



# Algues vertes

Revue des données disponibles relatives aux dangers et aux expositions éventuelles liés à la baignade et la consommation de coquillages dans des zones touchées par des proliférations d'algues vertes

Rapport d'étude

Mars 2012

Édition scientifique



**anses**

agence nationale de sécurité sanitaire  
alimentation, environnement, travail



# Algues vertes

Revue des données  
disponibles relatives  
aux dangers et aux  
expositions éventuelles  
liés à la baignade  
et la consommation  
de coquillages dans  
des zones touchées  
par des proliférations  
d'algues vertes

Étude menée entre décembre  
2010 et mai 2011

Rapport d'étude

Mars 2012

Édition scientifique



---

## **Algues vertes**

**Revue des données disponibles relatives aux dangers et aux expositions éventuelles liés à la baignade et la consommation de coquillages dans des zones touchées par des proliférations d'algues vertes**

**(Étude menée entre décembre 2010 et mai 2011)**

---

**Saisine : 2010-SA-0241  
(liée à la saisine 2010-SA-0175)**

Rapport d'étude

**Mars 2012**

## Mots-clés

---

Algues vertes, baignade, coquillages

## Présentation des intervenants

### ANSES

---

#### Coordination scientifique

M. Rémi POIRIER – Direction de l'évaluation des risques – Unité d'évaluation des risques liés à l'eau

Mme Nathalie ARNICH – Direction de l'évaluation des risques – Unité d'évaluation des risques chimiques dans les aliments

#### Contribution scientifique

Mme Morgane BACHELOT - Direction de l'évaluation des risques – Unité d'évaluation des risques liés à l'eau

M. Olivier BRIAND - Direction de l'évaluation des risques – Observatoire des résidus de pesticides

Mme Véronique POULSEN – Direction des produits réglementés – Unité écotoxicologie et environnement

### AUDITION DE PERSONNALITES EXTERIEURES

---

M. Alain MENESGUEN – Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer), le 20 décembre 2010

M. Jean-François SASSI – Centre d'étude et de valorisation des algues (CEVA), le 20 décembre 2010

M. Robert GARNIER – Centre antipoison et de toxicovigilance de Paris, président du Comité de coordination de toxicovigilance, le 21 juillet 2011

M. Jacques MANEL - Centre antipoison et de toxicovigilance de Nancy, le 21 juillet 2011

## SOMMAIRE

Présentation des intervenants .....	3
Résumé .....	5
Sigles et abréviations .....	6
Définitions .....	6
Introduction .....	7
1 Caractéristiques des algues impliquées dans les marées vertes .....	10
1.1 Espèces impliquées sur les côtes françaises .....	10
1.2 Utilisation des macro-algues en alimentation humaine .....	11
1.3 Utilisation des macro-algues en cosmétique et thalassothérapie .....	11
2 Dangers microbiologiques .....	13
2.1 Dangers microbiologiques présents dans l'eau de mer .....	13
2.1.1 Bactéries .....	13
2.1.2 Virus .....	14
2.1.3 Parasites .....	15
2.2 Communautés bactériennes observées sur les thalles d' <i>Ulva</i> spp vivantes .....	16
2.3 Production de substances osmoprotectrices par certaines algues .....	17
2.4 Production de substances antimicrobiennes par certaines algues .....	17
2.5 Compétition des communautés de micro-organismes à la surface des macro-algues .....	18
2.6 Micro-organismes impliqués dans la décomposition des macro-algues .....	19
3 Dangers chimiques .....	21
3.1 Données concernant une éventuelle toxicité intrinsèque des algues .....	21
3.2 Données concernant la teneur des algues en éléments traces métalliques .....	22
3.3 Contamination des algues par des polluants organiques persistants (POP) hors pesticides ..	23
3.4 Contamination des algues par des résidus de pesticides, y compris ceux interdits .....	24
3.4.1 Contexte réglementaire européen .....	24
3.4.2 Contamination des eaux côtières en France .....	25
3.4.3 Données de contamination des algues en Italie .....	25
3.5 Contamination des algues par des résidus de médicaments .....	26
3.6 Substances potentiellement toxiques produites par des macro-algues vivantes .....	26
3.7 Substances potentiellement toxiques issues de la décomposition des macro-algues .....	28
4 Exposition .....	29
4.1 Résultats de surveillance disponibles pour les zones touchées par les marées vertes .....	29
4.1.1 Surveillance de la qualité des eaux de baignade .....	29
4.1.2 Surveillance de la contamination des coquillages .....	29
4.1.3 Consommation directe des macro-algues présentes dans les marées vertes .....	30
4.1.4 Recensement des lieux de marée vertes .....	31
4.2 Facteurs susceptibles de limiter l'exposition .....	31
4.2.1 Ramassage systématique des amas d'algues .....	31
4.2.2 Environnement peu attirant pour une activité de baignade .....	32
4.3 Evaluation de l'exposition .....	32
5 Conclusions et recommandations .....	33
5.1 Faisabilité de l'évaluation des risques sanitaires .....	33
5.2 Recommandations d'études et de recherches .....	33
Références bibliographiques .....	34
Annexes .....	34
Annexe 1 : Courrier de saisine de l'Anses .....	39
Annexe 2 : Libellé des requêtes bibliographiques .....	40
Annexe 3 : Résultats du contrôle microbiologique des eaux de baignade réalisé sur 13 sites de baignade en 2010 dans les côtes d'Armor .....	41
Annexe 4 : Tableau de la surveillance microbiologique (paramètres surveillés : <i>E.coli</i> /100mL) des gisements de coquillages. ....	44
Annexe 5 : Extraction du 13 avril 2011 de l'atlas interactif destiné à assurer une meilleure surveillance de la qualité des eaux mis en ligne par l'Ifremer et les agences de l'eau Loire-Bretagne et Adour-Garonne .....	45

## Résumé

Dans le cadre du plan gouvernemental de lutte contre les « marées vertes », l'Anses a été saisie le 27 septembre 2010, par les Ministères chargés de l'environnement, du travail et de la santé, d'une demande d'évaluation des risques sanitaires que les échouages massifs de macro-algues observés sur les côtes françaises sont susceptibles de provoquer, en cas de baignade ou de consommation de coquillages.

Une expertise interne a été menée sur la base de la littérature scientifique et de données de surveillance disponibles (en mai 2011) afin d'apprécier la pertinence et la faisabilité de mener une telle évaluation des risques.

L'objectif principal de ce travail prospectif était de collecter des informations sur les micro-organismes et les substances chimiques associés à la présence massive de macro-algues afin d'identifier les éventuels dangers auxquels seraient exposés les baigneurs et les consommateurs de coquillages ramassés à proximité.

Les espèces impliquées dans les marées vertes bretonnes sont très majoritairement *Ulva armoricana* et *Ulva rotundata*. Les *Ulva* spp. font partie des genres de macro-algues utilisés en alimentation humaine et référencés au niveau européen comme ingrédients cosmétiques.

Concernant les dangers microbiologiques, la bibliographie relate la présence de bactéries sur les macro-algues ou dans les amas d'algues en décomposition, mais sans permettre d'établir un profil type des populations bactériennes qui s'y développent. Les données disponibles sont rares et ne permettent pas d'estimer le niveau de concentration de bactéries pathogènes dans ces différents cas. De surcroît, rares sont les données spécifiques des côtes françaises.

Concernant les dangers chimiques, des données ont été collectées sur la composition des algues en divers éléments traces métalliques, sur des contaminations par des polluants organiques persistants et des pesticides, ainsi que sur des substances potentiellement toxiques produites par certaines algues (par exemple le diméthylsulfure, l'acide acrylique, la dopamine). A nouveau, rares sont les données spécifiques des côtes françaises et aucune ne se rapporte à un épisode d'échouage massif d'algues vertes. Ainsi, il s'avère difficile d'identifier et de caractériser les dangers chimiques liés à la survenue de marées vertes en France.

Du point de vue épidémiologique, aucune des publications analysées dans le cadre de ce travail et portant sur des dangers microbiologiques ou chimiques en lien avec un épisode de prolifération de macro-algues, n'a mentionné de symptôme chez l'Homme, après une activité de baignade ou la consommation de coquillages ramassés dans ces zones (ex : toxi-infections, irritations, etc.).

Au final, la liste des dangers établie dans ce travail ne peut pas être considérée comme exhaustive.

L'estimation de l'exposition des populations aux dangers identifiés s'est avérée impossible faute de données adaptées, notamment concernant leur concentration lors d'échouages massifs d'algues vertes sur les côtes françaises. Les rares données disponibles concernant les côtes françaises sont celles de la surveillance des eaux de baignade, de la surveillance de la contamination des coquillages et les signalements de marées vertes.

Avant une éventuelle évaluation quantitative des risques sanitaires, le recueil de données épidémiologiques pourrait permettre d'objectiver un éventuel signal sanitaire. Le cas échéant, l'acquisition de connaissances nécessaires à une quantification des risques pourrait s'inscrire dans la cadre de travaux de recherche.

## Sigles et abréviations

ACE :	Assessment of Antifouling Agents in Coastal Environment
Afssa :	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
Anses :	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARS :	Agence régionale de santé
CEVA :	Centre d'étude et de valorisation des algues
CO <sub>2</sub> :	Dioxyde de carbone
CSHPF :	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
DCE :	Directive cadre sur l'eau
DDD :	Dichlorodiphényldichloroéthylène
DDE :	Dichlorodiphényldichloroéthane
DDT :	Dichlorodiphényltrichloroéthan
DGAI :	Direction Générale de l'Alimentation
DGCCRF :	Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
DGS :	Direction générale de la santé
DMS :	Diméthylsulfure
DMSO :	Diméthylsulfoxyde
DMSP :	Diméthylsulfoniopropionate
DREAL :	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EINECS :	European Inventory of Existing Commercial chemical Substances
ELINCS :	European List of Notified Chemical Substances
ERS :	Evaluation des risques sanitaires
HAP :	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
H <sub>2</sub> S :	Sulfure d'hydrogène
Ifremer :	Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
MES :	Matières en suspension
NH <sub>3</sub> :	Ammoniac
N <sub>2</sub> O :	Protoxyde d'azote
OCDE :	Organisation de coopération et de développement économiques
OMS :	Organisation mondiale de la santé
ORL :	Oto-rhino-laryngologique
ORP :	Observatoire des résidus de pesticides
PCB :	Polychlorobiphényles
POP :	Polluants organiques persistants
PSU :	Practical Salinity Units
REMI :	Réseau de contrôle microbiologique des zones de production conchyliques
REPHY :	Réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines
REBENT :	Réseau benthique
RINBIO :	Réseau intégrateurs biologiques
RNROE :	Risque de non respect des objectifs environnementaux
ROCCH :	Réseau d'observation de la contamination chimique du littoral
UE :	Union Européenne

## Définitions

Zone intertidale : zone du littoral balayée deux fois par jour par le flux et le reflux de la marée.

Zone subtidale : partie des cours d'eau subissant l'influence des marées, c'est-à-dire la zone des estuaires, des deltas et éventuellement des lagunes côtières quand elles sont bien en relation avec les rivières qui les approvisionnent et la mer.

## Introduction

### Contexte

Les épisodes de prolifération massive de macro-algues sur les côtes et les plages européennes ont été rapportés dans la littérature scientifique dès 1905, dans la baie de Belfast (Irlande). Depuis ces quarante dernières années, ce phénomène, communément décrit par le terme « marée verte », n'a cessé de s'amplifier (Morand et Merceron, 2005).

