Centre antipoison de Rennes a apporté son point de vue objectif sur la situation.

III.1 Inventaire des plaintes

Outre l'aspect malodorant des environs des plages touchées par les marées vertes, les riverains relatent quelques cas cliniques. Cependant, aucun lien direct entre ces pathologies et la présence des algues vertes ne semble, pour l'instant, avoir été établi de manière rigoureuse.

Ainsi, un jogger a semble-t-il été retrouvé mort sur une plage des Côtes d'Armor à proximité d'algues en décomposition. L'examen médico-légal n'a cependant pas permis de conclure quant à la cause réelle de la mort.

Le journal Ouest Médical de juillet 1993 indique que des cas de dermatites ont été diagnostiqués chez des enfants ayant joué dans les algues sur les plages.

Par ailleurs, un cas de décès d'un chien a été rapporté au niveau de la DDASS, mais il n'y a également pas eu de conclusion quant à un éventuel lien avec la présence d'algues en décomposition.

III.2 Enquêtes auprès des professionnels du ramassage

Afin d'avoir une idée plus précise de l'impact sanitaire de la présence d'algues vertes échouées sur les plages, nous avons contacté la CRAM de Bretagne et les services chargés du ramassage de sept communes du littoral costarmoricain, touchées par le phénomène. (Cf. annexe 9)

Les professionnels du ramassage constituent une des populations locales en contact (direct ou presque) avec les algues en putréfaction.

➤ *Après de la CRAM*

Aucun cas de maladie professionnelle relative à l'exposition aux substances émises lors du ramassage des algues en putréfaction ne nous a été communiqué. Cependant, le système de recensement des maladies professionnelles au niveau des CRAM ne permet pas d'en déterminer les causes.

➤ *Après des services techniques des collectivités territoriales*

Leurs témoignages, recueillis par téléphone, concordent sur plusieurs points :

- aucun effet néfaste sur la santé des professionnels, des riverains et des baigneurs n'a été constaté ou leur a été rapporté,
- tous ont signalé une nuisance olfactive forte (qui augmente avec l'épaisseur et le temps d'accumulation des algues)
- un professionnel du CEVA a rapporté avoir manipulé en pleine canicule des algues stockées plusieurs jours dans un endroit clos (sac plastique). La nuisance olfactive ressentie a été très forte. On peut s'interroger sur l'évolution des effets générés chez cette personne si elle ne s'était éloignée des algues.

En définitive, le problème des marées vertes suscite beaucoup d'interrogations et d'inquiétudes chez les particuliers et les associations environnementales quant aux conséquences potentielles sur la santé, et ce sans que leur objectivité soit prouvée.

Afin d'apporter des éléments de réponse, il est nécessaire d'identifier les substances mises en jeu lors de la dégradation des algues et pouvant induire des effets sanitaires.

Partie 2 « Identification des substances mises en jeu lors de la dégradation des algues vertes sur les plages »

Nous avons cherché à identifier les différentes substances gazeuses émises au cours de la dégradation des algues vertes, après leur échouage sur les plages.

I. Démarche

En premier lieu, une recherche bibliographique nationale et internationale a été menée sur les substances émises lors de la dégradation des algues vertes. A l'issue de ce travail, il s'avère que les risques sanitaires liés à la présence d'algues en décomposition sont très peu documentés. En effet, la plupart des articles trouvés s'intéressent davantage à l'origine de la prolifération des algues qu'aux problèmes sanitaires.

De ce fait, notre travail s'est orienté vers la formulation d'hypothèses concernant les substances potentiellement émises lors de la décomposition des algues. Pour se faire, des contacts ont été pris avec différents organismes compétents tels que le CEVA, le CEMAGREF, l'INRA, le CNRS, l'IFREMER... Cependant, peu d'informations ont été recueillies quant aux mécanismes de dégradation ; cette problématique étant jusqu'à présent, faiblement investiguée.

Compte tenu du peu d'information disponible sur la nature des composés émis, nous avons voulu réaliser un parallèle entre les algues vertes et les déchets verts. L'hypothèse d'un rapprochement possible entre les deux processus de décomposition a été émise, en ayant conscience des limites que cela suppose.

En effet, les mécanismes de dégradation ne peuvent être véritablement identiques du fait de différences quant :

- à la composition des ces deux matières,
- aux conditions dans lesquelles s'opère la dégradation : condition d'humidité, de pH, de salinité différentes....

Les différentes substances listées, à la suite de cette hypothèse, feront l'objet d'une interrogation quant à leur danger potentiel sur la santé.

II. Etape préalable à l'identification des dangers

II.1 Hypothèses retenues sur les substances mises en jeu

La décomposition de la matière organique peut se faire soit par voie aérobie, soit par voie anaérobie.

Dans le cas des algues échouées, la fermentation anaérobie paraît être la voie de décomposition à privilégier. En effet, après échouage, les premiers thalles des algues vertes s'assèchent en surface (effets combinés de la chaleur et de la non réhydratation par la mer), formant ainsi une croûte étanche sous laquelle des conditions d'anaérobiose et d'obscurité s'installent progressivement. (Briand et al., 1989).

De plus, l'orientation vers ce processus semble être en accord avec les plaintes relatives aux nuisances olfactives, en raison des odeurs nauséabondes qu'il engendre.

Une liste des substances potentiellement émises lors de la dégradation des algues a été dressée grâce à l'étude du processus de méthanisation. C'est est un processus microbiologique de décomposition de matières organiques, en condition d'anaérobiose, produisant du biogaz.

Il est à noter que cette production d'énergie se fait à l'échelle industrielle dans des conditions contrôlées. Dans le cas présent, la dégradation des algues sur les plages se réalise dans des conditions naturelles. Par conséquent, les substances gazeuses émises le sont probablement en quantités moindres.

Les principales substances libérées lors de la méthanisation sont présentées dans la figure 2:

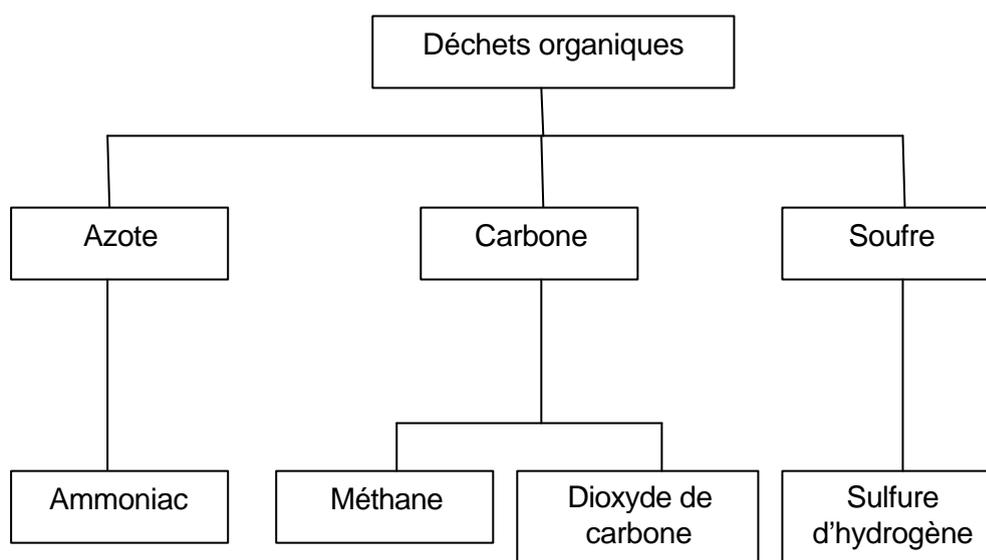


Figure 2: Substances émises lors de la méthanisation de la MO

La fermentation anaérobie est à l'origine de la production ⁽¹⁾ de dioxyde de carbone (environ 64%), de sulfure d'hydrogène (de 4 à 35% environ), de méthane (environ 7%), d'azote (environ 4%) et dans une moindre proportion, de mercaptans, d'aldéhydes et de cétones. Des substances intermédiaires, comme le disulfure de carbone qui est un précurseur de la formation d'hydrogène sulfuré, sont parfois observées.

Afin de retenir seulement les substances ayant des effets sanitaires, nous avons cherché leurs dangers potentiels dans les fiches toxicologiques de l'INÉRIIS et de l'INRS.

Les différentes substances identifiées, ainsi que leurs principales caractéristiques, sont explicitées dans le tableau 1.

Substances	Caractéristiques
Méthane	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gaz inerte asphyxiant. ➤ principal risque : l'explosion.
Ammoniac n° CAS :7764-41-7 ou 1336-21-6	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gaz incolore à odeur piquante. ➤ Gaz irritant pour la peau, les yeux et le système respiratoire. ➤ Attaque les métaux (cuivre et zinc) en présence d'humidité.
Diméthyle Sulfure N° CAS: 75-18-3	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Liquide volatil, incolore à odeur désagréable. ➤ Ce produit est absorbé par les voies respiratoires, la peau et les voies digestives. ➤ Irritation des yeux, de la peau. En cas d'inhalation à fortes concentrations: maux de tête, nausées, possibilité de perte de conscience et de réduction temporaire de la sensibilité olfactive. ➤ Principal risque : inflammabilité.
Disulfure de carbone N° CAS :75 -15-0	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Liquide très volatil, incolore à odeur désagréable. ➤ Produit intermédiaire : décomposition en soufre, mono sulfure de carbone, en monoxyde et dioxyde de carbone.
Hydrogène Sulfuré N° CAS :7783-06-4	<ul style="list-style-type: none"> ➤ A température ambiante et pression atmosphérique, un gaz incolore, plus lourd que l'air, d'odeur caractéristique (« œuf pourri »).
Mercaptans	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Gaz odorant.

Tableau 1: Liste récapitulative des substances identifiées

Au vu des données obtenues, seul l'hydrogène sulfureux sera retenu ici comme substance potentiellement dangereuse pour la santé humaine.

Il est à noter cependant, que l'ammoniac pourrait également être retenu, non pour son impact sur la santé, mais plus pour son implication possible dans les phénomènes de dégradation des bâtis. En effet, dans certaines conditions d'humidité, cette substance attaque les métaux notamment le cuivre et le zinc, ainsi que les façades. On peut toutefois s'interroger sur la contribution de cet élément dans la dégradation des bâtiments et des éléments métalliques, soumis à une atmosphère marine connue pour sa corrosivité.

Les autres substances potentiellement émises ne sont probablement pas à prendre en considération. En effet, en raison de la fréquence des ramassages d'algues, certaines de

ces substances, en particulier les mercaptans, n'ont sans doute pas le temps de se former ou alors en quantités très faibles (méthane, disulfure d'hydrogène).

Dans le contexte de la décomposition des algues sur les plages, seul l'hydrogène sulfuré (H₂S) est donc retenu. Ce choix est conforté par l'adéquation entre son odeur caractéristique et les témoignages des populations locales.