La directive n°2008/56/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 juin 2008 (dite directive-cadre «stratégie pour le milieu marin») établit un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin. Son principal objectif est de parvenir à un bon état écologique du milieu marin européen au plus tard en 2020.

Les Etats membres sont tenus de la transposer au niveau national en élaborant des stratégies qui devaient être mises en œuvre à compter du 15 juillet 2010. Le 6 avril 2011, la Commission européenne a demandé à la France et à l'Irlande de se conformer à cette obligation, pour protéger le milieu marin sur leurs côtes.

La transposition de cette directive est intervenue dans la loi dite « Grenelle 2 » du 12 juillet 2010 (article 166 de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, codifié aux articles L. 219-7 à L. 219-18 du code de l'environnement). Par ailleurs, un décret relatif au plan d'action pour le milieu marin a été publié le 5 mai 2011.

Dans ce contexte, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a été saisie le 23 février 2010 par les Ministères chargés de l'environnement, du travail et de la santé, dans le cadre du plan gouvernemental de lutte contre les algues vertes élaboré en février 2010.

Il est demandé à l'Anses :

1. d'identifier le spectre complet des gaz émis par les algues et les risques associés, en fonction des concentrations, pour la santé des populations exposées ;
2. de proposer des protocoles de métrologie et de dosimétrie pour les sites concernés par des échouages massifs d'algues ;
3. d'analyser la littérature scientifique à la recherche d'éventuelles conséquences sanitaires qui pourraient être liées à une exposition chronique à de faibles concentrations de sulfure d'hydrogène ;
4. de formuler des recommandations spécifiques pour les travailleurs exposés lors de la collecte et du traitement des algues vertes ;
5. de formuler des recommandations nationales de prévention pour le public et les riverains exposés aux émanations d'algues vertes, en fonction des seuils de toxicité éventuels et des nuisances, notamment olfactives.

Dans son avis du 15 juillet 2010, l'Anses a émis en urgence des premières recommandations pour la prévention des risques pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs<sup>1</sup>. La principale mesure vise au ramassage des algues fraîches, dans les 24 à 36 heures suivant l'échouage. Le délai entre le ramassage et le traitement ne doit pas excéder 48 heures. L'expertise s'est par ailleurs poursuivie dans le cadre d'un groupe de travail, afin de répondre aux autres questions de cette saisine. Ces travaux font l'objet de l'avis de l'Anses 2010-SA-0175 du 16 juin 2011, relatif aux risques liés aux émissions gazeuses des algues vertes pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs.

Le présent document fait suite à une demande complémentaire de la Direction générale de la santé (DGS) du 27 septembre 2010 (annexe 1). Cette nouvelle saisine ne concerne pas

---

<sup>1</sup> Anses. Algues vertes - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. mai 2011.

directement les dégagements gazeux liés à l'accumulation des algues sur les plages et fait donc l'objet d'un traitement distinct de la première demande.

### **Objet de la saisine**

La demande du 27 septembre 2010 concerne une évaluation des risques pour le public, prenant en compte toutes les voies d'exposition pertinentes, liées :

- à la pratique de la baignade dans les eaux contenant des algues vertes ;
- à la consommation de coquillages ramassés dans des zones touchées par les algues vertes ;
- à la putréfaction des algues vertes dans la zone de battement des marées quel qu'en soit le coefficient (plus précisément des algues vertes immergées dans des flaques d'eau, se situant au pied de rochers).

Cette saisine concerne donc les problèmes sanitaires que les échouages massifs d'algues vertes observés sur les côtes françaises métropolitaines sont susceptibles de provoquer, particulièrement dans le cadre de :

- la pratique de la baignade ;
- la consommation de coquillages.

Dans les deux cas, la problématique est liée à une dégradation de la qualité de l'eau engendrée par la présence anormalement importante d'algues, qu'elles soient intactes ou en état de putréfaction. Cette dégradation comprend à la fois une composante microbiologique et une composante chimique.

L'objectif du présent rapport est d'apprécier la pertinence et la faisabilité de mener une évaluation des risques sanitaires liés à ces situations.

### **Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation**

L'expertise a été menée au sein de la Direction de l'évaluation des risques, par l'Unité d'évaluation des risques liés à l'eau et l'Unité d'évaluation des risques chimiques dans les aliments.

Une analyse des questions posées a permis d'identifier les données nécessaires pour mener cette expertise, notamment concernant :

- les genres d'algues impliquées dans les échouages massifs ;
- leur dégradation ;
- les dangers microbiologiques et chimiques associés aux macro-algues ;
- l'exposition orale dans le contexte d'une consommation de coquillages ou de baignades dans des zones touchées par le phénomène des marées vertes ;
- les expositions cutanées et respiratoires dans le contexte de baignades dans ces mêmes zones.

Les données scientifiques examinées et listées dans les références bibliographiques sont issues de recherches menées entre décembre 2010 et mai 2011 à partir des bases de données SCOPUS et PUBMED. Les requêtes utilisées pour ces recherches, ainsi que les dates des recherches et les bases de données utilisées sont précisées en annexe 2. Cette recherche a permis d'identifier près de 2500 articles. Sur la base de la lecture de leur titre et/ou de leurs résumés, 66 ont été retenus pour leur pertinence vis-à-vis des questions posées et ont été exploités.

Par ailleurs, des données ont été transmises à l'Anses par l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) et par le Centre d'étude et de valorisation des algues (CEVA) suite à des auditions menées en décembre 2010 par le groupe de travail « Algues vertes » de l'Anses, chargé de répondre à la saisine de février 2010 portant sur les dégagements gazeux.

Enfin, des données complémentaires concernant le suivi microbiologique mis en place par l'Agence régionale de santé (ARS) de Bretagne ont été reçues en février 2011 (contrôle sanitaire des baignades en mer et suivi des coquillages à proximité des sites touchés par des échouages massifs d'algues vertes).

Les données ainsi collectées ont été exploitées afin :

- d'identifier les données disponibles ou manquantes pour répondre aux questions posées ;
- de conclure quant à la faisabilité de conduire une évaluation des risques sanitaires (ERS).

# 1 Caractéristiques des algues impliquées dans les marées vertes

## 1.1 Espèces impliquées sur les côtes françaises

Selon les données transmises par l'Ifremer, les espèces impliquées dans les marées vertes bretonnes sont très majoritairement *Ulva armoricana* et *Ulva rotundata*, et dans une moindre mesure *Ulvaria obscura* (encore appelée *Monostroma obscurum*). Cette dernière est notamment présente dans la baie de la Fresnaye (22) et dans le bassin d'Arcachon. On peut aussi rencontrer des ulves filamenteuses en Bretagne. Désignées autrefois par le genre *Enteromorpha* (comme *Enteromorpha clathrata*), elles sont désormais nommées *Ulva* (comme *Ulva clathrata*).

Dans les eaux saumâtres, d'autres algues vertes peuvent proliférer. Elles appartiennent aux genres *Cladophora* et *Chaetomorpha*. Dans les lagunes méditerranéennes, l'espèce d'ulves invasives est majoritairement *Ulva rigida*.

L'algue brune *Pilayella littoralis* est également impliquée dans des proliférations printanières limitées (toujours dans la baie de la Fresnaye). Il faut également citer l'algue rouge *Solieria chordialis*, qui est rencontrée sur la presqu'île de Rhuys et sur la côte vendéenne. Cette algue rouge est susceptible de se décrocher des rochers pour venir s'échouer sur les plages.

Les grandes algues brunes telles que *Fucus sp.*, *Ascophyllum nodosum* ou *Laminaria sp.*, peuvent aussi s'échouer en masse, mais ce phénomène intervient plutôt en automne-hiver, et ces algues sont moins susceptibles de fermenter du fait de la température plus basse.

Enfin, le littoral aquitain et le golfe du Morbihan subissent des échouages de zostères (*Zostera noltii* et *Zostera marina*), tandis qu'en Méditerranée on observe des échouages de posidonies. Ces phanérogames marines<sup>2</sup> sont à l'origine de nuisances moindres car elles se décomposent lentement et contiennent peu de soufre.

D'après Sousa *et al.* (2007), les ulves poussent moins bien quand la salinité de l'eau diminue. Une diminution significative de leur croissance est observée quand la salinité de l'eau passe de 20 à 5 unités de salinité (PSU<sup>3</sup>) par kg d'eau de mer. En conséquence, dans les estuaires peu profonds, les variations importantes de la salinité des eaux, notamment entre été et hiver (en fonction du débit des rivières) peuvent jouer un rôle important sur l'abondance des algues vertes. Pour *Enteromorpha*, la salinité optimale pour la production de spores serait de l'ordre de 35 PSU alors que la salinité optimale pour les algues adultes serait de 17 à 22 PSU. La salinité en estuaire peut varier entre 5 à 35 PSU (Sousa *et al.*, 2007).

Compte tenu de ces éléments, les investigations menées dans le cadre de ce rapport se concentreront particulièrement sur *Ulva* spp (ainsi que sa précédente dénomination *Enteromorpha*), *Cladophora* et *Chaetomorpha*, qui apparaissent comme les principaux genres de macro-algues impliqués dans les marées vertes en France.

<sup>2</sup> Les phanérogames marines ne sont pas des algues mais des végétaux supérieurs.

<sup>3</sup> 1 PSU (practical salinity units) = 1 g de NaCl

## 1.2 Utilisation des macro-algues en alimentation humaine

Certaines espèces d'algues sont traditionnellement utilisées en alimentation humaine, ce qui permet de disposer d'un certain recul quant à leur innocuité à l'état frais, en cas d'ingestion (Afssa 2008).

Le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) a émis lors de ses réunions du 14 juin 1988, du 13 décembre 1988 et du 9 janvier 1990, des avis favorables à l'emploi de 13 espèces d'algues en alimentation humaine, à savoir : *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesicullum*, *Himanthalia elongata*, *Laminaria digitata*, *Laminaria saccharina*, *Undaria pinnatifida*, *Chondrus crispus*, *Gracilaria verrucosa*, *Palmaria palmata*, *Porphyra umbilicalis*, *Enteromorpha* spp., *Ulva* spp., *Spirulina* spp. (Publication dans le Bulletin Officiel du Ministère de la Santé n°90/45, p103) et du 14 octobre 1997 (DGCCRF- BID n°2/ 98-030).

Selon la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF<sup>4</sup>), il n'existe pas de liste réglementaire des algues autorisées pour la consommation humaine. Dans les faits, les algues qui étaient consommées avant 1997 ne sont pas interdites à la consommation. Les algues qui n'étaient pas consommées avant 1997 sont considérées comme de nouveaux aliments et doivent être autorisées au titre du règlement (CE) n°258/97 sur les nouveaux aliments, comme toute denrée alimentaire dans cette situation.

Dans le cadre d'échanges avec l'Anses, la DGCCRF a transmis une liste indicative et non exhaustive, établie en 2009, des algues qui peuvent être consommées pour l'alimentation humaine en France : *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus*, *Himanthalia elongata*, *Laminaria saccharina*, *Laminaria digitata*, *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida*, *Chondrus crispus*, *Gracilaria verrucosa*, *Palmaria palmata*, *Porphyra umbilicalis*, *Porphyra tenera*, *Porphyra yezoensis*, *Porphyra dioica*, *Porphyra purpurea*, *Porphyra laciniata*, *Porphyra leucostica*, ***Enteromorpha* spp**, ***Ulva* spp**, *Spirulina* spp, *Chlorella* spp et *Odontella aurita*.

Il convient de noter dans cette liste, la présence d'*Ulva* et *Enteromorpha* (aujourd'hui incluse dans le genre *Ulva*), principaux genres présents dans les dépôts d'algues observés sur les plages.

## 1.3 Utilisation des macro-algues en cosmétique et thalassothérapie

Certaines espèces de macro-algues sont utilisées dans les domaines de la cosmétique et de la thalassothérapie, pour en extraire des substances d'intérêts ou plus directement pour des applications cutanées.

Ces utilisations sont encadrées par le règlement (CE) n°1223/2009 du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009, relatif aux produits cosmétiques, qui a abrogé la Directive « Cosmétiques » 76/768/CEE. Selon celui-ci :

« Les États membres ne refusent pas, n'interdisent pas et ne restreignent pas, ..., la mise à disposition sur le marché des produits cosmétiques qui répondent aux prescriptions du présent règlement. »

« Avant la mise sur le marché d'un produit cosmétique, la personne responsable veille, ..., à ce que sa sécurité soit évaluée sur la base des informations appropriées et à ce qu'un rapport sur la sécurité du produit cosmétique soit établi... »

« L'évaluation ... est effectuée par une personne titulaire d'un diplôme ou autre titre sanctionnant une formation universitaire d'enseignement théorique et pratique en pharmacie, toxicologie, médecine ou dans une discipline analogue, ou une formation reconnue équivalente par un État membre. »

<sup>4</sup> Bureau C2 interrogé en avril 2011

« Lorsqu'un produit cosmétique est mis sur le marché, la personne responsable conserve un dossier d'information sur celui-ci. » « La personne responsable veille à ce que l'autorité compétente de l'État membre où est conservé le dossier d'information sur le produit ait aisément accès à ce dossier ... »

Selon le Syndicat national professionnel de la thalassothérapie et la Chambre syndicale des algues et des végétaux marins, contactés juillet 2011, les laminaires représentent la quasi-totalité des macro-algues utilisées à des fins de cosmétique ou de thalassothérapie.

Les ulves sont cependant référencées dans la base de données européenne sur les ingrédients cosmétiques « CosIng »<sup>5</sup>. Même si cette dernière ne contient que très peu de données sur le sujet, elle référence les extraits d'*Ulva lactuca* et d'*Ulva pertusa*, ainsi que la poudre d'*Ulva lactuca*, comme des ingrédients cosmétiques, en donnant les numéros CAS et ELINCS<sup>6</sup> ou EINECS<sup>7</sup> pour *Ulva lactuca*. Les fiches présentes dans la base de données ne contiennent en revanche aucune indication concernant l'innocuité de ces ingrédients. Il faut préciser que l'inventaire de la base de données CosIng est fourni à titre purement indicatif et ne constitue en aucune façon une liste des substances autorisées ou interdites dans les produits cosmétiques. Or, ni le règlement (CE) n°1223/2009 du Parlement européen, ni la Directive 76/768/CEE qui encadrent les produits cosmétiques ne font mention d'*Ulva* spp.

Le comité de coordination de toxicovigilance, consulté en juillet 2011, ne rapporte pas de cas d'intoxication après une baignade en présence d'ulves ou l'application cutanée de ce genre d'algues.

---

<sup>5</sup> CosIng (<http://ec.europa.eu/consumers/cosmetics/cosing/>) est la base de données de la Commission européenne sur les ingrédients cosmétiques mentionnés dans les documents suivants : la directive «cosmétique» 76/768/CEE modifiée, l'inventaire modifié des ingrédients cosmétiques et les avis sur les ingrédients cosmétiques émis par le Comité scientifique pour la sécurité des consommateurs.

CosIng contient toutes les données recueillies depuis l'adoption de la directive «cosmétique» en 1976. Ainsi, les données actuelles sont qualifiées d'«actives» et les données historiques sont «non actives». Toutefois, les références aux avis scientifiques du Comité scientifique pour la sécurité des consommateurs se limitent aux avis publiés en ligne.

L'inventaire des ingrédients et la base de données CosIng sont fournis à titre purement indicatif et ne constituent en aucune façon une liste des substances autorisées ou interdites dans les produits cosmétiques.

<sup>6</sup> ELINCS signifie European List of Notified Chemical Substances. Le numéro ELINCS est aussi appelé numéro CE, au même titre que le numéro EINECS. Il référence les substances chimiques en Europe pour la classification réglementaire de sécurité, emballage, étiquetage, transport, santé..., notamment des substances dangereuses.

<sup>7</sup> EINECS signifie European Inventory of Existing Commercial chemical Substances. Le numéro ELINCS permet d'identifier une substance chimique répertoriée dans l'Inventaire Européen des Substances chimiques Commerciales Existantes.

## 2 Dangers microbiologiques

Concernant les dangers microbiologiques, il s'agit de déterminer si les micro-organismes susceptibles d'être présents sur les macro-algues responsables des marées vertes, et plus particulièrement les *Ulva* spp., peuvent le cas échéant présenter un danger en cas :

- de baignade dans des eaux en contenant ou à proximité de ces algues ;
- de consommation de coquillages ramassés ou élevés dans ces mêmes eaux.

La question se pose aussi bien pour les algues fraîches que pour celles en cours de décomposition.

### 2.1 Dangers microbiologiques présents dans l'eau de mer

Les éléments relatifs aux dangers microbiologiques présents dans l'eau de mer présentés dans ce chapitre sont principalement issus d'un avis qui présente une revue de synthèse réalisée par l'Agence (Afssa 2007), sauf spécification contraire :

« Différents types de dangers microbiologiques sont susceptibles d'être présents dans l'eau de mer et de contaminer les produits de la pêche. Trois grands types de dangers microbiologiques sont susceptibles de contaminer les produits de la pêche :

- les bactéries
- les virus
- les parasites »

#### 2.1.1 Bactéries

Concernant les bactéries pathogènes, l'avis susmentionné décrit les contaminants potentiels de l'eau de mer :

- *Salmonella* : « ne survivent pas longtemps en eau de mer » (Afssa 2007) ;
- *Listeria monocytogenes* : « résiste mal à la salinité de l'eau de mer »... « Cette bactérie peut toutefois être détectée dans des zones littorales : à titre d'exemple une prévalence de 3,1% a été observée dans des prélèvements d'eau de mer sur différents sites du littoral de la région d'Agadir (El Marrakchi et al., 2005). Une présence temporaire n'est donc pas exclue » (Afssa 2007) ;
- *Staphylococcus aureus* : « résiste à des concentrations élevées en sel. Cette propriété pourrait justifier une vigilance particulière. En réalité la présence de *S. aureus* dans les aliments provient dans la quasi-totalité des cas de contaminations humaines (personnes malades ou porteurs sains ; présence au niveau de la peau et/ou de l'appareil respiratoire). *S. aureus* sera donc recherché au-delà, notamment en fin de processus, mais il n'y a pas de justification pour retenir ce critère pour l'eau de mer » (Afssa 2007). Dans une fiche de danger relative aux *Staphylococcus aureus*, l'Afssa précise que les staphylocoques « ont également été isolés dans l'environnement naturel (Sol, eau douce et eau de mer, ... » (Afssa 2009b) ;
- *Vibrio* spp. : « Dans l'eau de mer, les vibrions ne correspondent pas à une flore contaminante, mais à une flore autochtone, naturelle. La question est de savoir si certains d'entre eux sont pathogènes. Dans son avis de décembre 1999 (Afssa 1999; Afssa 2003), l'Afssa indiquait que les seuls vibrions potentiellement pathogènes par voie alimentaire dans les produits de la pêche sont *Vibrio cholerae* O1 et O139 et certains *Vibrio parahaemolyticus* » (Afssa 2007). L'agence confirme ces éléments dans une fiche de danger relative aux *Vibrio parahaemolyticus* (Afssa 2009c).

Concernant les indicateurs de contamination, l'avis de 2007 :

- souligne le manque de spécificité des coliformes, du fait de leur appartenance à la microflore naturelle tellurique et aquacole ;

- décrit *Escherichia coli* comme un indicateur de contamination fécale spécifique et incontournable, particulièrement pour la filière coquillages ;
- indique que les entérocoques fécaux (*Enterococcus faecalis*, *E. faecium*) survivent mieux que les autres indicateurs en milieu marin.

Selon ces éléments, le nombre de bactéries pathogènes pour l'Homme identifiées dans l'eau de mer est relativement limité. La présence de macro-algues pourrait favoriser leur développement en leur fournissant nutriments, support ou protection, ou *a contrario* générer des conditions défavorables à leur survie.

### 2.1.2 Virus

Concernant les virus, « *Le risque de transmission à l'Homme par des denrées alimentaires et / ou des eaux de consommation est, en l'état actuel des connaissances, limité exclusivement aux virus appartenant au « péril fécal » : virus de l'Hépatite A, virus de l'Hépatite E, les Calicivirus (Norovirus et Sapovirus), Rotavirus, Astrovirus, Adenovirus des sous-types 40 et 41, les Reovirus, les Enterovirus et Parechovirus. Il s'agit d'agents viraux de transmission interhumaine, pour lesquels la contamination se fait par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés, et qui dans ce contexte, sont responsable d'épidémies parfois très étendues (Afssa 2007).*

*De par leur résistance naturelle ils peuvent tous persister dans le milieu extérieur et notamment dans l'eau de mer. Par contre les virus sont incapables de se multiplier dans le milieu extérieur. La charge virale de l'eau de mer sera donc directement liée à la quantité de virus rejetée par l'homme (ou les animaux) dans ce milieu extérieur. » (Afssa 2007)*

*« Le risque de transmission à l'homme des virus par les coquillages est directement lié à leur rôle de filtreur et concentrateur » (Afssa 2007).*

L'Anses confirme certains de ces éléments dans une fiche de danger relative au virus de l'hépatite A (Anses 2011f) et dans un avis relatif à la réouverture d'une zone conchylicole fermée pour cause de présence avérée de calcivirus (norovirus et sapovirus) dans les coquillages vivants (Anses 2011b).

Aussi, la seule influence que pourraient avoir les amas d'algues sur le danger viral est une éventuelle protection fournie aux virus. Peu de publications permettent d'étayer cette hypothèse.

Selon l'avis de l'Afssa de 2007, « *L'adsorption des virus sur des particules favorise la persistance du pouvoir infectieux. En absence de particules, des entérovirus et rotavirus infectieux disparaissent en 9 jours alors qu'ils persistent 19 jours en leur présence (Rao et al. 1984a). Dans les estuaires, les entérovirus sont essentiellement présents sur les matières en suspension (LaBelle & Gerba 1979).* »

Cependant, « *une estimation de la répartition des virus isolés dans la baie de Galveston (Etats-Unis) indique que la majorité des virus est associée à des particules en suspension de taille < 3 µm et à des sédiments floconneux. (Schernewski & Julich 2001a)* » (Afssa 2007).

Les virus précédemment cités sont déjà connus pour leur aptitude à persister dans l'eau de mer. Dans le pire des cas, leur éventuelle adsorption sur une macro-algue ne changerait pas l'aptitude des virus à persister. Ainsi, la présence de macro-algues n'aurait qu'une influence limitée sur le niveau de risque viral.