II.2 Effets dose-réponse de l'hydrogène sulfuré

A température ambiante et à pression atmosphérique, le sulfure d'hydrogène est un gaz incolore, plus lourd que l'air, d'odeur caractéristique (« œuf pourri »). La sensation olfactive n'augmente pas avec la concentration du gaz dans l'air. L'odeur décelable à de très faibles concentrations (0.02 à 0.1 ppm) s'atténue parfois ou voire disparaît à fortes concentrations : une anesthésie de l'odorat est constatée au-dessus de 100 ppm.

Le tableau 2 résume les relations dose-effets sur l'homme :

Doses en ppm	Effets
A partir de 0.02	➤ Détection olfactive (nuisance : odeur d'œuf pourri)
A partir de 100	➤ Irritation des muqueuses oculaires et respiratoires se traduisant par une conjonctivite, une rhinite, une dyspnée voire un œdème pulmonaire retardé. Eventuellement, céphalées, nausées et pertes de connaissance brèves
A partir de 500	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rapide perte de connaissance, suivie d'un coma parfois convulsif, accompagné de troubles respiratoires (dyspnée et cyanose), d'un œdème pulmonaire, de troubles du rythme cardiaque et de modifications sensorielles ➤ Si l'exposition n'est pas interrompue, la mort survient rapidement. ➤ Par contre, si le sujet est retiré de la zone contaminée et correctement traitée, la récupération est le plus souvent rapide mais peut être marquée par une encéphalopathie réversible et des séquelles neuropsychiques ou respiratoires (fibrose)
A partir de 1000	Décès rapide en quelques minutes

Tableau 2 : Récapitulatif des relations dose-effet pour H₂S

Les données ci-dessus mettent en évidence la présence d'un décalage entre les teneurs impliquant une gêne olfactive et celle engendrant un effet clinique.

En France, la réglementation en milieu professionnel retient les valeurs d'exposition suivantes :

	Concentration en ppm	Concentration en mg/m ³
Valeur limite d'exposition (VLE)	10	14
Valeur moyenne d'exposition (VME)	5	7

Tableau 3: Récapitulatif des VLE et des VME pour H₂S

Pour caractériser le risque lié à l'émission d'hydrogène sulfuré sur les plages, il est nécessaire de connaître les concentrations émises. Pour ce faire, des campagnes d'analyse de l'air sont souhaitables. Celles-ci doivent tenir compte des différentes voies d'exposition et des populations exposées, d'où la nécessité de réaliser un échantillonnage bien réfléchi et représentatif.

II.2 Voies d'expositions

Les voies d'exposition potentielles aux substances émises par les algues en putréfaction, sur les plages, sont l'inhalation et le contact cutané. L'ingestion a en effet été écartée vu la faible probabilité de son occurrence.

➤ Contact cutané

Le contact (peau, muqueuse) concerne les professionnels du ramassage et de l'épandage des algues, et également les particuliers se trouvant à proximité (il s'agit principalement des enfants jouant dans ces zones).

Cependant, il est à noter, que chez les professionnels du ramassage contactés, il n'y a pas de contact cutané direct avec les algues. Le ramassage est réalisé, en effet, mécaniquement ou presque (fourches, tractopelles, chargeurs, camions). Aussi, les professionnels ne portent généralement pas d'équipements, ni de protections particulières (parfois des gants, des bottes, et pour certains des masques quand les odeurs sont insoutenables).

Cette voie d'exposition semble donc négligeable.

➤ Inhalation

Elle concerne les professionnels du ramassage et de l'épandage des algues. Du fait de la propagation des gaz, les personnes (riverains, touristes) vivant ou séjournant à plus ou moins grande distance des zones de putréfaction des algues sont également concernées.

Ainsi, dans le contexte présent, l'inhalation semble être la voie d'exposition privilégiée.

II. 3 Populations exposées

Compte tenu des résultats précédents, ont été identifiées les populations exposées suivantes :

- les populations riveraines des zones de décomposition des algues,
- les personnes fréquentant les plages pour leurs loisirs (promeneurs, baigneurs,...),

- les personnes travaillant au contact des algues tels que les professionnels du ramassage et/ou de l'épandage des algues.

II. 4 Caractérisations des risques

Cette étape ne peut pas être réalisée dans le cadre de cette étude car elle nécessite des données supplémentaires. Certaines pourraient être obtenues par la mise en place de campagnes d'analyse de l'air sur et aux abords des plages concernées par le problème.

Partie 3 « Discussion et recommandations »

I. Bilan des données recueillies

A l'issue de cette étude, il résulte que la voie d'exposition à privilégier pour évaluer le risque sanitaire est **l'inhalation**. De plus, il semble que la seule substance pouvant présenter un danger significatif pour la santé des populations exposées soit le **sulfure d'hydrogène**.

En fait, le problème lié à la présence de sulfure d'hydrogène dans un espace confiné est à prendre très au sérieux : il peut entraîner des symptômes dont la gravité croît avec la concentration (pertes de connaissance, mort). Par exemple, de nombreux accidents sont régulièrement recensés lors du nettoyage des cuves de vendange : le H₂S formé lors des processus de fermentation est alors très concentré. A l'opposée, notre étude se situe dans un **milieu ouvert** et fortement ventilé par les vents marins : les concentrations en H₂S dans l'air ambiant sont rapidement dispersées et donc probablement faibles.

De plus, les expositions à cette substance sont limitées car :

- la fréquence des ramassages (dépendant de celle des arrivages d'algues et des moyens alloués par la commune) est souvent élevée (de bimensuelle à quotidienne, pour les communes contactées),
- la nuisance olfactive contraint souvent les populations, quand elles le peuvent, à éviter ces zones.

Ainsi, au vu de ces résultats, la décomposition des algues vertes sur les plages ne semble pas engendrer de problèmes sanitaires pour les populations exposées. Cependant, compte tenu du contexte très médiatisé du phénomène et de sa probable " longévité ", nous pensons qu'il est préférable d'approfondir l'étude et ce afin de renseigner les données manquantes et d'aider à la prise de décision et à la gestion du problème.

II. Etat des lieux des données manquantes pour l'évaluation des risques

II. 1 Données manquantes

De nombreux travaux visant à réduire la prolifération d'algues vertes en amont ont déjà été réalisées (Cf. le programme « Prolittoral ») mais la problématique de la gestion des algues échouées sur les plages et les conséquences sanitaires sont, elles, peu abordées. Il semble donc nécessaire d'évaluer (" une fois pour toutes ") les effets de ces algues sur la santé et de répondre ainsi aux demandes de la population.

Pour poursuivre dans la démarche d'évaluation des risques, les données suivantes manquent :

- les mécanismes de dégradation des algues,
- la nature et la quantité des composés gazeux réellement émis au cours de ce processus sur les plages,
- les niveaux d'exposition des différentes populations.

II. 2 Propositions pour la poursuite d'études

➤ Réaliser une enquête sociologique

Afin de mieux appréhender l'impact des nuisances olfactive et visuelle ressenti par les riverains, les professionnels du ramassage et les associations environnementales, une enquête sur la perception de la gêne pourrait être menée.

➤ Etude sur les mécanismes de dégradation des algues vertes

Il nous paraît utile de connaître ces mécanismes pour continuer dans la démarche d'évaluation des risques liée aux produits de décomposition des algues.

➤ Campagne de mesure de l'air des plages

Pour confirmer ou infirmer les résultats de notre étude, des campagnes de mesure de l'air sur les plages sont souhaitables. En ce sens, une attention particulière devra être portée quant au plan d'échantillonnage: les prélèvements doivent –entre autres- tenir compte des populations exposées (à hauteur des enfants, des adultes, éloignement par rapport aux plages).

➤ Etude épidémiologique

Pour vérifier ou réfuter la corrélation entre les plaintes sanitaires et l'exposition aux algues vertes, nous avons réfléchi à la pertinence de réaliser une étude épidémiologique. En l'état actuel des connaissances, il ne semble pas opportun de réaliser une telle étude, et ce du fait :

- de l'absence d'indicateurs sanitaires pertinents pour identifier les dangers toxiques relatifs aux algues vertes,
- du faible taux d'incidence (voire l'absence de cas), ce qui rend l'étude épidémiologique sans fondements (problème de puissance statistique).

➤ Poursuite de la démarche d'évaluation des risques

Ce type d'étude est particulièrement bien adapté à notre problématique en raison de la faiblesse des taux d'incidence et des expositions.

➤ Etude de l'impact des marées vertes sur le bâti

A l'issue de cette étude, il semble que l'ammoniac issu de la décomposition des algues, pourrait être impliqué dans des dégradations sur les bâtiments en réagissant notamment sur le cuivre et le zinc. Afin de s'en assurer et d'estimer sa part contributive par rapport à celle de l'atmosphère marine, une étude pourrait être réalisée par les professionnels du bâtiment.

➤ Mise en place d'un registre des cas de gênes liés à l'exposition aux algues chez les professionnels du ramassage

Pour cerner qualitativement les symptômes ressentis par les travailleurs des plages, il serait intéressant qu'un système de traçabilité des cas soit conjointement mis en place par les agents des CRAM et des DDASS. Ce suivi, basé sur une autodéclaration des travailleurs, permettrait de recueillir les cas dus aux expositions aiguës et subaiguës.

III. Recommandations

➤ Pour la population

Dans l'état actuel des connaissances, il ne nous est pas possible de conclure de façon certaine à une absence de risque sanitaire lié à l'exposition des populations aux algues en dégradation.

Dans un souci de démarche de gestion de l'éventuel risque, nous nous sommes demandé si la problématique pouvait rentrer dans le cadre du principe de précaution. Celui-ci, rappelons-le, requiert trois conditions :

- ✓ Un manque d'information sur le sujet
- ✓ Un risque grave et irréversible pour les personnes exposées
- ✓ L'existence de signaux sanitaires qui n'excluent pas la présence de risques

La problématique sanitaire liée aux algues vertes répond uniquement à la première condition. On ne peut par conséquent parler de principe de précaution.

De plus, compte tenu des résultats obtenus, nous ne préconisons pas la mise en place de mesures particulières. En revanche, une fois des études complémentaires réalisées, des campagnes d'information devront être mises en place par les autorités sanitaires et les communes. En attendant, il convient néanmoins de gérer au mieux l'inquiétude légitime des populations.

➤ Pour les travailleurs

La recherche des dangers, destinée à l'évaluation des expositions, s'est orientée vers les professionnels du ramassage des algues sur les plages. En effet, ces derniers constituent de " bons indicateurs " sanitaires pour les expositions aiguës : ils sont exposés de manière brève (environ 2 heures par jour), fréquente (environ 2 jours par semaine) et a priori à des concentrations plus élevées que les riverains. C'est la raison pour laquelle il nous paraît intéressant de mettre en place une traçabilité des cas.

Nous ne préconisons pas, pour les travailleurs, de mesures particulières ; si ce n'est la tenue de protection minimale (gants, bottes,...) ceci pour une question de confort et pour prévenir les risques éventuels liés au ramassage d'autres déchets susceptibles d'être présents dans les tas d'algues, tels que les boulettes de fuel.

Le port d'un masque de protection peut être évoqué, mais celui-ci, compte tenu de ces limites d'utilisation, a plus pour vocation de limiter les nuisances olfactives et de rassurer les travailleurs que de prévenir d'éventuels risques.

➤ La problématique des marées vertes vue sous l'angle de la définition OMS de la santé

Jusqu'à présent, l'étude a porté exclusivement sur l'aspect toxicologique. A ce titre, la dégradation des algues vertes sur les plages bretonnes ne semble pas constituer un réel problème de santé. Cependant, ces conclusions **sont à nuancer** face à la définition de la santé donnée par l'OMS.

Pour l'OMS, la santé se définit comme « un état de complet bien-être physique, mental et social et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité ».

Par les gênes olfactives et visuelles qu'elles occasionnent, les marées vertes peuvent avoir des **répercussions** d'ordre social et psychique et donc affecter l'état de santé des populations exposées.

Les riverains des zones de putréfaction des algues nous ont rapporté avoir du mal à supporter, tous les ans et ce pendant plusieurs mois, les mauvaises odeurs et la vue de ces tapis verts recouvrant les plages. Ces nuisances les empêchent en effet, de profiter pleinement en saison estivale des activités de plein air (balades, jardinage,...), des usages offerts par le milieu marin (baignade, activités nautiques, pêche récréative,...), les contraignent à garder les fenêtres fermées,...

De plus, l'exposition à des odeurs incommodantes peut porter atteinte à l'humeur, provoquer une certaine anxiété, des troubles du sommeil, voire, dans des cas extrêmes, conduire à des dépressions.

Conclusion

Les marées vertes constituent un signal environnemental fort qui génère inquiétudes et interrogations de la part du grand public. Les autorités sanitaires s'y intéressent véritablement depuis peu, si bien qu'aucune étude portant sur les risques sanitaires liés à la décomposition des algues n'a été jusqu'à présent réalisée.

En effet, en l'absence d'études approfondies sur la décomposition des algues, il n'a pas été facile de constituer une liste de substances gazeuses spécifiques à la décomposition des algues vertes. De plus, la caractérisation des risques a été rendue difficile en raison du manque de données quant à la nature et les quantités de gaz émis.

Par conséquent, afin de répondre à une demande sociale, de rassurer les riverains et d'avoir des arguments pour répondre aux associations virulentes, il semble nécessaire de réaliser des études complémentaires comprenant notamment des campagnes de mesure d'air.

Ce travail, en raison de la méconnaissance rencontrée au niveau de l'exposition, ne permet pas de conclure clairement à l'absence de risque.

A l'issue de cette première étude, l'impact sanitaire lié la décomposition des algues semble cependant faible, et ce notamment en raison de la limitation des expositions du fait de ramassages fréquents.

En revanche, les nuisances occasionnées par la présence d'algues en décomposition sur les plages ont un impact non négligeable sur le cadre de vie et sur le bien être des populations riveraines. Des répercussions sur la santé existent au sens de la définition de l'OMS.

Annexes

Annexe 1 : Le programme Prolittoral	29
Annexe 2 : Retour d'expérience du compost fabriqué au CAT Quatre-Vaulx	30
Annexe 3 : Composition chimique de <i>Ulva</i> spp	32
Annexe 4 : Dégradation des déchets (parallèle avec les algues)	33
Annexe 5 : Synthèse des fiches toxicologiques pour l'H ₂ S	35
Annexe 6 : Synthèse des fiches toxicologiques pour l'ammoniac.....	37
Annexe 7 : Perception des odeurs.....	39
Annexe 8 : Contacts pris auprès des organismes universitaires et de recherche.....	42
Annexe 9 : Contacts pris auprès des services techniques des collectivités territoriales	48
Annexe 10 : Contacts pris auprès des administrations et des industriels.....	53

Annexe 1 : Le programme Prolittoral

➤ Présentation

Ce programme met en jeu divers acteurs institutionnels et privés pour repérer les zones sensibles aux marées vertes et met en œuvre des programmes financiers et techniques de réduction de la prolifération des algues à la source notamment en agissant sur les rejets en azote et en phosphore dans les milieux naturels. Parmi ces acteurs locaux, on peut citer le CEVA, l'IFREMER, les conseils régionaux et généraux, les collectivités...

➤ Le suivi des actions engagées par le programme « Prolittoral »

Rôle du CEVA dans les suivis des actions engagées

Depuis avril 2002, dans le cadre du programme «Prolittoral », la côte atlantique, depuis la baie du Mont-Saint-Michel jusqu'à La Baule, est photographiée par avion, à différentes époques de l'année et à marée basse. Cette couverture aérienne montre l'évolution des marées vertes, en fonction des programmes curatifs ou de prévention. Neuf bassins versants faisant l'objet de programmes préventifs sont suivis régulièrement. La dynamique du dépôt des algues est alors mise en évidence et les sites émergents sont identifiés pour alerter les collectivités territoriales concernées.

Des prélèvements d'algues sont aussi effectués sur une vingtaine de sites : ils servent d'indicateurs de la réduction des quantités d'azote présentes dans les milieux. En effet, selon Sylvain BALLU, animateur du programme « Prolittoral » et responsable du laboratoire de cartographie marine au CEVA, « s'il y a peu d'azote dans les algues, nous saurons qu'une baisse du taux d'azote, dans ce milieu, aura un impact sur la quantité d'algues vertes échouées. Ce ne sera pas le cas quand le niveau d'eutrophisation est très élevé».

De plus, les suivis par ortho-photos ont montré que lorsqu'un site de dépôt d'algues vertes démarre tard dans l'année, cela signifie que le stock d'algues hivernal immergé est réduit et que ces algues peuvent avoir été transportées par les courants, depuis un site voisin où le stock est important.

Rôle de l'IFREMER dans les suivis des actions engagées

Des plongées sous-marines réalisées par l'IFREMER complètent les observations aériennes et les prélèvements sur les plages, pour localiser les stocks infra-littoraux avec précision. Ces données sont incorporées dans une modélisation, mise au point avec le modèle «Mars 2D », pour simuler le comportement des algues sous l'action des courants. La modélisation révèle que certains sites ont une forte capacité à retenir les algues vertes et montre aussi que l'azote et les algues se dispersent en mer dans des contextes hydrodynamiques différents.

Annexe 2 : Retour d'expérience du compost fabriqué au CAT Quatre-Vaulx

1. Description de l'activité

Cette plate-forme fabrique du compost à partir d'algues et de déchets verts. L'activité sur pilote a démarré en 1980 et c'est en 1986 que la production semi-industrielle commença. Le compost ainsi produit est utilisé comme fertilisant agricole ou pour le jardinage des particuliers. Par la suite, des mélanges de bois, d'algues vertes et brunes, de lisier furent aussi compostés. Ces produits ont été soumis à des tests agronomiques avant leur commercialisation.

2. Caractéristiques du compost : résultats des analyses

Les essais de recherche sur le site ont montré les résultats suivants :

- La présence d'algue dans le mélange, soumis à des conditions d'humidité et d'aération spécifiques, accélère la dégradation de la cellulose et de la lignine contenues dans les déchets verts
- Plus de la moitié des produits obtenus ont des niveaux de matières organiques égaux ou légèrement supérieurs à ceux issus des lisiers
- Les rapports C/N sont inférieurs à 20, après 6 mois de compostage
- Le coefficient de transformation en humus est élevé (50% minimum)
- L'ajout d'algue empêcherai la production d'engrais organiques riche en matières organiques stables
- Les teneurs en calcium, magnésium, sulfures, cuivre, zinc et manganèse sont plus élevés que dans les engrais traditionnels, seul la teneur en bore est plus basse
- Les concentrations en pesticides et métaux lourds sont très faibles

3. Les utilisations possibles

Le compost de déchets verts enrichi avec des algues et/ou du fumier est tout à fait compétitif avec les engrais traditionnels et le compost urbain. Facile à étaler, il peut être appliqué juste avant la mise en culture, rendant les nutriments rapidement disponibles. Il doit être cependant mélangé à hauteur de 75% avec de la tourbe (par exemple) avant son application. Ainsi utilisé, le compost enrichi aux algues donne des résultats satisfaisants.

La comparaison avec d'autres fertilisants du commerce montre que ce compost possède une meilleure qualité organique due à l'utilisation de déchets organiques (20% d'algues, des déchets verts et des effluents des fermes) ainsi que des éléments caractéristiques tels que le magnésium et le soufre en plus grande quantité. Il en est de même pour les éléments traces (Mn, Cu, Zn, Mo et Fe).

Depuis sa création, le site est passé d'une production destinée aux petits utilisateurs (20 tonnes en 1986) à un export vers les super et hypermarchés de la région Bretagne et Loire Atlantique (avec 3000 tonnes produites en 1989).

4. Procédés de méthanisation

Une autre voie de bioconversion possible des algues est la méthanisation. Des études ont été réalisées notamment avec les *Laminaria digitata* et des Ulves en 1984 à Arzano en Bretagne et en Italie sur le site de la lagune de Venise. Les conclusions montrent que la méthanisation est meilleure lorsqu'on opère uniquement sur les lixiviats des algues plutôt que sur la totalité de l'échantillon. Ainsi, une expérience menée à Lannion dans les années 1980, mettant en jeu des lixiviats d'Ulves introduits dans un digesteur anaérobie, a conduit à des conclusions correctes pour l'abattement de la pollution et la production d'énergie au point de vue technique. Par contre, au niveau économique, les investissements et les contraintes d'exploitation ne semblaient pas, à l'époque, compétitifs par rapport à la bioconversion par compostage.

Annexe 3 : Composition chimique de *Ulva spp*

Les données suivantes sont des moyennes (par rapport à la matière sèche) calculées à partir de mesures réalisées sur des prélèvements entre juin et septembre.

Il faut noter que ces valeurs sont soumises à d'importantes variations du fait notamment de variations des conditions climatiques, des conditions de prélèvements, de l'état physiologique de l'algue,...

Caractéristiques	Moyennes de mesures de prélèvements
Matière organique %	69,8
Azote (Kjeldahl) %	2,78
Protéines %	13,62
Glucides %	47
Lipides %	2,74
Carbone %	31,64
ADF %	16,96
NDF %	26,14
Lignine %	1,31
Matières minérales %	30,2
Phosphore %	0,2
Calcium %	2,78
Magnésium %	2,24
Sodium %	2,3
Soufre	3,12
Fer mg/Kg	1027,2
Zinc mg/Kg	34,6
Manganèse mg/Kg	37,6
Cuivre mg/Kg	6,4
Iode mg/Kg	109,8
Cobalt mg/Kg	0,55
Sélénium mg/Kg	0,038
Nickel mg/Kg	19,52
Cadmium mg/Kg	0,16
Plomb mg/Kg	2,84
Mercure mg/Kg	0,25
Bore mg/Kg	15,94
Chrome mg/Kg	12,98
Molybdène mg/Kg	2,44
Arsenic mg/Kg	5,04

Tableau 4 : Composition de l'Ulve

(Source : Thèse de Xavier BRIAND)

Annexe 4 : Dégradation des déchets (parallèle avec les algues)

La matière organique présente un caractère spécifique qu'est la biodégradabilité. Sa dégradation peut se dérouler en aérobie ou en anaérobie. En fonction de la voie, les micro-organismes responsables de la dégradation sont différents et de nombreux paramètres varient.