### 2.1.3 Parasites

« Parmi les parasites, les **protozoaires** représentent le risque majeur notamment par leur caractère ubiquitaire et parce qu'ils présentent dans leur cycle une phase de dissémination environnementale. Ces parasites sont excrétés par différents hôtes (mammifères domestiques, synanthropes et sauvages, hommes) sous forme de kystes ou d'oocystes dont la caractéristique majeure est d'être particulièrement résistants aux conditions environnementales de température et d'hygrométrie. Dans l'environnement, le lessivage des sols représente un facteur de dissémination important, source de contamination des ressources naturelles. La diffusion dans l'eau de mer est donc possible » (Afssa 2007).

« Les principaux parasites qui peuvent être à l'origine d'une contamination hydrique sont décrits ci-dessous :

**Cryptosporidium** est un parasite excrété en grande quantité par les animaux ( $10^7$  à  $10^9$  par gramme de fèces pour un veau) ou les humains infectés. Les niveaux de contamination des eaux naturelles dépendent de nombreux facteurs dont le lessivage des sols et donc la pluviométrie, avec des niveaux souvent élevés notamment en zones d'élevage » (Afssa 2007). L'Anses précise dans une fiche de danger relative aux *Cryptosporidium* spp., que « les oocystes de *Cryptosporidium* restent viables et infectieux dans l'eau et dans les fèces jusqu'à six mois à des températures comprises entre 0 et 30°C et jusqu'à un an dans l'eau de mer » (Anses 2011c).

« **Giardia duodenalis** (synonyme *G. intestinalis*, anciennement *Giardia lamblia*) est l'agent de la giardiose. »... « C'est une parasitose de répartition mondiale, endémique et parfois épidémique. *G. duodenalis* infecte approximativement 2 % des adultes et entre 6 à 8 % des enfants dans les pays développés et est responsable, dans une minorité de cas, d'une giardiose clinique. Des prévalences de 20 à 60 % sont rapportées dans les pays en développement... »... « L'aliment essentiellement impliqué dans la transmission de la giardiose est l'eau. »... « La survie des kystes dans l'environnement est importante : »... « de 28 à 56 jours dans les eaux de surface suivant les conditions de température (3,5 % à 18 % des eaux de surface contiennent des kystes viables), plusieurs semaines dans les eaux usées... » (Anses 2011d).

« Les **microsporidies** représentent un risque surtout pour les patients immunodéprimés. » ... « Si de très nombreuses espèces infestent le monde animal, principalement quatre espèces se partagent la pathologie humaine: *Enterocytozoon bieneusi*, *Encephalitozoon intestinalis*, *E. hellem* et *E. cuniculi*. La malabsorption avec diarrhée chronique représente la manifestation clinique la plus fréquente des microsporidioses intestinales. »... « Les microsporidies pathogènes pour l'homme sont bien présentes dans les eaux douces de surface » ... « en France (Coupé et al, 2006; Fournier et al, 2000, 2002) et chez des bivalves d'eau douce en Irlande (Graczyck et al, 2004). **Ces organismes pourraient donc se retrouver dans les eaux du littoral marin** » (Afssa 2007).

L'Apicomplexa **Toxoplasma gondii** est nouvellement reconnu comme agent pathogène à transmission hydrique. La contamination est due aux oocystes, excrétés par les félinés au décours d'une infection. » ... « oocystes infectants qui sont extrêmement résistants dans l'environnement. » ... « La sporulation est possible dans l'eau de mer à 24°C (eau de mer artificielle à 15 et 32 g/L) (Lindsay, 2003). **Les oocystes sporulés peuvent survivre et rester infectieux dans l'eau de mer** » (Afssa 2007). L'Anses confirme ces éléments dans une fiche de danger relative à *Toxoplasma gondii* (Anses 2011e).

« Parmi les **autres parasites à transmission féco-orale**, **Cyclospora cayetanensis** est considéré avant tout comme un agent pathogène à transmission hydrique. » ... « Même si ce mode de transmission demeure important dans des pays comme le Pérou, le Népal, Java, le Guatemala et Haïti où le parasite est endémique, de nombreuses flambées d'origine alimentaire ont été signalées ces dernières années au Canada et aux États-Unis. En dehors des États-Unis et du Canada, la plupart des cas rapportés de cyclospore en Europe et en Australie sont associés à la notion de voyage dans les pays où la maladie est endémique

(pays tropicaux). La diarrhée et l'amaigrissement sont les principaux symptômes de cette parasitose rare en France. **Le risque de contamination de l'eau de mer paraît très faible** » (Afssa 2007).

« **L'évaluation du risque sanitaire d'origine hydrique lié aux protozoaires est mal connue** en raison principalement de la **lourdeur des techniques de détection** proposées comparativement aux méthodes usuelles de détection des autres micro-organismes dans l'eau. Elle n'est actuellement proposée que pour les deux principaux pathogènes reconnus (*Cryptosporidium* et *Giardia*) en cas de suspicion de contamination du réseau d'eau (turbidités élevées par exemple). Une autre raison de la méconnaissance du risque sanitaire hydrique lié aux autres protozoaires parasites est **l'absence de méthode spécifique pour leur détection dans l'environnement**. Dans la mesure où les eaux fluviales se retrouveront dans les eaux de mer, et celles d'autres collections (lacs, etc.) peuvent ruisseler dans la mer, la présence de ces parasites dans ce dernier milieu ne peut donc être exclue. De nombreux parasites peuvent donc être ingérés par des coquillages, les bivalves jouant un rôle d'organismes concentrateurs. La présence de *Cryptosporidium*, *Giardia*, et microsporidies a d'ailleurs déjà été démontrée dans les moules et les huîtres aux USA (Fayer, 1998 ; Graczyk, 2003) et en Europe (Li et al, 2006; Pereira et al, 2006; Melo et al, 2006). » (Afssa 2007)

« La salinité de l'eau de mer pourrait affecter la viabilité de ces parasites. En effet, une salinité de 45 g/L (versus 5 g/L) accélère la perte de viabilité d'oocystes de *Cryptosporidium* stockés soit à 4°C (x2.0), soit à 30°C (x1.2). Cependant, d'autres données indiquent que les oocystes de *C. parvum* peuvent demeurer vivants dans l'eau de mer à 6-8°C pendant 1 année (Erickson et Ortega, 2006). » (Afssa 2007)

La principale influence que pourrait avoir les amas d'algues sur le danger parasitaire est une éventuelle protection fournie aux parasites. Peu de publications permettent d'étayer cette hypothèse.

De la même manière que les virus, certains parasites sont connus pour leurs aptitudes à résister dans l'eau de mer. Dans le pire des cas, leur éventuelle adsorption sur une macro-algue ne changerait pas significativement l'aptitude des parasites à persister. Ainsi, la présence de macro-algues ne peut avoir qu'une influence limitée sur le niveau de risque parasitaire.

## 2.2 Communautés bactériennes observées sur les thalles d'*Ulva* spp vivantes

Selon Uchida et Murata, les algues *Ulva* spp. fraîches peuvent être colonisées par une flore indigène importante, notamment des groupes *Flavobacterium* et *Cytophaga*, des *Vibrio* spp. et des bactéries saprophytiques comme *Aeromonas* et *Alteromonas*, dont *Pseudoalteromonas* (Uchida et Murata, 2004).

Il a été observé une colonisation d'*Ulva australis* (*Ulva lactuca*) par des *Alphaproteobacteria* et des *Bactéroïdes*, spécialement des familles *Rhodobacteriaceae*, *Sphingomonadaceae*, *Flavobacteriaceae* et *Sapropiraceae* (Burke et al., 2011). A noter que *Ulva lactuca* est également appelé *Ulva fenestrata* (Van Alstyne et Puglisi, 2007).

En Egypte (Abu-Qir), les Coliformes représentent 3,5% des bactéries présentes sur les algues testées en été et 1 % en hiver (Abd-Alnaby 2010).

Ces données sont cependant trop limitées pour établir un profil type des bactéries présentes sur les algues responsables des marées vertes.

## 2.3 Production de substances osmoprotectrices par certaines algues

Des extraits de macro-algues marines obtenus à partir d'*Ascophyllum nodosum*, de *Fucus serratus*, d'*Enteromorpha ramulosa*, d'*Ulva lactuca* et de *Palmaria palmata*, peuvent constituer une importante source de substances osmoprotectrices et de nourriture pour *Escherichia coli*. Les algues dont les extraits semblent avoir les meilleures qualités osmoprotectrices sont *Ulva lactuca* et *Palmaria palmata* (Ghoul *et al.*, 1995).

L'extrait d'*Ulva lactuca* a des qualités osmoprotectrices pour *Sinorhizobium meliloti* 102F34. Elles peuvent être mises en évidence dans des conditions salines stressantes pour la bactérie. Elles pourraient être liées à la production de 3-Diméthylsulfoniopropionate par *Ulva lactuca* (Pichereau *et al.*, 1998). Les propriétés osmoprotectrices du Diméthylsulfoniopropionate (DMSP), diméthylsulfonioacetate et de la glycine bêtaïne ont également été montrées pour *Escherichia coli* (Cosquer *et al.*, 1999).

Chez les algues marines, le DMSP est réputé jouer un rôle dans la protection osmotique et cryogénique. Cependant selon certaines hypothèses, cette molécule pourrait avoir d'autres fonctions. Pour tester ces hypothèses, des échantillons d'*Ulva fenestrata* (*Ulva lactuca*) ont été soumis à des eaux de différentes salinités. Il en résulte que la concentration en DMSP ne varie pas fortement en fonction de la salinité. Cela suggère qu'*Ulva fenestrata* a des mécanismes autres que la production de DMSP pour s'adapter aux variations de salinité (Van Alstyne *et al.*, 2006). Par ailleurs, Van Alstyne *et al.* ont montré que la production de DMSP par des organismes vivants est relativement commune. Il a été retrouvé dans diverses plantes, et des animaux invertébrés (éponges, cnidaires, mollusques) ou vertébrés (Van Alstyne et Puglisi, 2007).

Les études recensées mettent en évidence la production de substances osmoprotectrices par certaines algues. Cependant, dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible d'établir si des micro-organismes pathogènes pour l'Homme pourraient être protégés du sel marin par ces substances, et constituer indirectement un danger pour le baigneur ou le consommateur de coquillages.

## 2.4 Production de substances antimicrobiennes par certaines algues

Comme vu précédemment, les macro-algues sont le support de différentes populations bactériennes. *A contrario* les extraits de certaines de ces algues (*Ulva lactuca*, *fasciata* et *linza*, *Enteromorpha compressa* et *intestinalis*) ont des propriétés antibactériennes qui ont été mises en évidence vis-à-vis des bactéries pathogènes ou des indicateurs de contamination microbiologique tels que la flore totale, les coliformes fécaux, etc. (Abd-Alnaby 2010; Nair *et al.*, 2007; Sukatar *et al.*, 2006; Tuney *et al.*, 2007).

L'examen de la littérature met en évidence les activités antimicrobiennes de différents extraits d'algues :

- l'extrait d'*Ulva fasciata* (*chlorophyceae*) vis-à-vis de *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* et *Klebsiella pneumoniae* (Osman *et al.*, 2010; Rajagopal *et al.*, 2008; Shanmughapriya *et al.*, 2008; Stirk *et al.*, 2007) ;
- l'extrait d'*Ulva lactuca* vis-à-vis de *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Candida albicans* et *Aspergillus niger* (Alang *et al.*, 2009; Kandhasamy et Arunachalam, 2008; Kim *et al.*, 2007) ;

- l'extrait d'*Ulva rigida* vis-à-vis de *Candida* spp., *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli* (Tüney *et al.*, 2006) ;
- l'extrait d'*Ulva linza* vis-à-vis de *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* (Fletcher *et al.*, 2007) ;
- l'extraits d'*Enteromorpha spirula* vis-à-vis de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella abony*, *Enterococcus faecalis* et *Pseudomonas aeruginosa* (Cox *et al.*, 2010).