I. La voie du compostage

La mise à disposition d'air par retournement de la matière ou par insufflation d'air induit une réaction de fermentation aérobie : c'est le principe du compostage. Dans ce cas, la flore bactérienne est spécifique et la dégradation se divise en deux phases principales :

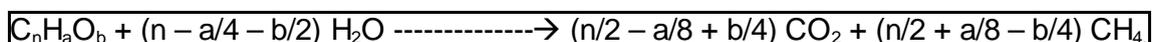
- La dégradation dominante : les bactéries dégradent les composés facilement biodégradables tels que les glucides, lipides et protéides. L'activité biologique engendre une montée de température jusque 70°C
- La maturation dominante : l'activité est réduite. Les champignons et les actinomycètes attaquent des polymères tels que la cellulose et la lignine. Ensuite, il y a durant la phase d'humification une compétition et une inhibition des organismes due à la réduction de matière à digérer.

Le produit issu de cette dégradation est un composé solide et stable proche des humus naturels que l'on appelle le compost. **Les émanations gazeuses sont moindres** et le produit solide n'a pas la même valeur agronomique que lors d'une dégradation anaérobie. Enfin, la réduction de volume et de poids est de 50 %.

II. La voie de la méthanisation : la digestion anaérobie

Après échouage en haut des plages, les algues commencent par sécher en surface. Il se forme ainsi une croûte d'algue en dessous de laquelle des conditions d'anaérobie et d'obscurité s'installent.

Sans apport d'air, artificiel ou non, la fermentation est anaérobie. Elle est le résultat d'une forte activité microbienne qui a pour effet une réduction considérable de la charge de matière organique allant jusque 70 % et est à l'origine de l'émission de biogaz : c'est le principe de la méthanisation. La réaction globale est la suivante :



Quelque soit le lieu, les étapes de fermentation anaérobie dont résulte le biogaz sont au nombre de quatre :

- L'hydrolyse : le déchet solide est liquéfié, les macromolécules organiques sont décomposées en éléments plus simples
- L'acidogénèse : les bactéries transforment les molécules simples en acides et alcools de faible poids moléculaire
- L'acétogénèse : les produits non transformés lors de l'étape précédente subissent une transformation avant de pouvoir produire du méthane
- La méthanogénèse : les bactéries méthanogènes réduisent les composés en méthane

Cette réaction naturelle peut être mise en évidence en remuant le fond d'un marais duquel s'échapperont des bulles de gaz. Le biogaz est un gaz combustible, mélange de méthane (CH_4) et de gaz carbonique (CO_2) de composition variable. Ce phénomène peut être optimisé en envoyant la fraction fermentescible dans un milieu confiné, le digesteur, afin d'accélérer la vitesse de dégradation.

Annexe 5 : Synthèse des fiches toxicologiques pour l'H₂S

1. Caractéristiques

➤ Sources d'émission

A l'échelle de la planète, les émissions naturelles de sulfure d'hydrogène sont plus grandes que celles produites par les activités humaines. Ces émissions sont dues à la dégradation anaérobie des matières organiques contenant du soufre dans les sols, les marais et les océans ainsi qu'à l'activité volcanique. D'autres sulfures sont aussi produits par les bactéries sulfato-réductrices au cours de la dégradation anaérobie des déchets, des algues, des dépôts naturels de matières organiques et du soufre contenu dans les fongicides, les pesticides et les fertilisants. Par ailleurs, de nombreuses activités industrielles peuvent dégager du sulfure d'hydrogène résultant de réactions chimiques sur des composés soufrés (cas des raffineries de pétrole, des usines de papier, des tanneries).

En dehors des utilisations de ce gaz à des fins industrielles (production d'eau lourde dans l'industrie nucléaire, utilisation en métallurgie pour l'élimination des impuretés), il existe de nombreuses circonstances au cours desquelles les travailleurs peuvent être exposés comme le captage du gaz naturel, le travail en égouts, le ramassage des algues sur les plages.

➤ Propriétés physiques et chimiques

A température ambiante et pression atmosphérique, le sulfure d'hydrogène est un gaz incolore, plus lourd que l'air, d'odeur caractéristique (« œuf pourri »). La sensation olfactive n'augmente pas avec la concentration du gaz dans l'air. Il peut même arriver que l'odeur décelable à de très faibles concentrations (0.02 à 0.1 ppm) s'atténue ou même disparaisse à forte concentration : une anesthésie de l'odorat est constatée au-dessus de 100 ppm. Ce composé est soluble dans certains solvants organiques et dans l'eau : les solutions obtenues sont faiblement acides (H₂SO₄).

Le sulfure d'hydrogène est un composé stable dans les conditions normales de températures et de pression. En l'absence de catalyseur, sa dissociation en hydrogène et en soufre intervient à des températures élevées. Il brûle dans l'air en donnant des fumées hautement toxiques d'oxydes de soufre. C'est un composé réducteur qui peut réagir dangereusement avec les agents oxydants : risque d'inflammation spontanée et d'explosion. Ces derniers aspects sont à prendre en compte lors de l'incinération des algues sur les plages lorsque les processus de dégradations ont débuté.

2. Toxicité sur l'homme

➤ Voies d'exposition chez l'homme

L'intoxication humaine a lieu essentiellement par voie respiratoire. Le sulfure d'hydrogène ne s'accumule pas dans l'organisme. Il n'est ni exhalé, ni éliminé sous forme inchangée dans les urines, mais rapidement oxydé et éliminé par voies intestinale et urinaire sous forme de thiosulfates, sulfites et sulfates. Pour la surveillance biologique, les

thiosulfates ont été proposés comme indicateurs d'exposition. Ils apparaissent dans l'urine après un temps de latence d'environ 17 heures. Malgré son manque de sensibilité, le dosage des ions sulfures dans le sang, effectué dans les 45 minutes après l'exposition, peut refléter la gravité d'une intoxication.

➤ Toxicité suraiguë et aiguë

Les effets observés sont essentiellement liés aux propriétés irritantes et anoxiantes de ce gaz. Aux concentrations supérieures à 1000 ppm, le décès survient de façon très rapide en quelques minutes.

A partir de 500 ppm, une rapide perte de connaissance est suivie d'un coma parfois convulsif, accompagné de troubles respiratoires (dyspnée et cyanose), d'un œdème pulmonaire, de troubles du rythme cardiaque (brady ou tachycardie, fibrillation) et de modifications sensorielles (hypotension le plus souvent). Si l'exposition n'est pas interrompue, la mort survient rapidement. Par contre, si le sujet peut être retiré de la zone polluée et correctement traitée, la récupération est le plus souvent rapide mais peut être marquée par une encéphalopathie réversible et des séquelles neuro-psychiques ou respiratoires (fibrose).

Des formes plus discrètes se caractérisent dès 100 ppm par une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires se traduisant par une conjonctivite, une rhinite, une dyspnée voire un œdème pulmonaire retardé. Ces manifestations peuvent s'accompagner de céphalées, de nausées et de pertes de connaissances brèves.

➤ Toxicité subaiguë et chronique

Les signes observés ne sont pas spécifiques et intéressent plusieurs organes en particulier :

- Le système nerveux : céphalée, fatigue, insomnie, perte de la libido, trouble de la mémoire, ataxie et mouvements choréo-athétosiques
- L'œil : quelques heures après le début d'une exposition à de faibles doses apparaissent une irritation oculaire avec sensation de brûlure, un inconfort et une photophobie. Dans quelques cas, un œdème cornéen peut survenir se traduisant par un halo autour des objets : ses signes régressent 24 à 72 heures après l'arrêt de l'exposition
- Le système digestif : l'atteinte est caractérisée par des nausées, une anorexie, des douleurs abdominales et éventuellement des diarrhées

L'exposition répétée au sulfure d'hydrogène peut être à l'origine de bronchites irritatives et d'une irritation cutanée qui entraîne souvent un érythème douloureux et prurigineux. Par ailleurs, chez les femmes exposées de façon chronique, le taux d'avortements spontanés serait un peu plus élevé que dans la population générale.

➤ Valeurs limites d'exposition

En France, le ministère du travail a fixé pour le sulfure d'hydrogène la valeur limite d'exposition (VLE) et la valeur limite de moyenne d'exposition (VME) indicatives qui peuvent être admises dans l'air des locaux de travail. Ces valeurs correspondent respectivement à 10 ppm soit 14 mg/m³ et 5 ppm soit 7 mg/m³.

Annexe 6 : Synthèse des fiches toxicologiques pour l'ammoniac

1. Caractéristiques

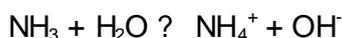
➤ Sources d'émission

L'ammoniac est un gaz incolore, alcalin dans des conditions de températures et de pression normales. Il présente une odeur piquante caractéristique. Il est issu, à l'état naturel, de la dégradation biologique des matières azotées (par exemple les acides aminés) présentes dans les déchets organiques ou le sol et joue un rôle essentiel dans le cycle de l'azote de la nature.

L'ammoniac est produit commercialement par une réaction de catalyse entre l'azote et l'hydrogène et par sa récupération au cours de la préparation du gaz de houille. Il est utilisé dans la fabrication des produits chimiques tels que les engrais, les explosifs, l'acide nitrique et les plastiques et dans les installations frigorifiques et les raffineries de pétrole.

➤ Propriétés physiques et chimiques

L'ammoniac est très soluble dans l'eau : on peut dissoudre approximativement 90 g d'ammoniac dans 100 mL d'eau distillée à 0°C. En solution, une partie de l'ammoniac entre en réaction d'équilibre avec l'eau selon l'équation bilan suivante :



La dissolution s'accompagne d'un dégagement de chaleur. Les solutions obtenues sont connues sous le nom d'ammoniacale.

A température ordinaire, l'ammoniac est un composé stable. Sa dissociation en hydrogène et en azote ne commence que vers 450-550°C. En présence de certains métaux comme le fer, le nickel, le zinc et l'uranium, cette décomposition commence dès 300°C et est presque complète vers 500-600°C. L'ammoniac brûle dans l'air au contact d'une flamme en donnant principalement de l'azote et de l'eau. De plus, l'ammoniac réagit vivement avec de nombreux oxydes et peroxydes ainsi que les halogènes. Des réactions explosives peuvent se produire avec l'aldéhyde acétique, l'acide hypochloreux, l'hexacyanoferrate de potassium.

➤ Dégradation des bâtiments

La plupart des métaux ne sont pas attaqués par l'ammoniac rigoureusement anhydre. Toutefois, en présence d'humidité, l'ammoniac, gazeux ou liquide, attaque rapidement le cuivre, le zinc et de nombreux alliages, particulièrement ceux qui contiennent du cuivre. Certaines catégories de plastiques, de caoutchoucs et de revêtements peuvent être attaqués par l'ammoniac liquide. Ces phénomènes peuvent éventuellement expliquer les dégradations constatées sur les bâtiments à proximité des plages où s'échouent les marées vertes, sachant toutefois que les milieux salins sont aussi la cause des phénomènes de corrosion.