Les extractions d'algues décrites dans les différentes études citées sont généralement réalisées à l'aide d'éthanol, de méthanol ou d'acétone. Ces substances peuvent avoir, intrinsèquement, des effets significatifs sur les micro-organismes. Le fait que les différentes études répertoriées aient porté sur l'activité antimicrobienne d'extraits d'algues et non pas sur celle d'algues fraîches, peut susciter des questions quant aux liens entre les propriétés antimicrobiennes des extraits testés et le processus d'extraction ou les solvants utilisés pour l'extraction.

Pour cette raison, il semble difficile de conclure quand aux activités antimicrobiennes des algues fraîches dans l'environnement, sur la base de ces publications.

## 2.5 Compétition des communautés de micro-organismes à la surface des macro-algues

La communauté bactérienne observée à la surface de différents types de macro-algues (*Fucus vesiculosus*, *Gracilaria vermiculophylla* et *Ulva intestinalis*) varie significativement d'une espèce d'algues à l'autre. Seulement 7 à 16 % des espèces de bactéries observées sur ces algues semblent spécifiques des espèces d'algues. La communauté bactérienne évolue également significativement en fonction de la saison (Lachnit *et al.*, 2011).

***Pseudoalteromonas tunicata*** et ***Roseobacter gallaeciensis*** sont souvent retrouvés à la surface des algues *Ulva australis* (précédemment connue sous le nom d'*Ulva lactuca*) et représentent parfois une large proportion des espèces présentes. Cependant selon les auteurs, il semble que leur présence, parfois prépondérante, ne garantisse pas l'absence d'autres espèces de bactéries à la surface de ces macro-algues (Rao *et al.*, 2006).

Certaines bactéries ***Pseudoalteromonas***, susceptibles de coloniser *Ulva lactuca*, semblent avoir une activité antibactérienne vis-à-vis d'autres espèces bactériennes. Ainsi, leur présence a un effet sur la composition de la communauté bactérienne qui se développe à la surface d'*Ulva lactuca* (Kumar *et al.*, 2010).

Les biofilms présents à la surface des macro-algues peuvent également avoir une influence sur le développement de ces dernières (Callow et Callow, 2006).

Ces différents éléments semblent montrer que certaines espèces de bactéries ont un avantage compétitif qui leur permet de coloniser et de devenir prépondérantes à la surface de certaines algues comme les ulves. Les mécanismes impliqués sont peu expliqués dans la bibliographie.

Aucune étude ne mentionne un avantage spécifique conféré aux bactéries pathogènes pour l'Homme sur les communautés microbiennes présentes à la surface des algues.

## 2.6 Micro-organismes impliqués dans la décomposition des macro-algues

L'objet de ce chapitre est d'explorer la possibilité que la décomposition des algues puisse être à l'origine de la prolifération de micro-organismes dangereux pour la baignade, les coquillages et leur consommation.

Pour étudier les phénomènes de décomposition benthique de macro-algues, certains auteurs ont ajouté des *Ulva lactuca* à la surface de sédiments marins, dans un environnement aquatique contrôlé, avec un apport d'O<sub>2</sub> (aérobies). Dans ces conditions, une production importante de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et de CO<sub>2</sub> est observée. Après quelques jours d'incubation, ***Desulfovibrio aerotolerans***, une bactérie **sulfato-réductrice** filamenteuse prend le dessus sur la flore bactérienne et une décomposition des thalles algaux est observée. Les auteurs estiment que dans des conditions benthiques naturelles, l'apport d'O<sub>2</sub> serait moindre et le phénomène de décomposition des thalles débiterait plus rapidement (Lomstein *et al.*, 2006). Dans des conditions d'anaérobiose, différentes de celles de l'étude, les bactéries sulfato-réductrices sont susceptibles de produire du H<sub>2</sub>S<sup>8</sup>.

Dans certaines conditions (concentration en sel de l'ordre de 6 % de la masse d'algues et présence de certaines bactéries lactiques), la dégradation des *Ulva* spp. peut se faire par une fermentation lactique ou alcoolique, avec production majoritaire d'acide lactique ou d'éthanol. Selon Uchida et Murata, dans ce cas, les micro-organismes majoritairement observés à la fin du processus de fermentation<sup>9</sup>, sont ***Lactobacillus brevis***, ***Debaryomyces hansenii*** et ***Candida zeylanoides***. Cette observation a été réalisée, *in vitro*, avec des algues fraîches non stérilisées, qui contenaient avant incubation une flore indigène importante (groupe *Flavobacterium* et *Cytophaga*, et bactéries saprophytiques comme *Vibrio*, *Aeromonas* et *Alteromonas*, dont *Pseudoalteromonas*). Une fermentation lactique est obtenue quasi-systématiquement si les algues fraîches sont traitées avec une enzyme cellulase, inoculée avec un mélange de *L. brevis*, *D. hansenii* et *C. zeylanoides* stockées, congelées avant incubation et supplémentées en NaCl. Dans certains cas, une fermentation lactique des algues peut également être observée sans inoculation artificielle, particulièrement quand les algues contiennent naturellement des bactéries lactiques comme *L. brevis* (Uchida et Murata, 2004). Nedashkovskaya confirme que la fermentation d'*Ulva* spp, dans un milieu contenant 3% de sel, en anaérobiose ou microaérobiose, favorise une fermentation lactique, par des Streptocoques et des Lactobacilles, avec production majoritaire d'acides lactique (80%) et de l'éthanol. Il indique par ailleurs que le résultat d'une telle fermentation serait adapté pour une consommation alimentaire humaine (Nedashkovskaya *et al.*, 2005).

La multiplication de bactéries au sein de dépôts d'algues vertes du genre *Cladophora* sont potentiellement à l'origine d'une augmentation des développements bactériens (***Escherichia coli***, ***Enterococci***, ***Shigella***, ***Campylobacter*** et ***Salmonella***) dont des bactéries utilisées comme indicateurs pour évaluer la qualité microbiologique des baignades (*Escherichia coli*, *Enterococci*). Ce phénomène s'explique par la protection et les nutriments que les amas d'algues fournissent à ces bactéries (Byappanahalli *et al.*, 2003; Byappanahalli *et al.*, 2007; Byappanahalli *et al.*, 2009; Englebert *et al.*, 2008; Gubelit et Berezina, 2010; Ishii *et al.*, 2006; Olapade *et al.*, 2006; Vanden *et al.*, 2010; Verhougstraete *et al.*, 2010; Whitman *et al.*, 2003). Selon les observations de Gabrielson *et al.* 1983, cité par Morand *et al.* (Morand *et*

<sup>8</sup> Les protéines subissent un processus de putréfaction. En fonction de leur structure complexe, elles donnent naissance à des produits beaucoup plus variés: ammoniacque, amines, phénols, indole, scatole, hydrogène sulfuré. La putréfaction (contrairement au processus de fermentation) engendre des produits basiques. Les produits de putréfaction sont au contraire presque tous plus ou moins toxiques (ex: les ptomaines).

<sup>9</sup> Les glucides subissent un processus de fermentation acide qui s'accompagne de dégagement de CO<sub>2</sub>. Ils sont transformés en acides organiques divers (ac.lactique, ac.butyrique, ac.propionique, ac.acétique, ac.succinique) dont une partie est absorbée et utilisée dans le métabolisme.

Briand, 1999), la biomasse bactérienne peut atteindre 30% en poids sec d'amas de *Cladophora* en décomposition.

Verhougstraete *et al.* (2010) signalent que des bactéries pathogènes, notamment ***Clostridium botulinum* (typeE)** ont été identifiées dans des amas de *Cladophora* spp. Cette espèce de *Clostridium* est notamment responsable de la survenue de cas de botulismes chez des oiseaux piscivores dans les grands lacs américains. Les auteurs insistent sur l'importance de mener une évaluation des risques sanitaires concernant les pathogènes identifiés, de manière à évaluer les risques chroniques associés à la présence de *Cladophora* spp dans les eaux de baignade. Ils indiquent que lorsque des amas de *Cladophora* spp contenant des bactéries pathogènes bloquent l'accès à des zones de baignade, leur présence peut causer une augmentation du risque sanitaire par contact cutané direct. L'utilisation des indicateurs fécaux traditionnellement utilisés pour la surveillance des zones de baignade est d'après eux inadaptée pour gérer le risque d'infection humaine dans ce cas (Verhougstraete *et al.*, 2010).

Certaines recommandations des auteurs semblent pouvoir donner des pistes pour collecter les données nécessaires à l'évaluation et à la gestion de l'éventuel risque sanitaire lié à la pratique de la baignade ou de la consommation de coquillage dans les zones touchées par les marées vertes en France :

- améliorer la surveillance des pathogènes et des indicateurs de contamination fécale comme *E. coli* présents dans les amas d'algues ;
- identifier et quantifier les micro-organismes présents dans les amas d'algues fraîches et en état de décomposition ;
- étudier les effets des conditions environnementales sur les concentrations des micro-organismes dans l'eau ;
- développer et standardiser les méthodes de prélèvement dans les amas d'algues ou dans les eaux environnantes pour améliorer le système de surveillance.

Le fait que des pathogènes soient identifiés dans des amas de *Cladophora* peut laisser penser que le développement de pathogènes dans des amas de *Cladophora laetiniens*, d'*Ulva armonicana* ou d'*Ulva rotundata* observés en France ne peut être écarté.

Cependant cette conclusion n'est pas directement transposable au cas des marées vertes françaises. En effet, les travaux recensés ne portent que sur des eaux douces (lacs nord américains).

### 3 Dangers chimiques

Concernant les dangers chimiques, d'une part, il s'agit d'identifier les contaminants chimiques associés aux algues vertes et d'autre part de déterminer si les substances produites par les macro-algues responsables des marées vertes, et plus particulièrement les *Ulva* spp., peuvent présenter un danger en cas de :

- baignade dans des eaux contenant ou à proximité de ces algues ;
- consommation de coquillages ramassés ou élevés dans ces mêmes eaux.

La question se pose aussi bien pour les algues fraîches que pour celles en cours de décomposition.

#### 3.1 Données concernant une éventuelle toxicité intrinsèque des algues

La recherche bibliographique n'a permis d'identifier qu'une seule étude ayant investigué la toxicité intrinsèque des macro-algues par voie orale. Fahprathanchai *et al.* ont étudié la toxicité aiguë et la toxicité subchronique d'extraits éthanoliques d'algues (*Cladophora glomerata* et *Microspora floccosade*). Des rats ont reçu par voie orale une dose unique de 25 g/kg de poids corporel ou bien 0,5 g/kg ou 1,0 g/kg pendant 60 jours. Après administration unique, ont été observé une mortalité ainsi que des effets sur le comportement, la consommation d'aliments, le poids corporel et les viscères. Après 60 jours, aucun effet n'a été observé sur le poids corporel et les paramètres sanguins étudiés (hématocrite, alanine aminotransférase, aspartate aminotransférase, urée et créatinine) (Fahprathanchai *et al.*, 2006).

Il convient de noter que les lignes directrices de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) pour les essais de produits chimiques ne recommandent pas de tester un produit au-delà de 5 g/kg en dose unique et 1 g/kg en dose répétée.

En l'absence de données suffisantes permettant de répondre à la question posée, il a été considéré que les résultats d'études écologiques sur les populations de microfaunes et de coquillages présents sur la zone impactée par une prolifération d'algues vertes pouvaient constituer une source indirecte d'information sur une éventuelle toxicité de ces algues.

Dans une étude sur les facteurs influençant les communautés macro-benthiques dans un lagon des côtes portugaises, Carvalho *et al.* ont noté que les proliférations d'algues vertes (*Ulva* spp) étaient un facteur de déséquilibre de ces communautés, entraînant une réduction de l'abondance et de la diversité des espèces présentes (Carvalho *et al.*, 2011). A long terme, les travaux de Pranovi *et al.* ont montré que ces épisodes répétés conduisaient à une dominance des détritivores, des herbivores et des omnivores (Pranovi *et al.*, 2008). Toutefois, cette étude ne conduit pas à identifier une toxicité. En effet, les auteurs évoquent une réduction du taux d'oxygène avec une possible anoxie du milieu et une production de sulfures pour expliquer les effets observés.

En France, en baie de Roscoff, Ouisse *et al.* ont observé deux phases suite à un épisode de prolifération de macro-algues (*Enteromorpha* spp) (Carvalho *et al.*, 2011; Ouisse *et al.*, 2011). D'abord, une phase d'expansion algale accompagnée d'une augmentation de la diversité de la macrofaune et de l'abondance des foraminifères<sup>10</sup> (méiofaune<sup>11</sup>), puis les algues constituent une barrière physique limitant les échanges de sédiments et d'eau et conduisent à une diminution de la diversité de la faune. L'enrichissement des sédiments en matière organique par la décomposition des algues est favorable aux oligochètes, aux

<sup>10</sup> Les Foraminifères forment un ordre appartenant à la classe des Rhizopodes et à l'embranchement des Protozoaires. Ce sont des organismes surtout marins, libres ou fixés, dont le protoplasme est protégé par une coquille ou test.

<sup>11</sup> Animaux vivant dans les sédiments et de taille comprise entre 1 et 0,1 mm.

foraminifères et aux nématodes. Cette décomposition est responsable d'un appauvrissement du milieu en oxygène (condition hypoxique) et génère des substances toxiques (H<sub>2</sub>S et concentrations élevées en NH<sub>3</sub>) (Anses 2011a).

Ces études ne permettent pas de conclure quant à une éventuelle toxicité des algues vertes liée à un agent chimique en dehors de H<sub>2</sub>S et NH<sub>3</sub> déjà identifiés dans le rapport de l'Anses de juin 2011.

### 3.2 Données concernant la teneur des algues en éléments traces métalliques

Le CEVA a transmis le 20 décembre 2010 à l'Anses des données relatives à la composition de différents genres de macro-algues (*Ascophyllum*, *Enteromorpha*, *Fucus*, *Gracilaria*, *Laminaria*, *Ulva*) concernant leur teneur en glucides, protéines, lipides, divers acides gras et acides aminés, vitamines, éléments traces (éléments essentiels et contaminants toxiques). A titre d'exemple, le tableau 1 présente un bilan des résultats pour les ulves, concernant certains éléments traces métalliques.

Tableau 1 : bilan des résultats du CEVA pour les ulves, concernant certains éléments traces métalliques - 2010 (224 résultats, en mg/kg de matière sèche)

		Iode	Manganèse	Fer	Cuivre	Zinc	Nickel	Cobalt	Chrome
France	Minimum	18	5	55,4	3,2	8,49	0	0,29	5,6
	Maximum	300	57	2000	9	70	41,3	3,07	24,2
	moyenne	127,1	31,6	592,8	5,5	28,8	9,3	1,7	13,0
Monde	Minimum	12,9	5	46,5	2	5,9	0	0,29	2,64
	Maximum	300	103	5790	62	160	41,3	3,07	24,2
	moyenne	109,5	46,4	857,1	13,3	38,9	9,4	1,6	9,9

		Sélénium	Aluminium	Plomb	Cadmium	Mercure	Arsenic total	Arsenic inorganique	Etain
France	Minimum	0,01	0	0,2	0,066	0,01	1,45	0,02	0,04
	Maximum	0,068	0	6,1	0,383	0,999	8,8	1,93	0,16
	moyenne	0,0	0	2,5	0,2	0,1	5,0	0,6	0,1
Monde	Minimum	0,01	560	0,2	0,066	0,01	1,45	0,02	0,04
	Maximum	0,549	23100	6,1	2	0,999	8,8	4,27	0,16
	moyenne	0,1	5808,2	2,6	0,3	0,1	5,0	1,1	0,1

Ces valeurs sont en accord avec celles publiées par Akcali et Kucuksezgin (2011) pour le mercure, le cadmium, le plomb, le chrome, le cuivre, le zinc et le fer, sur divers types d'algues, dont les ulves sur les côtes de la mer Egée. Cette étude a également mesuré les concentrations de ces éléments dans l'eau de mer. Les facteurs de bioconcentration calculés étaient compris entre 3 (pour le plomb) et 1000 (pour le chrome). Cela signifie que les algues sont capables d'accumuler le chrome jusqu'à mille fois la concentration présente dans l'eau de mer. Au printemps, en période de croissance des algues favorisée par la température, la lumière et les nutriments, les concentrations en chrome et en cadmium étaient les plus basses (par rapport aux autres saisons de l'année) tandis que celles en mercure et en plomb étaient les plus élevées (Akcali et Kucuksezgin, 2011).

Concernant le cadmium, les capacités de biosorption par différents genres de macro-algues (*Sargassum*, *Ulva*, *Colpomenia*, *Codium*, *Padina* et *Gelidium*) ont été étudiées. Il en ressort que le genre *Ulva* a une affinité particulièrement faible pour le cadmium sous sa forme ionique, de l'ordre de 10 000 fois moindre que celle du genre *Sargassum* (Da Costa et De França, 2003).

Concernant l'arsenic total et inorganique, d'après un avis de l'Afssa de 2009 relatif aux laminaires, des résultats d'analyse fournis par le CEVA ainsi que les données de la littérature

montrent que les concentrations en arsenic total peuvent varier de 39 à 116 mg/kg de matière sèche et les concentrations en arsenic inorganique de 0,1 à 3,6 mg/kg de matière sèche (soit des teneurs le plus souvent inférieures à la limite maximale de 3 mg/kg de matière sèche proposée par le CSHPF en 1997) (Afssa 2009a).

L'apport d'arsenic par les algues laminaires consommées sous la forme de condiments, est négligeable par rapport à la contribution estimée des autres vecteurs plus courants de l'alimentation (Afssa 2009a).

De l'analyse des données accessibles et consultées, il ressort que les algues vertes peuvent contenir des traces d'éléments métalliques comme **le nickel, le chrome, le cobalt, le cadmium, le mercure, le plomb ou l'arsenic**. Toutefois ces données sur la composition des algues ne permettent pas de conclure sur un potentiel impact quant à la salubrité des coquillages pendant ou après un épisode de prolifération de macro-algues.

### 3.3 Contamination des algues par des polluants organiques persistants (POP) hors pesticides

Les données transmises par le CEVA ne comportent pas de résultat concernant les contaminants organiques de type hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), polychlorobiphényles (PCB) et dioxines.

Cependant d'après la littérature, les algues ont la capacité d'accumuler les HAP et les PCB.

Ainsi, les travaux de Pavoni *et al.* ont montré que des ulves (*Ulva rigida*), prélevées en différents points de la lagune de Venise, contenaient jusqu'à 56 µg/kg de matière sèche de HAP, avec une moyenne de 3,5 µg/kg. Cette teneur est à mettre en relation avec la forte activité maritime dans le lagon. Concernant les PCB, les concentrations maximales étaient inférieures à 2 µg/kg de matière sèche, avec une moyenne inférieure à 1 µg/kg (Pavoni *et al.*, 2003).

Dans une étude préliminaire, également dans le lagon de Venise, Micheli *et al.* ont relevé des concentrations en PCB dans les ulves (*Ulva laetevirens*) allant de 0,5 µg/kg de matière sèche (en février) à 123 µg/kg (en juillet) (Micheli *et al.*, 1995).

Dans la baie du Prince-William (côte sud de l'Alaska), les concentrations en HAP relevées dans des ulves (*Ulva fenestrata*) 13 ans après l'échouage du pétrolier Exxon Valdez étaient comprises entre 3 et 28 µg/kg de matière sèche (moyenne de 11 µg/kg) sur les sites touchés, comparés à des moyennes de 10 et 2 µg/kg dans des sites témoins (respectivement des sites non touchés par la catastrophe pétrolière et des sites exempts d'activité pétrolière (Neff *et al.*, 2006)).

Enfin, des expériences menées en laboratoire ont montré que *Cladophora glomerata* était capable d'accumuler des PCB après exposition à des sédiments contaminés (Larsson 1987), et que *Cladophora glomerata* et *Enteromorpha intestinalis* étaient capables d'accumuler le benzo-a-pyrène, après exposition à de l'eau de mer contaminée (Kirso et Irha, 1998).

La littérature met en évidence le fait que les macro-algues sont susceptibles d'être contaminées par des **HAP** et des **PCB**. Cependant, aucune des données collectées jusqu'en mai 2011 ne permet d'établir leur présence ni leur concentration dans les algues lors de marées vertes en France.

## 3.4 Contamination des algues par des résidus de pesticides, y compris ceux interdits

### 3.4.1 Contexte réglementaire européen

Dans le cadre de la réglementation européenne<sup>12</sup> relative aux produits phytopharmaceutiques, les substances actives font l'objet d'une évaluation initiale (en vue de leur autorisation) puis d'une ré-évaluation tous les 10 ans. Les dossiers déposés par les industriels répondent à des lignes directrices qui fixent les exigences en termes de données à fournir. Les données requises pour les milieux aquatiques se limitent aux eaux continentales souterraines et de surface. A ce jour, la réglementation ne prévoit pas d'évaluation des risques en ce qui concerne le milieu marin en Union européenne.

Pour les eaux de surface, cette évaluation prend notamment en compte la toxicité des pesticides vis-à-vis des algues unicellulaires, en se basant sur des essais en laboratoire. Aucun test n'est actuellement disponible pour les macro-algues. D'autre part, ces essais ont pour objectif d'évaluer la toxicité des molécules pour les algues, et non pour étudier le potentiel d'adsorption ou de bioaccumulation des pesticides par les algues.

L'exposition de ces milieux aux pesticides est estimée en calculant des concentrations prévisibles, à partir du comportement des substances. Ces calculs sont réalisés à l'aide de modèles validés au niveau européen, notamment sur la base d'un guide sur les écosystèmes aquatiques de la Commission européennes (2002) et des travaux du groupe de réflexion européen FOCUS<sup>13</sup>, opérant tout les deux dans le contexte de la Directive 91/414/CEE<sup>14</sup>. Aucun modèle n'est cependant actuellement disponible en Union européenne pour simuler l'exposition du milieu marin car non prévu par la réglementation européenne.

En revanche, les molécules lipophiles ont la capacité de s'adsorber sur les parois cellulaires des algues. Il est donc possible de retrouver des quantités non négligeables de substances lipophiles sur ces algues, par adsorption et non par accumulation. Ces molécules restent sur la paroi cellulaire et ne pénètrent pas dans les cellules.