2. Toxicité sur l'homme

➤ Toxicité aigue

a) Voie d'exposition digestive (faible intérêt quant à notre projet de ramassage d'algues)

L'ingestion d'une solution concentrée d'ammoniac est immédiatement suivie de douleurs buccales, rétrosternales et épigastriques. Les vomissements sont fréquents et sanglants. Les complications pouvant survenir dans les jours suivant l'ingestion sont :

- Des hémorragies digestives
- Des perforations oesophagiennes ou gastriques
- Une acidose métabolique intense et/ou une coagulation intra-vasculaire disséminée
- Une détresse respiratoire révélant un œdème laryngé

b) Voie d'exposition par inhalation et par contact

L'exposition à l'ammoniac provoque immédiatement une irritation des muqueuses oculaires et respiratoire. A concentrations élevées, on observe :

- Une irritation trachéobronchique : toux, dyspnée asthmatiforme. Le bronchospasme est parfois intense, responsable d'emblée d'une détresse respiratoire
- Une atteinte oculaire : larmoiement, hyperhémie conjonctivale, ulcérations conjonctivales et cornéennes, iritis, cataracte, glaucome
- Des brûlures chimiques cutanées au niveau des parties découvertes
- Des ulcérations et un œdème des muqueuses nasales, oropharyngée et laryngée

Les expositions cutanées et oculaires d'ammoniac sont responsables de lésions caustiques locales sévères, si une décontamination n'est pas rapidement réalisée. En cas de projection oculaire, les séquelles sont fréquentes.

➤ Toxicité chronique

L'exposition prolongée et répétées à l'ammoniac entraîne une tolérance : l'odeur et les effets irritants du gaz sont perçus à des concentrations plus élevées qu'initialement : le seuil de perception olfactif de l'ammoniac est très variable : quelques dixièmes de ppm à plus de 100 ppm.

Les effets de l'ammoniac sur la fonction respiratoire des travailleurs exposés au long cours ne semblent avoir fait l'objet que d'une étude : la population était de petite taille, exposée depuis en moyenne 16 ans à l'ammoniac et à de brutales variations de températures. Les seules anomalies constatées sont des diminutions (non significatives) de la capacité vitale.

➤ Valeurs limites d'exposition

En France, le ministère du travail a fixé pour l'ammoniac la valeur limite d'exposition et la valeur limite moyenne d'exposition indicatives qui peuvent être admises dans l'air des locaux de travail. Ces valeurs correspondent aux concentrations respectives de 50 ppm soit 36 mg/m³ et 25 ppm soit 18 mg/m³.

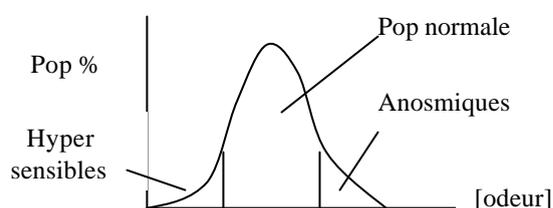
Annexe 7 : Perception des odeurs

I. Caractéristiques de l'exposition aux odeurs

➤ Perception des odeurs

Une source d'odeur est généralement composée de multiples produits odorants dont certains ont aussi un caractère irritant. Ces deux propriétés agissent simultanément sur la muqueuse olfactive. Les caractéristiques odorantes des différents produits composant l'odeur n'ont pas tendance à se combiner de façon réellement additive contrairement à l'effet irritant surtout lorsque sa concentration en substances est élevée.

Dans une population générale, la plupart des composés odorants sont perçus selon une distribution log-normale. Ainsi, 96% des personnes exposées étant considérées comme ayant une sensibilité normale, 2% étant qualifiées d'hypersensibles et 2% d'hyposensibles.



Le nombre important de plaintes émises par les riverains des plages bretonnes nous apparaît refléter un réel problème de santé publique et non la manifestation de quelques personnes hypersensibles.

➤ Processus de l'olfaction

Les molécules odorantes entrent en contact avec l'épithélium olfactif situé au sommet de la cavité nasale et stimulent chimiquement les multiples cellules réceptrices. Les influx électriques ainsi générés sont transmis par le nerf olfactif au système olfactif central situé dans le système limbique. Le nerf trijumeau véhicule la sensation d'irritation de la muqueuse du nez, du nasopharynx et de l'oropharynx et contribue aussi à évaluer la magnitude de l'odeur même pour les composés sans effet.

Dans la revue « Archives of environmental health », Dennis Shustermann de l'EPA mentionne que la plupart des symptômes rapportés sont aigus dans leurs manifestations, limités dans le temps et de nature subjective : ils sont donc difficiles à établir objectivement. Néanmoins, une forte corrélation a pu être établie entre les symptômes rapportés par les personnes exposées et l'exposition aux odeurs environnementales, même si les concentrations des contaminants responsables des odeurs étaient bien inférieures aux niveaux considérés comme toxiques. L'auteur conclut qu'en matière de problèmes de santé liés aux odeurs, les mécanismes physiopathologiques ne s'expliquent pas par l'approche toxicologique classique mais doivent être abordés comme des effets non toxicologiques de ces contaminants sur la santé.

Le tableau 5 en annexe rassemble une partie des mécanismes physiologiques qui peuvent expliquer les problèmes de santé dont se plaignent les personnes exposées à un ou plusieurs composés odorants à des concentrations sous-irritantes ou sous-toxiques. On remarque que la dégradation de l'environnement peut entraîner des somatisations dues au

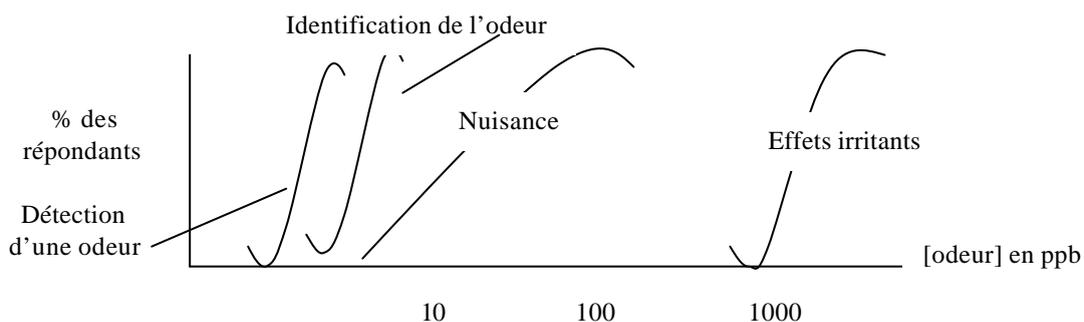
stress. Ainsi, les phénomènes de marées vertes, qui détériorent les paysages et nuisent aux activités touristiques et de pêche, peuvent porter atteinte à la santé des populations.

II. Effets sur la santé des odeurs environnementales

➤ Relation entre la perception des odeurs et la toxicité aiguë

On observe que divers produits peuvent provoquer des symptômes aigus liés à leur simple odeur même si les concentrations en cause ne constituent pas une exposition toxique proprement dite. Par exemple, le sulfure d'hydrogène et divers mercaptans possèdent un seuil olfactif beaucoup plus bas que les niveaux reconnus comme pouvant entraîner des symptômes par les mécanismes toxicologiques ou irritatifs classiques. Pourtant, ces gaz sont souvent associés à des manifestations symptomatiques se produisant à des niveaux qui dépassent de peu leur seuil olfactif, donc à des concentrations considérées comme non toxiques.

À titre d'exemple, la figure suivante représente la relation approximative entre les concentrations dans l'air et la proportion de personnes affectées à diverses intensités pour l'hydrogène sulfuré.



➤ Effets physiologiques liés aux odeurs

Un grand nombre d'effets de nature physiologique sont associés à l'exposition aux odeurs. Ces effets peuvent cependant être très variables d'un individu à l'autre et même varier dans le temps chez un même individu. Plusieurs recherches ont démontré que la réponse à un stimulus odorant est fortement influencée par la complexité de l'environnement qui caractérise une exposition donnée à un ou plusieurs produits, ceci incluant le contexte social et les caractéristiques psychologiques de l'individu. Les croyances ou les attentes en matière de sécurité en lien avec une odeur peuvent influencer de façon importante sa perception.

Les symptômes d'irritation des yeux et des muqueuses des voies respiratoires supérieures sont sans doute les plus fréquemment rapportés dans les problèmes reliés à la qualité de l'air. Ces manifestations sont particulièrement influencées par les facteurs cognitifs propres aux individus exposés.

➤ Effets psychologiques liés aux odeurs

L'exposition à des odeurs environnementales désagréables provenant de divers types d'activités, peut aussi avoir des effets variés de nature psychologique sur les personnes exposées. Ces effets se manifestent par des atteintes de l'humeur, de l'anxiété,

diverses réactions émotives, des troubles du sommeil, et l'altération de plusieurs types de performances intellectuelles dont les capacités d'apprentissage. Le stress engendré par une exposition fréquente à des odeurs désagréables peut, par la suite, entraîner d'autres types de problèmes de santé, par exemple une augmentation de la tension artérielle.

On rapporte aussi que des sentiments de contrariété et des réactions dépressives peuvent être la conséquence de l'exposition à des odeurs désagréables et entraîner des nausées, des vomissements, des céphalées, des troubles respiratoires (respiration superficielle, toux), des troubles du sommeil et la perte de l'appétit. Par ailleurs, des auteurs émettent aussi l'hypothèse que des réactions de stress engendrées par l'exposition à des odeurs environnementales pourraient entraîner des problèmes de santé généralement reconnus comme consécutifs à un état de stress chronique comme la maladie coronarienne, l'ulcère peptique et l'hypertension artérielle chronique.

Ces études nous démontrent donc que les citoyens qui résident à proximité d'activités industrielles, agricoles ou urbaines qui émettent des odeurs incommodantes peuvent subir de réels préjudices à leur santé. Dans le cas des riverains des plages bretonnes et des travailleurs, en l'absence d'études réalisées auprès des personnes exposées, nous ne pouvons pas préciser l'ampleur du problème.