Concernant les produits biocides, la réglementation européenne<sup>15</sup> prévoit une évaluation des substances actives avant d'être autorisées à entrer dans la composition de produits. Dans le cas particulier des produits de type 21 « anti-salissures » (correspondant aux produits utilisés pour lutter contre le développement et le dépôt d'organismes salissants tels que les micro-organismes et les formes supérieures d'espèces végétales ou animales, sur les navires, le matériel d'aquaculture ou d'autres installations utilisées en milieu aquatique) les données requises peuvent s'appliquer au milieu marin. Toutefois, ces dossiers sont en cours d'examen au niveau européen et les données qu'ils contiennent sont en accès réservé.

Les données produites dans le cadre des programmes européens d'évaluation des substances actives utilisées dans les produits phytopharmaceutiques ou dans les produits biocides ne permettent pas d'établir quelles substances pourraient contaminer les algues lors de marées vertes en France, ni à quelles concentrations.

<sup>12</sup> Règlement (CE) n°1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil

<sup>13</sup> FOCUS: Forum for the Co-ordination of Pesticide Fate Models and their Use - <http://focus.jrc.ec.europa.eu/index.html> (site consulté le 19/01/2012).

<sup>14</sup> Directive 91/414/CEE du Conseil du 15 juillet 1991 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques

<sup>15</sup> Directive 98/8/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 février 1998 concernant la mise sur le marché des produits biocides

### 3.4.2 Contamination des eaux côtières en France

La synthèse de l'Observatoire des résidus de pesticides (ORP, 2010) indique la présence d'herbicides<sup>16</sup> dans les eaux côtières des trois façades maritimes. Ces substances sont transportées essentiellement sous forme dissoute, la fraction adsorbée aux matières en suspension étant inférieure à 1%. Les sédiments ne semblent donc pas un lieu de stockage de pesticides.

Les études menées par l'Ifremer dans le cadre du programme ACE<sup>17</sup> entre 1999 et 2002 ont mis en évidence la contamination des eaux des zones portuaires par des substances telles que l'Irgarol 1051, le chlorothalonil, le dichlofluanid et le diuron.

Les données produites par l'Ifremer et collectées dans le cadre des missions de l'ORP ne permettent pas d'identifier des substances susceptibles de contaminer les algues lors de marées vertes en France, ni leurs concentrations.

### 3.4.3 Données de contamination des algues en Italie

Les travaux de Pavoni *et al.* ont montré que des ulves (*Ulva rigida*), prélevées en différents points de la lagune de Venise, contenaient en moyenne moins de 1 µg/kg de matière sèche de pesticides chlorés interdits à la commercialisation (Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT), Dichlorodiphényldichloroéthylène (DDD), Dichlorodiphényldichloroéthane (DDE) et hexachlorobenzène). La valeur maximale était inférieure à 2 µg/kg d'algue. Les teneurs mesurées en lindane n'ont jamais dépassé 0,1 µg/kg. La teneur dans l'eau de ces substances n'a pas été mesurée de sorte qu'il n'est pas possible d'en déduire le facteur de bioconcentration (Pavoni *et al.*, 2003).

Dans une autre lagune italienne du delta du Pô (Sacca di Goro), les herbicides les plus fréquemment détectés sur 4 stations de prélèvements étaient la terbuthylazine, la simazine, le métolachlor, le chlorazinon, le molinate et leurs métabolites. Dans les ulves, les concentrations moyennes en simazine et atrazine étaient respectivement de 3,27 et 6,01 µg/kg. Les teneurs en terbuthylazine ont montré une forte variation temporelle avec un pic au printemps, atteignant 300 µg/kg. Les facteurs de bioconcentration par rapport aux sédiments étaient de 17 pour la simazine et de 32 pour l'atrazine. Il est intéressant de noter que les palourdes japonaises, prélevées aux mêmes endroits que les ulves, étaient moins contaminées. Cela correspond à des teneurs en atrazine, simazine et terbuthylazine de 1,5 ; 1,67 et 70 µg/kg au pic printanier (le reste de l'année, la teneur est plus basse, proche de la limite de détection) (Carafa *et al.*, 2007).

Les données de la littérature, toutes relatives à des observations réalisées en Italie avant 2007, rapportent la présence dans les ulves de pesticides interdits à la commercialisation : **pesticides chlorés (DDT, DDD, DDE et hexachlorobenzène), terbuthylazine, la simazine, atrazine**. Les concentrations en pesticides observées dans les ulves subissent des variations saisonnières. Aucune des données collectées ne permet d'établir la contamination des algues lors de marées vertes en France.

Les concentrations relevées dans l'eau de mer par Carafa *et al.* (2007) étaient de l'ordre du nanogramme par litre (quelques dizaines à quelques centaines de ng/l). A titre de comparaison, l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine fixe :

<sup>16</sup> les triazines (atrazine, simazine, terbuthylazine, et leurs produits de dégradation (déthylatrazine, déisopropylatrazine), les amides (tébutam) et les acétanilides (alachlore, métolachlore) (Arzul *et al.*, 2004b). Il convient de souligner que les triazines sont interdites en France depuis 2003. Ces données doivent être considérées à titre d'exemple dans la mesure où elles ne concernent que la famille des triazines.

<sup>17</sup> ACE : Assessment of Antifouling Agents in Coastal Environment, programme européen MAST III, sur la contamination du milieu littoral par des substances biocides anti-salissures alternatives au tributylétain

- pour les eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, 2 microgrammes par litre pour chaque pesticide et à 5 microgrammes par litre pour le total des pesticides ;
- pour les eaux destinées à la consommation humaine, 0,1 microgramme par litre pour chaque pesticide (sauf aldrine, dieldrine, heptachlore et heptachlorépoxyde : 0,03 microgramme par litre) et à 0,5 microgramme par litre pour le total des pesticides.

### 3.5 Contamination des algues par des résidus de médicaments

Les connaissances sur le devenir des résidus de médicaments dans l'environnement aquatique et leur répartition entre les différents compartiments sont encore limitées, en particulier en ce qui concerne le passage dans le biote. Quelques études ont conduit à l'analyse de la teneur en résidus de médicaments chez des poissons (Brooks *et al.*, 2005; Chu et Metcalfe, 2007; Metcalfe *et al.*, 2010; Nakamura *et al.*, 2008; Ramirez *et al.*, 2009), plus rarement chez les mollusques (Le Bris et Pouliquen, 2004). En revanche, aucune étude relative à la présence de résidus de médicaments dans les algues n'a pu être identifiée.

Concernant la bioaccumulation pour les plus bas niveaux trophiques (Bachelot 2010) :

« Il existe plusieurs voies d'entrée pour une substance dans un organisme : directement à partir de l'eau par adsorption sur la surface de l'organisme telle que la barrière cutanée ou par adsorption dans des zones d'échange telles que les branchies ou les parois digestives, ou par ingestion de proies contaminées. Chez les organismes aquatiques simples tels que le plancton, la bioaccumulation se fait par des phénomènes d'absorption passifs. »

« Toutes les espèces n'ont pas les mêmes capacités d'accumulation des contaminants organiques. Tout d'abord, la teneur en lipides est souvent un facteur influant puisqu'il constitue un compartiment de stockage important. De manière générale, les niveaux trophiques supérieurs peuvent accumuler plus que les niveaux inférieurs (Deudero *et al.*, 2007). »

Aucune étude relative à la présence de résidus de médicaments dans les algues n'a pu être identifiée.

### 3.6 Substances potentiellement toxiques produites par des macro-algues vivantes

Comme cela est rappelé dans le chapitre 1.2., à l'état frais les algues majoritairement impliquées dans les marées vertes, à savoir les ulves, sont considérées comme comestibles. Ainsi, *a priori*, elles ne contiennent et ne produisent pas de substances toxiques en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé humaine.

Cependant, sur la base de l'audition du CEVA, certaines substances produites par les ulves et d'autres genres d'algues responsables des échouages estivaux massifs, sont préoccupantes :

- produits par *Ulva* et *Ulvaria* : l'acide acrylique et le diméthylsulfure (DMS), issus du clivage enzymatique du dimethyl sulphonium propionate (DMSP) libéré sous l'effet d'un stress (par exemple fragmentation de l'algue par le ressac).
  - o L'acide acrylique est un corrosif pour la peau et les yeux. L'inhalation entraîne des irritations par voies aéro-digestives. L'odeur assez forte et désagréable est détectée par certaines personnes à des concentrations très faibles. Le seuil de perception est de 0,094 ppm, mais la majorité des sujets ne le perçoit qu'à partir de 1 ppm. Des réactions allergiques de type urticaires ont aussi été rapportées en milieu professionnel. Par voie orale, la toxicité est faible lorsque les essais chez les animaux de laboratoire sont exposés via l'eau de boisson. En revanche, par gavage, chez l'animal, l'acide acrylique induit une érosion de la muqueuse

gastrique, un afflux excessif de sang et une pathologie pulmonaire de type œdème et/ou emphysème (INRS 2005).

- Le DMS a été mis en cause dans des lots d'ormeaux en Afrique du Sud, causant un goût et une odeur désagréable de chou. Dans ce cas, il s'est formé par dégradation du DMSP accumulé dans ces coquillages lors du procédé de mise en conserve (Smit *et al.*, 2007), sous l'effet de la décomposition, des ions ammonium, des sels de sodium et de potassium, acide acétique et acide propionique (Morand et Briand, 1999; Nedergaard *et al.*, 2002). Son seuil de perception olfactive est très bas (entre 0,02 et 0,1 ppm) et il est utilisé en tant qu'arôme alimentaire (Smit *et al.*, 2007). *Enteromorpha intestinalis* produit également du DMSP (Gage *et al.*, 1997).

- produits par *Ulvaria* : en plus des deux composés précédents, il faut citer la dopamine qui constitue en moyenne 4,4 % du poids de l'algue (en poids sec) dans l'étude de Van Alstyne *et al.* (Van Alstyne et Puglisi, 2007). Ces auteurs suggèrent que la production de dopamine par l'algue est un moyen de défense contre la pression des herbivores (oursins, escargots marins). Nelson *et al.* ont également montré que des composés solubles exsudés d'*Ulvaria obscurata* et d'*Ulva fenestrata* (aussi appelée *Ulva lactuca*), inhibent la germination des algues brunes, le développement des larves d'huîtres et la croissance de *Ulva* spp et *Ulvaria* spp. Toutefois, les effets observés avec les 2 types d'extraits (d'*Ulvaria* et d'*Ulva*) ne sont pas les mêmes, suggérant une composition différente (Nelson *et al.*, 2003). Chez l'homme, la dopamine a des effets sur le rythme cardiaque (augmentation), la vasoconstriction veineuse (maintien de la pression artérielle) et entraîne une vasodilatation des artères rénales (maintient d'une diurèse). Cependant, elle ne peut pas être adsorbée par voie orale, car elle est dégradée au niveau de l'intestin (2011).

- les algues brunes comme *Pilayella* relarguent de l'iode ;

- toutes les algues marines, en particulier les brunes et les rouges, peuvent produire des hydrocarbures halogénés légers (chlorométhane, bromométhane, iodométhane, chloroforme, bromoforme, iodoforme, etc.) ;

- de même, peuvent être produits de l'isoprène et des composés terpéniques.

L'excrétion de peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a été rapportée à partir d'organismes intacts d'*Ulva rigida* (Collén et Pedersen, 1996).