Aversion innée aux odeurs	Les facteurs individuels influencent grandement les réactions aux odeurs perçues. Cependant, plusieurs substances odorantes sont considérées par la plupart des gens comme plaisantes ou déplaisantes et provoquent des réactions réflexes
Effet de type phéromonal	Si le phénomène entre humains a été démontré, un tel effet en lien avec d'autres types d'odeurs environnementales reste à démontrer
Exacerbations de conditions médicales préexistantes	Les principales conditions médicales impliquées dans ce mécanisme sont l'asthme, la bronchite, la grossesse, certains troubles psychosomatiques et des dysfonctions olfactives
Intolérances acquises aux odeurs	Ce type de réactions résulte le plus souvent d'une expérience antérieure d'exposition aiguë symptomatique. Cette sensibilisation conditionnée aux composés odorants est surtout rapportée en milieu de travail. Elle pourrait aussi se manifester plus subtilement dans un contexte d'odeurs environnementales lorsque des populations sont exposées de façon fréquente à des odeurs désagréables.
Somatisations dues au stress environnemental	Il s'agit d'un état de stress lié au sentiment d'altération de l'environnement par les odeurs, auquel s'associent des sentiments de perte de jouissance des lieux et de perte de valeur de la propriété
Nature intermittente du stimulus	La réaction relève du sentiment d'absence de contrôle sur un stimulus transitoire récidivant et non désiré.
Réponse du système immunitaire aux odeurs déplaisantes	Plusieurs études ont mis en évidence des liens directs entre les centres olfactifs du cerveau et les tissus lymphoïdes. Par ce mécanisme, les odeurs agiraient sur le système immunitaire par un effet d'immunosuppression. des auteurs ont aussi démontré que l'altération de l'humeur pouvait avoir une influence négative sur le système immunitaire.
Effet physique direct	Les molécules de certaines substances odorantes agissent directement sur la muqueuse nasale et respiratoire. Une telle stimulation de la muqueuse nasale de façon expérimentale chez l'animal peut provoquer une augmentation de la sécrétion d'adrénaline. Ce type d'effet chez l'humain serait-il à même de contribuer à faire naître des sentiments d'anxiété et de colère ?

Tableau 5 : Principaux mécanismes des symptômes liés aux odeurs environnementales

Annexe 8 : Contacts pris auprès des organismes universitaires et de recherche

Etablissement contacté	Personne contactée	Résultats
<p align="center">Société Bi-Eau 15 r Lainé Laroche 49000 ANGERS Tél : 02 41 88 52 88 fax : 02 41 86 86 44</p>	<p align="center">Maria LEITAO</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ils travaillent plutôt sur les cyanobactéries, ➤ Elle ne pense pas qu'il y ait plus d'effet sanitaire que n'importe quel végétal en dégradation ➤ Les mauvaises odeurs n'impliquent pas des effets sanitaires (les stations d'épuration, le fumier dégagent de mauvaises odeurs sans que les gens cherchent des effets sanitaires) ➤ De plus, les algues vertes contiennent une très grande part d'eau et très peu de matière sèche
<p align="center">Secma Biotechnologies Marines (SECMABIO) BP 65 22260 Pontrieux Tél : 33 2 96 95 31 32 Fax : 33 2 96 95 31 30 secmabio@secmabio.com</p>	<p align="center">Xavier BRIAND xbriand@secmabio.com</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ X. BRIAND, recommandé par P. MORAND, a réalisé une thèse pour le CEVA sur ➤ Injoignable plusieurs fois par téléphone, un mail a été envoyé mais il est resté sans réponse
<p align="center">CEVA Presqu'île de Pen Lan - BP 3 - L'Armor-Pleubian 22610 PLE UBIAN Tél. : 02 96 22 93 50 Fax : 02 96 22 84 38 E-mail : algue@ceva.fr</p>	<p align="center">Patrick DION et Sylvain BALLU sylvain.ballu@ceva.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Des soupçons existent mais sans preuve, il existe peu de données ➤ Des mauvaises odeurs sont constatées (présence de gaz : H₂S ? Ammoniac ?...) ➤ On rapporte sans vérification des malaises de personnes, des dégradations dans les habitats à proximité (oxydation de l'étain,...) ➤ Disposent d'analyses sur la composition des algues ramassées sur les Côtes-d'Armor ➤ Ils nous ont envoyé des analyses sur la composition des ulves, ainsi qu'un bulletin de l'Observatoire Départemental de l'Environnement sur les Marées vertes ➤ Les algues possèdent des substances osmoprotectrices. Une hypothèse est que l'ombre des algues profite peut-être au développement de bactéries. ➤ Sont à notre disposition pour infos, rencontres...

<p>CEVA</p>	<p>Yves LELONG Technicien Yves.lelong@ceva.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ l'été dernier (juillet-août 2003, pendant la canicule), il a eu à manipuler des ulves de marées vertes restées longtemps au soleil (lavage dans l'eau de mer pour retirer le sable) ➤ il ne portait pas de masque, et les odeurs refoulées étaient fortes aussi pour éviter l'étourdissement, le malaise, les nausées... il est parti s'aérer un peu ➤ il connaissait le problème (a travaillé en labo sur les molécules soufrées) et les effets possibles ➤ l'odeur est assez indescriptible et vraiment caractéristique des algues en décomposition : cela ne sent pas vraiment l'odeur d'œuf pourri, peut-être plus une forte odeur de chou ➤ selon lui, il n'y a pas forcément de problème de santé. Dans son cas, ce fût la conjoncture de plusieurs facteurs : des algues restées longtemps à pourrir dans un endroit clos, la chaleur et quand il manipulait il avait « le nez dessus » ➤ il pense qu'il ne faut pas forcément beaucoup de matière pour que cela sente ; souvent l'odeur est supportable du fait de l'aération ➤ la sensibilité n'est pas la même suivant l'individu
<p>Centre Antipoison et de Toxicovigilance de RENNES Hôpital Pontchaillou 2, rue Henri le Guilloux 35043 Rennes Cedex 09 Tél : 02 99 59 22 22 Fax : 02 99 28 42 30 centre.antipoison@chu-rennes.fr</p>	<p>Alain BAERT 02 99 28 42 22 alain.baert@chu-rennes.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cf. le compte-rendu de la rencontre du 2 avril 2004
<p>Conseil Général des Côtes d'Armor 9 r Parc 22000 SAINT BRIEUC Tél : 02 96 62 62 22</p>	<p>Françoise LIDOU</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pas de réponse
<p>CNRS Montpellier</p>	<p>Marie Luce CASABIANCA mlc@univ-montp2.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pas de risques sanitaires a priori dus à la dégradation des Ulves: c'est de la matière organique dégradée qui est restituée à la mort de l'Ulve et au plus quelques pauvres métaux qu'elle a bien pu absorber, mais si peu en Bretagne ➤ Contacter Philippe MORAND (CNRS Rennes I)

<p>CNRS Brest</p>	<p>Morgane MAGUET Morgane.Maquer@univ-brest.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contacter Patrick DION du CEVA au CEVA Presqu'île de Pen Lan - BP 3 - L'Armor-Pleubian 22610 PLEUBIAN Tél. : 02 96 22 93 50
<p>UMR CNRS 6539 - LEMAR Institut Universitaire Européen de la Mer Technopôle Brest-Iroise Place Nicolas Copernic 29280 PLOUZANE</p>	<p>Christian Jeanthon</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ contacter Monsieur Guy LEVAVASSEUR à la Station Biologique de Roscoff (http://www.sb-roscoff.fr) qui pourra vous donner les renseignements que vous souhaitez.
<p>CNRS Rennes I UMR 6553 Station biologique de Paimpont Tél.: 02.99.61.81.77, Fax : 02.99.61.81.87</p>	<p>Philippe MORAND Chargé de recherche philippe.morand@univ-rennes1.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Personne ressource : réunion à Beaulieu le 11/03/04 ➤ A travaillé sur les Ulves et est en relation avec le CEVA ➤ Echange de documentation (thèse, publications....) sur les causes des marées vertes, le devenir des algues mais pas sur les effets sanitaires ➤ Accepte volontiers de travailler en partenariat avec la DDASS et la CIRE pour un projet à long terme
<p>UPMC - CNRS/SDV – INSU Station Biologique BP 74 29682 Roscoff cedex http://www.sb-roscoff.fr Tel : 02 98 29 23 05 Fax : 02 98 29 23 80</p>	<p>Prof. Bernard KLOAREG Directeur de la Station Biologique de Roscoff kloareg@sb-roscoff.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Contacter le CEVA
<p>CRAM de Bretagne Services Administratifs 236 r Châteaugiron 35000 RENNES Tél : 02 99 26 74 74 fax : 02 99 26 74 98</p>	<p>Alain BRAULT Alain.brault@cram-bretagne.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Il existe des informations sur les problèmes de santé liés aux algues mais pas pour ces algues ➤ La seule réglementation pouvant exister dans ce cas est lié à l'utilisation des engins d ramassage ➤ On ne connaît pas la toxicité des algues vertes ➤ Peut-être qu'existent des composés soufrés à la dégradation de ces algues, mais étant en plein air, existe-t-il un risque ? ➤ Contacter des industries utilisant ces algues, l'INRA, l'ANVAR ? ➤ + échanges d'emails ➤ (nouvel appel téléphonique) il y a vraisemblablement un risque à H₂S, mais il ne concerne que les professionnels qui lors des ramassages déplacent des poches d'algues à l'intérieur desquelles des fermentations peuvent avoir lieu. Pour la population avoisinante, les promeneurs,... la plage est ventilée et a priori, ils ne déplacent pas des tas d'algues, donc le risque est très faible ➤ il y a peut-être un risque lié aux métaux lourds : d'après les compositions des ulves, on peut trouver du mercure, du plomb, du cadmium... Leur

		<p>dangerosité dépend des voies d'exposition, populations exposées, des teneurs...</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ ces métaux proviennent sans doute d'industries, d'élevages et sont charriés ➤ Ces métaux lourds sont-ils contenus dans la matière végétale ou dans l'eau emprisonnée par l'ulve ?
CRAM de Bretagne	Gérard PETEGNIEFF gerard.petegnieff@cram-bretagne.fr	<ul style="list-style-type: none"> ➤ il a entendu parler d'un malaise il y a quelques années et concernant une personne ramassant des algues ➤ mais le problème est qu'à la CRAM ce genre d'incidents/accidents ne peut être détecté car cela passe dans la masse des accidents professionnels enregistrés dans leur service ➤ ils ne sont au courant que via la presse...
Centre de Recherches en Urbanisme, Aménagement Régional et Administration Publique FACULTE DE DROIT ET DES SCIENCES POLITIQUES CHEMIN DE LA CENSIVE DU TERTRE B.P. 81 307 44 313 NANTES Cedex 3 Téléphone : (33) 02 40 14 16 04 Fax : (33) 02 40 14 16 44	cruarap@droit.univ-nantes.fr	<ul style="list-style-type: none"> ➤ pas de réponse par email
Direction Départementale de L'Agriculture et de la Forêt (DDAF) 1 r Parc 22000 SAINT BRIEUC Tél : 02 96 62 47 00	Florence ALLEHAUX florence.allehaux@agriculture.gouv.fr et Bernard DIDIER Service « pollutions diffuses » bernard.didier@agriculture.gouv.fr	<ul style="list-style-type: none"> ➤ pas joignable par téléphone (congé) et pas de réponse au mail
F.A.P.E.N. Fédération des Associations de Protection de l'Environnement et de la Nature 23 rue des promenades 22000 SAINT BRIEUC Tél : 02 96 62 06 40		<ul style="list-style-type: none"> ➤ ils s'occupent de la coordination des associations environnementales ➤ contacter directement les associations pour avoir des infos (« halte aux marées vertes », « eau et rivière de Bretagne », « Vivarmor »,...)
Halte aux marées vertes 12, rue de Fonteneau 22120 HILLION	Sylvain Lelièvre < lelievre.sylvain@tiscali.fr	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Echange de mails ➤ pas de renseignements sur les effets sanitaires liés à la dégradation des algues vertes ➤ il n'y a pas à leur connaissance d'étude réalisée là dessus

<p>halte-aux-marees-vertes@wanadoo.fr http://www.halteauxmareesvertes.org</p>		<ul style="list-style-type: none"> ➤ « Si de votre côté vous apprenez quelque chose merci de nous en informer !... »
<p>Eaux et rivières de Bretagne délégation générale Venelle de la Caserne 22200 Guingamp Tél. 02.96.21.38.77 Fax 02.96.21.14.70 erb.dg@wanadoo.fr</p>		<ul style="list-style-type: none"> ➤ pas de réponse aux mails
<p>GOEMAR La Madeleine 35400 St Malo . France Tel : 02.99.21.53.70 . Fax : 02.99.82.56.17 http://www.goemar.com</p>		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Les algues utilisées sont destinées à la parapharmacie ➤ Il ne s'agit pas d'algues vertes, mais de laminaires, provenant du Finistère ➤ Ils ne travaillent pas sur la dégradation des algues qui arrivent fraîches et sont aussitôt broyées,... ➤ Contacter le CNRS de Roscoff
<p>INRA BP 511 75 av. de Corzent 74200 Thonon les Bains CEDEX Tel: 04 50 26 78 18 Fax: 04 50 26 07 60</p>	<p>Guy BARROIN Barroin@thonon.inra.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La dégradation des algues peut être assimilée à la pollution organique classique directement (support organique à toute prolifération bactériologique, éventuellement pathogène) et indirectement (désoxygénation favorable aux processus chimiques réducteurs produisant des substances éventuellement toxiques (sulfures...) et aux formes de vie anaérobie éventuellement pathogènes ➤ Contacter le CEVA
<p>INRA Rue de la Géraudière – B.P. 71627 - 44316 NANTES CEDEX 03 Tél. 02 40 67 50 00 - Télécopie 02 40 67 50 05</p>	<p>Marc LAHAYE lahaye@nantes.inra.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ses recherches portent sur les résidus provenant de la liquéfaction des algues par divers systèmes enzymatiques (bactériens,...). Il étudie les effets environnementaux mais pas les effets nocifs. ➤ Il n'a aucune idée des impacts sanitaires ➤ Il conseille de contacter le CEVA
<p>Préfecture des Côtes-d'Armor 11 pl Gén de Gaulle 22000 SAINT BRIEUC Tél : 0 821 80 30 22</p>	<p>Mme GAUTHIER Service Environnement</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La préfecture a reçu des plaintes des associations (pas de riverains, particuliers) à sa connaissance ➤ Les associations ayant porté plainte contre l'Etat au tribunal administratif, ils ne peuvent se prononcer pour le moment sur ce sujet

		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Il faut attendre que le tribunal prenne une décision, ce qui risque de prendre du temps ➤ Contacter les associations : Halte aux marées vertes », la FAPEN
<p>SKW Biosystem SAS BP 13 29 870 Lannilis Tél : 04 00 27</p>		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ils extraient de l'alginate à partir d'algues brunes (bretonnes, normandes et d'importation) ➤ C'est un épaississant utilisé en industrie agro-alimentaire et pharmacie ➤ Les algues sont traitées immédiatement ou presque après réception, ne sont jamais stockées plus de 2 jours (sinon perte de viscosité, or c'est ce qu'ils recherchent !)
<p>Université de Jussieu</p>	<p>Geneviève BRANDEIS brandeis@ipgp.jussieu.fr</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pas de réponse

Annexe 9 : Contacts pris auprès des services techniques des collectivités territoriales

Etablissement contacté	Personne contactée	Résultats
<p>Services techniques de la ville de Binic Tél : 02 96 73 69 28 Fax : 02 96 73 36 48 ville.binic@wanadoo.fr</p>	<p>M. ROBERT directeur des services techniques</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ramassage des algues de mai à septembre après chaque échouage à marée basse (pas de décomposition sur site) ➤ Environ 2500m³ par an d'algues ramassées (ne pas confondre avec la quantité totale d'algues) ➤ Pas de contact direct avec les algues puisque le ramassage se fait par tractopelle et remorque ➤ Destination : plateforme de compostage de Launay Lantic pour du compost à destination agricole (¼ déchets verts, ¼ OM recyclables et ½ algues) ➤ Tenue de travail : bottes et gants ➤ Pas d'effets sanitaires particuliers chez les professionnels du ramassage
<p>Ville de St-Brieuc Direction Hygiène et Environnement urbain Tél. 02 96 62 54 00 Fax 02 96 61 34 28</p>	<p>M. ISRI 02 96 62 56 84</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Jusqu'à présent une entreprise privée (M. Bernard LANDIN, 02 96 42 41 63) s'occupe de la collecte et du ramassage des algues échouées ➤ Les algues ramassées sont épandues sur des terres agricoles ➤ Pas connaissance de problèmes de santé liés aux algues
<p>Entreprise Bernard LANDIN Ramassage des algues vertes sur la commune de St-Brieuc</p>	<p>Mme Bernard LANDIN 02 96 42 41 63</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ L'entreprise a effectué l'an dernier seulement, le ramassage des algues vertes sur la commune de St-Brieuc ➤ Celui-ci nécessite en général 1 h de travail par semaine, 2 fois par semaine et ce pendant 2 mois ➤ Pas connaissance de problèmes de santé chez les professionnels ni les riverains, baigneurs... ➤ Les ouvriers n'ont aucun contact cutané avec les algues : tout est effectué mécaniquement (tractopelle, remorque...) ➤ Ils ne portent pas de masque quoi qu'il y ait parfois de mauvaises odeurs mais celles-ci sont tout à fait supportables ➤ Les ouvriers rapportent parfois la présence de touristes sur ces plages : « ils ne doivent pas être gênés »
<p>Ville d'Etables sur mer 1, place Jean Heurtel Tél. : 02 96 70 64 18 Fax : 02 96 70 70 13 mairie.etablesurmer@wanadoo.fr</p>	<p>Le directeur des services techniques Jean-Pierre BRUNE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ramassage lorsque la quantité d'algues échouées le permet ➤ Pas de contact direct avec les algues puisque le ramassage est mécanique : utilisation de tractopelle, balayeuse à sable et remorque ➤ Destination : plateforme de compostage de Launay Lantic pour du compost à destination agricole (¼ déchets verts, ¼ OM recyclables et ½ algues) ➤ Tenue de travail : bottes et gants ➤ Pas d'effets sanitaires particuliers chez les professionnels du ramassage

<p>CC sud Göelo 22 rue Pasteur Tél. : 02 96 70 65 59 Fax : 02 96 70 74 10 communaute.sud.goelo@wanadoo.fr</p>		
<p>Ville de Lannion Services Techniques Municipaux BP 244 21, rue Jean Savidan Tél. : 02 96 46 78 20 Fax. : 02 96 46 43 64</p>	<p>Patrick LECORPS Responsable Voirie 06 12 42 94 11</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ramassage en fonction des arrivages (si il y en a tous les jours, ils ramassent tous les jours) ➤ En moyenne, ils ramassent 80 m³ d'algues par jour sur 500 m de plage ➤ Ils portent des gants mais n'ont pour ainsi dire pas de contact direct avec les algues (fourche, tractopelle, camion) ➤ Tout part pour être épandu (avec le sable), aucun stockage ➤ La présence de mauvaises odeurs dépend de l'épaisseur d'algues présentes ➤ Il ne pense pas qu'existe de problèmes sur la santé et n'a pas entendu parler de quelconque effet (chez les ouvriers, riverains...)
<p>Ville de PENVENAN Service Environnement & Espaces Naturels MAIRIE 10, Place de l'église 22710 PENVENAN Tél : 02 96 92 89 95</p>	<p>Guillaume BRECCQ Agent de Valorisation du Patrimoine Naturel et de l'Environnement</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Commune épargnée par les marées vertes : pas de ramassage. Cependant, des dépôts d'Ulves sont observés depuis 3 ans de façon ponctuelle et diffuse (problème sur une baie appartenant à la commune)
<p>Ville de Pleumeur-Bodou Tél. : 02.96.23.93.63</p>	<p>Le directeur des services techniques</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ramassage environ 2 fois par mois entre juillet et août et parfois à partir de mai. Les quantités ramassées sont variables entre les arrivages et le type de plage concernée. ➤ Type d'algues : les Ulves (20%) et les algues brunes (80%) ➤ Ramassage mécanique par tractopelle et camions par 5 à 6 personnes de la commune ➤ Vêtements de travail : bottes et bleu. Pas de gants puisque le ramassage est mécanique. ➤ 2 sites touchés principalement : l'île grande (ex : 16 mai 2003 3 tonnes d'algues vertes et brunes, 6 juin 2003 2.5 tonnes) et Lanbreneec (ex : juin 2003 5 tonnes d'algues brunes, rouges et vertes, juillet 2003 8.5 tonnes dont 20% d'Ulves et 80% d'algues brunes). Le détail des tonnages est disponible auprès du CEVA ➤ Les algues ramassées sont stockées sur une prairie et servent de fertilisant après broyage, étalage, séchage et enfouissement (pas de mélange avec des déchets verts ou des OM : uniquement des algues) ➤ Pas de gênes sanitaires constatées auprès des travailleurs
<p>Ville de Paimpol</p>	<p>M. ALLAINMAT</p>	<p>Ils travaillent l'été au nettoyage des plages et ce sur les 4 plages de la commune (environ 2 fois</p>

<p>Rue Pierre Feutren 22500 PAIMPOL Tél : 02.96.55.31.70</p>	<p>Service technique 02 96 55 30 50</p>	<p>par mois, de début juin à fin août) : les quantités ramassées ne sont pas très importantes</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ La prolifération s'observe surtout sur la plage de Lédano (seule plage « naturelle », pas d'apport de sable) ➤ Ils n'ont aucune protection, ni de contact cutané direct avec les algues (tractopelle, camion...) ➤ Il y a de mauvaises odeurs surtout lorsque les algues sèchent (ce fût le cas avec la canicule l'été dernier) ➤ Ils n'ont pas constaté de problème de santé, ni de plaintes de riverains (mais il y a peu d'habitations) ➤ Les algues sont mises en déchetterie, puis incinérées ; cela pose des problèmes de stockage ➤ Ils n'ont pas subi de formations sur ce travail
<p>Ville de St-Michel-en-Grève</p> <p>rue Côte des Bruyères 22300 SAINT MICHEL EN GREVE</p> <p>Tél : 02 96 35 74 41</p>	<p>Secrétaire de mairie</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La commune étant petite (400 habitants), une entreprise privée d'épandage agricole est chargée du ramassage (difficiles lorsque les algues se déposent sur les cailloux) : Gilles EFFLAM (4 RUE EGLISE - 22310 TREMEL - 02 96 35 12 94) ➤ Généralement, les algues sont au milieu de la Baie (en moyenne, il y a 20-30 cm d'algues sur 4 Km), mais du fait des vents, des courants, elles échouent sur les plages (celle de St-Michel fait 1,4 Km) ➤ Officiellement, il n'y a pas de problèmes de santé ; on raconte qu'un joggeur serait mort il y a quelques années, mais sans que l'on sache si c'était du aux algues ou à une autre cause ➤ L'odeur dégagée est parfois terrible : en mai 2003, il y avait 80 cm d'algues tous les jours, soit 3500 tonnes en 2 semaines ➤ La secrétaire n'habite pas St-Michel, mais l'été dernier, les odeurs étaient vraiment fortes : 1h après son arrivée au bureau, elle ne se sentait pas bien (maux de tête, nausées...), et cela disparaissait quand elle rentrait chez elle ➤ Elle connaît une personne de la commune habitant à proximité de la plage qui fait des dépressions : cela n'est peut-être pas dû aux algues, mais cela doit jouer d'avoir ces mauvaises odeurs en permanence, de ne pas pouvoir rester dehors, faire son jardin, ouvrir ses fenêtres,... Elle n'a rien entendu dire concernant des dégradations sur l'habitat ; l'air marin peut également être en cause (faut voir l'état des cloches de l'église...) ➤ En affichant les résultats microbiologiques sur la qualité des algues, elle remarque qu'il peut y avoir d'un jour sur l'autre de grandes variations (15 coliformes un jour, 14 000 le lendemain) ➤ Les rivières se déversant en mer sont polluées par les lisiers de porc des élevages avoisinants ➤ Contacter l'association « Sauvegarde du Trégor », (Yves-Marie Le Lay) qui suit le problème et a fait des analyses (notamment sur les bactéries,...)
<p>Entreprise Gilles EFFLAM Ramassage des algues vertes sur la commune de St-Michel-en-Grève 02 96 35 12 94</p>	<p>M. Gilles EFFLAM 06 71 70 73 40</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ L'entreprise s'occupe depuis 3 ans du ramassage et 5 ans de l'épandage (avant c'était l'entreprise de Jean-René Le Houérou, entreprise de travaux publics) ➤ 4-5 personnes travaillent dans l'entreprise, mais pour des raisons de « sécurité », c'est toujours lui, le patron, qui s'occupe du ramassage des algues (les employés assurent, eux, le transport...) ➤ le ramassage se fait sur la commune de St-Michel et les plages accolées, soit 5 Km de plages, il est réalisé tous les jours de début-mai à fin-septembre

		<ul style="list-style-type: none"> ➤ en moyenne 24 000 tonnes d'algues ont été ramassées en 2002, pareil en 2003. Environ, 6 000 tonnes sont stockées et le reste est épandu. ➤ Il n'a jamais eu de problèmes de santé (malaises, problèmes cutanés...); seule remarque : parfois de mauvaises odeurs ➤ il n'y a de problème de mauvaises odeurs qu'aux endroits plus difficiles d'accès (rochers...) où le ramassage est moins fréquent (et fait secondairement, après les plages, toutes les semaines en moyenne) (il ne met de masque qu'au niveau de la rivière Le Roscoat) ➤ il ne porte pas de protection particulière sinon : il n'y a pas de contact direct avec les algues (gants non nécessaires alors) ; tout est fait mécaniquement. ➤ Contacter la communauté d'agglomération de Lannion : 02 96 05 09 23
Ville de Perros-Guirec Municipalité - Direction générale des services Tel : 02 96 49 02 40 dgs@perros-guirec.com	Mme BENETTO 02 96 91 05 24	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informations sur les tonnages et équipements de protection individuels des professionnels du ramassage des algues
Ville Saint-Quay-Portrieux info@saintquayportrieux.com		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informations sur les tonnages et équipements de protection individuels des professionnels du ramassage des algues
Ville de Ploubazlanec Mairie 22620 PLOUBAZLANEC Tél. 02.96.55.80.36 Fax : 02.96.55.72.35	Le directeur des services techniques Jacquy GOUAULT	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informations sur les tonnages et équipements de protection individuels des professionnels du ramassage des algues
ÎLE-DE-BREHAT SYNDICAT D'INITIATIVE Tél. 02.96.20.04.15		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informations sur les tonnages et équipements de protection individuels des professionnels du ramassage des algues
PLEUBIAN-LEZARDRIEUX Syndicat d'initiative Tél. 02.96.22.84.85		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informations sur les tonnages et équipements de protection individuels des professionnels du ramassage des algues
Ville de TREVOU-TRESTEL Place du 19 Mars 1962 Tél. : 02 96 23 71 92		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informations sur les tonnages et équipements de protection individuels des professionnels du ramassage des algues
Ville de Trégastel		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Informations sur les tonnages et équipements de protection individuels des professionnels du

Route de Poul Palud Tél : 02-96-15-38-00		ramassage des algues
Ville de Trébeurden Tél : 02 96 15 44 00		➤ Informations sur les tonnages et équipements de protection individuels des professionnels du ramassage des algues
Ville de Trédrez-Locquemeau Mairie 22300 Trédrez-Locquemeau Tél. 02.96.35.74.52		➤ Informations sur les tonnages et équipements de protection individuels des professionnels du ramassage des algues
Ville de Saint Michel en grève Syndicat d'initiative Tél : 02.96.35.74.87		➤ Informations sur les tonnages et équipements de protection individuels des professionnels du ramassage des algues ➤ Plaintes olfactives des riverains

Annexe 10 : Contacts pris auprès des administrations et des industriels

Etablissement contacté	Personne contactée	Résultats
MEDD	ministere@environnement.gouv.fr	➤ Pas de réponse
Conservatoire du littoral	bretagne@conservatoire-du-littoral.fr et direction.rochefort@conservatoire-du-littoral.fr	➤ Pas de réponse
Conseil régional de Bretagne	Service Prolittoral	➤ Echange de documentation sur le programme « Prolittoral »
Ecosite de Mèze	ecosite@ecosites.org	➤ Pas de réponse
AQUAMER Ecosite de Mèze	AQUAMER phbriere@mnet.fr	➤ Pas de réponse
AQUASEM Parc Scientifique et Environnemental BP 118 34140 Mèze – France Tel : 04 67 43 56 51 Fax : 04 67 43 85 47	aquasem@worldonline.fr	➤ Pas de réponse
Algue service ZA de Bloscon F29680 Roscoff Tél : 02 98 19 33 41	contact@algue-service.com	➤ Utilisation des laitues de mer en cuisine : Crue et émincée, elle accompagnera les salades et les crudités. Hachée, elle agrémentera les sauces, les potages ou les vinaigrettes. S'utilise aussi comme papillote. ➤ Riche en minéraux : calcium (20% de l'AQR*), fer (10%), magnésium (100%). vitamines A et C.

<p>Fax : 02 98 19 33 46 http://www.algue-service.com/fr/tableau.htm</p>		
<p>CENTRE DES QUATRE VAULX (commune de Saint Cast le Guildo) 02 96 41 04 61</p>		<p>➤ Pas de réponse</p>
<p>NAUSICAA Boulevard Sainte-Beuve BP 189 62203 BOULOGNE SUR MER CEDEX</p>	<p>Nicolas HIREL Adjoint du Responsable Aquariologie</p>	<p>➤ Contacter la station Marine de Roscoff</p>

Bibliographie

1. X. BRIAND, Prolifération de l'algue verte *Ulva* sp. en Baie de Lannion (France) : étude d'une nuisance et de son traitement par fermentation anaérobie. 1989 (Thèse)
2. X. BRIAND et P. MORAND, Anaerobic digestion of *Ulva* sp. 1. Relationship between *Ulva* composition and methanisation , *Journal of Applied Phycology*, **9**, p 511-524 (1997).
3. R.H. CHARLIER, P. MORAND et J. MAZE, Coastal environnement : EC-cost 48 bioconversion projects and economic aspects , *J. environmental studies*, **44**, p 143-160 (1993).
4. M.S. LEGATOR, D.MORRIS, C.R.SINGLETON, D.L.PHILIPS, health effects from chronic low-level exposure to hydrogen sulphide, *Archives of Environmental Health*, **56**, (2001).
5. J. MAZE, P. MORAND et P. POTOKY, Stabilisation of Green tides *Ulva* by a method of composting with a view to pollution limitation , *Journal of Applied Phycology*, p183-190 (1993).
6. A.MENESGUEN, Les marées vertes en Bretagne, une pollution qui dérange, IFREMER, 2004. (www.senat.fr)
 - A. MENESGUEN, L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France, IFREMER, 2001.
7. M.MERCERON, Marées vertes en Bretagne, état actuel des connaissances, IFREMER, 1999.
8. P. MORAND, X. BRIAND, Excessive growth of macroalgae : a symptom of environmental disturbance, *botanica Marina*, **39**: 491-516 (1996) .
9. P. MORAND, R.H. CHARLIER et J. MAZE, European bioconversion projects and realizations for macroalgal biomass : Saint-Cast-L-Guildo (France) experiment , *Hydrobiologia*, p 301-308 (1990).
10. P. MORAND et X. BRIAND, Anaerobic digestion of *Ulva* sp. Study of *Ulva* degradation and methanisation of liquefaction juices , *Journal of Applied Phycology*, **11**, p 165-177 (1999)
11. S. TISSOT, A. PICHARD, Seuils de toxicité aiguë hydrogène sulfuré, Rapport final INERIS, 2000.

Autres :

Eutrophisation et marées vertes, Inf'ODE n°22, 1999.

Prolittoral, Programme régional et interdépartemental de lutte contre les marées vertes, plaquette de présentation, octobre 2003.

Fiches toxicologiques: INERIS, INRS.

INTERNET :

La recherche bibliographique via internet s'est faite par l'utilisation de moteurs de recherche : soit « tout public » :

- Lycos, Google,
- Scirus (informations scientifiques),
- Légifrance

soit plus spécialisés dans les domaines scientifiques et de la santé

- Medline,
- Pascal.

La recherche sur ces sites se fait par l'utilisation croisée d'un ou plusieurs **mots-clés**. Les mots-clés que nous avons utilisés sont :

En français :

Ulve / Ulva / algue/ algue verte / macroalgue / macrophyte / marées vertes / prolifération / eutrophisation / échouage /

Dégradation / putréfaction / décomposition / dégradation / gaz

Santé / risque / danger

En anglais :

Ulva / seaweed / alga / green alga / macroalgae / macrophyte / green tides / bloom / prolifération / eutrophization / grounding

Putrefaction / rot / decay / decomposition / degradation /gas(es)

Health / risk / hazard / danger

Sites Internet intéressants :

Liste des offices de tourisme des Cotes d'Armor :

<http://www.tourisme.fr/carte/carte-departement-cotes-armor.htm>

Utilisation des algues en agroalimentaire :

<http://www.refer.mg/cours/wcl/wbalg/pages/psm2.htm>

IFREMER : www.ifremer.fr

Bretagne Environnement : www.bretagne-environnement.org

Actualités : Les marées vertes devant le tribunal : www.ae2d.infini.fr