Enfin, *Ulva lactuca* produit des bromophénols, parmi lesquels le 2,4,6 tribromophénol, qui peut être excrété à des concentrations élevées (Flodin et Whitfield, 1999). Le 2,4,6 tribromophénol est non-irritant pour la peau mais irritant pour les yeux. La dose sans effet par gavage répétée chez le rat (étude de toxicité sur la reproduction et le développement OCDE 422) est de 100 mg/kg de poids corporel/jour. Les effets observés à la plus forte dose testée (1000 mg/kg) comprenaient une suppression du gain de poids, une augmentation du poids du foie et de certains paramètres sanguins (2003).

D'après la littérature, les macro-algues, sont susceptibles de produire des substances préoccupantes : **DMS, acide acrylique, acide propionique, dopamine, chlorométhane, bromométhane, iodométhane, chloroforme, bromoforme, iodoforme, bromophénols, isoprène et des composés terpéniques**. Il semble donc possible que les dépôts massifs d'algues en France contiennent certaines de ces substances. Cependant, aucune donnée permettant de le vérifier n'a été identifiée.

### 3.7 Substances potentiellement toxiques issues de la décomposition des macro-algues

La décomposition d'*Ulva lactuca* par des bactéries (notamment des sulfato-réductrices) peut amener à la production de CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, etc. (Lomstein *et al.*, 2006).

En cas de fermentation lactique d'*Ulva* spp (milieu en anaérobiose ou microaérobiose, contenant 3% de sel), les produits majoritaires sont l'acide lactique (80%) et de l'éthanol. Le résultat de cette fermentation seraient adaptés pour une consommation alimentaire (Nedashkovskaya *et al.*, 2005).

Le diméthylsulphoniopronate (DMSP) est fortement concentré dans *Ulva* spp et ses métabolites, tel que le diméthylsulfide volatil, issues de sa décomposition par des bactéries, peut être une des sources majeures de composés organiques volatils (COV) (Castaldelli *et al.*, 2003).

La présence de bactéries sulfato-réductrices sur et dans les thalles des ulves avant décomposition expliquerait en partie la forte accumulation de H<sub>2</sub>S dans l'eau pendant leur décomposition (Nedergaard *et al.*, 2002).

Certaines substances peuvent également être émises sous forme de gaz au cours de la décomposition : ammoniac, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, méthylmercaptopan, DMS, Diméthylsulfoxyde (DMSO). En 2009 l'INERIS a aussi relevé du toluène et du chlorobenzène.

La littérature rapporte que la décomposition de macro-algues peut être accompagnée de la production de composés variés : protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S), dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), Ammoniac (NH<sub>3</sub>), méthylmercaptopan, toluène, chlorobenzène, Diméthylsulfure (DMS) ou Diméthylsulfoxyde (DMSO). Dans le cas où les conditions anaérobies de salinité, de température et de flore microbienne sont réunies, la décomposition peut également passer par une fermentation lactique, avec comme principaux produits l'acide lactique et de l'éthanol. Cependant, la nature et la concentration des substances issues de cette décomposition varient en fonction des conditions environnementales, et il reste difficile de prévoir les produits issus d'un tel phénomène.

## 4 Exposition

### 4.1 Résultats de surveillance disponibles pour les zones touchées par les marées vertes

#### 4.1.1 Surveillance de la qualité des eaux de baignade

Le contrôle sanitaire des eaux de baignade en mer et en eaux douces fréquentées par le public est organisé par les Agences régionales de santé (ARS). Il porte essentiellement sur la qualité microbiologique des eaux, en vue de prévenir les risques sanitaires liés à des activités de baignade (gastro-entérites, infections oto-rhino-laryngologique (ORL) et manifestations cutanées). La directive européenne 2006/7/CE, du 15 février 2006, concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE, a été transposée en droit français par l'arrêté du 22 septembre 2008 relatif à la fréquence d'échantillonnage et aux modalités d'évaluation de la qualité et de classement des eaux de baignade. L'annexe 1 de cet arrêté fixe les limites de qualité pour le classement des eaux de baignade côtières et de transition.

Comme rappelé par l'Anses en 2010, « *En application de la directive 2006/7/CE, le profil de chaque eau de baignade devait être établi pour la première fois avant le 1<sup>er</sup> décembre 2010. Parmi les différentes sources de pollutions qui doivent être recensées dans le cadre de l'élaboration de ce profil de baignade, le Guide national pour l'élaboration d'un profil de baignade (Ministère de la santé et des sports, Décembre 2006), évoque les épisodes de prolifération d'algues* » (2010).

« *Les articles L. 1332-3 et D. 1332-20 du code de la santé publique ont confié la charge d'établir ces profils aux personnes responsables de baignades, qu'elles soient publiques ou privées* » (2010).

Des résultats de surveillance de la qualité des eaux de baignade, de 2004 à 2010, ont été transmis à l'Anses par l'ARS de Bretagne, notamment pour des zones touchées par des marées vertes (Annexe 3). Ces résultats intègrent déjà, pour les saisons balnéaires 2007 à 2010, des simulations de classement des baignades contrôlées, selon les modalités décrites dans la directive 2006/7/CE.

Cependant, ces résultats donnent peu d'information sur la présence d'algues.

#### 4.1.2 Surveillance de la contamination des coquillages

Sur les sites faisant l'objet d'une fréquentation par les amateurs de pêche à pied, les ARS ont mis en place un réseau de surveillance sanitaire depuis 1997. Ce réseau a été mis en place en complément de celui concernant les zones de production conchylicoles exploitées par des professionnels.

Concernant les productions professionnelles, on distingue les zones de production (ou zones d'élevage) et la pêche à pied professionnelle qui se pratique sur des gisements naturels. Ces productions professionnelles empruntent les circuits normaux de commercialisation qui font l'objet d'un suivi de qualité. « *Lors de leur mise sur le marché, les coquillages doivent répondre aux critères microbiologiques fixés par le règlement (CE) n°2073/2005. Pour les mollusques bivalves vivants, les critères de sécurité concernent Escherichia coli (E. coli) dont le dénombrement doit être inférieur à 230 UFC/100g de chair et de liquide inter valvaire (CLI) et Salmonella avec une absence dans 25g de CLI. La conformité des produits à ces critères est une obligation réglementaire pour les exploitants conchylicoles* » (2010).

« *Depuis 2009, la Direction générale de l'alimentation (DGAI) a mis en place un plan de surveillance de la contamination par Escherichia coli des mollusques vivants. Ce plan de surveillance concerne onze régions littorales et l'Île-de-France pour un total de 500 analyses*

annuelles. Depuis la mise en place de ce plan de surveillance par la DGAI, les plans de contrôle précédemment assurés par les directions départementales des services vétérinaires ne sont plus effectués qu'en cas de mise à jour des agréments sanitaires ou lors d'investigations spécifiques (suspicion, alerte, TIAC, etc.) » (2010).

L'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) est chargé par l'Etat de la surveillance permanente de la qualité microbienne, phytoplanctonique et chimique de ces zones de production. Elle utilise pour cela son Réseau de contrôle microbiologique des zones de production conchylicole (REMI). Les résultats conduisent au classement des zones en A, B, C ou D, par ordre décroissant de salubrité. Ce classement, fixé par arrêté préfectoral, est basé sur la recherche et le dénombrement de bactéries indicatrices de contamination fécale *Escherichia coli* (*E. coli*) dans la chair et le liquide inter-valvaire (CLI) des coquillages en élevage. Les coquillages issus d'une zone classée A peuvent être récoltés et directement commercialisés, ceux provenant d'une zone classée B doivent être purifiés avant commercialisation, ceux provenant d'une zone C doivent être reparqués pendant deux mois minimum avant commercialisation ou commercialisés après destruction des micro-organismes pathogènes par stérilisation ou par traitement thermique. Toute exploitation de coquillages est interdite en zone D. Les limites réglementaires des zones sont :

- zone A : 100 % des prélèvements doivent être < à 230 *E. coli*/100 mL ;
- zone B : 90 % des prélèvements doivent être < à 4600 *E. coli*/100 mL et 100 % des prélèvements doivent être < à 46000 *E. coli*/100 mL ;
- zone C : 100 % des prélèvements doivent être < à 46000 *E. coli*/100 mL ;
- zone D : existence de résultats > à 46000 *E. coli*/100 mL.

L'annexe 4 est une synthèse des résultats de surveillance des gisements de coquillages entre 2001 et 2010.

Spécifiquement pour la surveillance microbiologique des zones de production conchylicole et du risque lié à la consommation des coquillages, l'Afssa a mené une expertise sur la pertinence des indicateurs actuels (avantages et inconvénients), qui n'a pas permis d'en proposer de nouveaux (2008).

#### **4.1.3 Consommation directe des macro-algues présentes dans les marées vertes**

A l'exception d'une étude menée spécifiquement sur une population végétarienne en 1997 et indiquant que la consommation moyenne d'algues (tous types d'algues confondus) peut varier de 2,5 à 70 g/jour, aucune donnée n'a pu être répertoriée concernant la consommation d'algues en France et plus spécifiquement la consommation d'algues laminaires en population générale. En l'absence de telles données, aucune estimation de la contribution des algues à l'apport total en substances chimiques ou micro-organismes qu'elles pourraient contenir n'est réalisable. Cependant, selon un avis de l'Afssa, l'apport d'arsenic par les algues laminaires, consommées sous la forme de condiments, apparaît négligeable par rapport à la contribution estimée des autres vecteurs plus courants de l'alimentation. Dans le cas d'une consommation de ces algues sous la forme de légumes, la contribution à l'apport estimé en arsenic total et en arsenic inorganique nécessiterait d'être reconsidéré sur la base de données précises de consommations alimentaires (Afssa 2009a).

#### 4.1.4 Recensement des lieux de marée vertes

Le contrôle de surveillance, défini par la Circulaire DCE 2007/20<sup>18</sup> et plus récemment par l'arrêté du 25 janvier 2010<sup>19</sup> établissant le programme de surveillance, a pour objectifs :

- d'apprécier l'état écologique et chimique des masses d'eau côtières et de transition ;
- de compléter et valider le classement en risque de non respect des objectifs environnementaux (RNROE) ;
- d'évaluer à long terme les éventuels changements du milieu liés à l'activité humaine ;
- de contribuer à la définition des mesures opérationnelles à mettre en place pour atteindre le bon état écologique.

Ces textes définissent les éléments de qualité suivis au titre du contrôle de surveillance ainsi que les fréquences d'échantillonnage pour chacun des paramètres. Les macro-algues (intertidales et subtidales), notamment les algues vertes, font partie des paramètres à surveiller. Le choix des points de surveillance et les stratégies d'échantillonnage tiennent compte des réseaux de surveillance déjà existants et mis en œuvre par l'Ifremer, parmi lesquels le Réseau de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines (REPHY), le Réseau d'observation de la contamination chimique du littoral (ROCCH), le Réseau benthique (REBENT), le Réseau intégrateurs biologiques (RINBIO) et des réseaux de suivi de la qualité des eaux saumâtres et marines mis en œuvre par les Directions régionales de l'environnement de l'aménagement et du logement (DREAL).

La surveillance chimique est effectuée sous la responsabilité des agences de l'eau : Artois-Picardie, Seine-Normandie, Loire-Bretagne, Adour-Garonne, Rhône-Méditerranée et Corse. La surveillance écologique s'effectue sous la responsabilité de l'Ifremer.

A titre d'exemple, pour le bassin Loire-Bretagne, les réseaux de surveillance DCE ont été définis par le groupe de travail « DCE littoral Loire-Bretagne » en tenant compte des recommandations émises au niveau national. Les résultats acquis par les réseaux de surveillance de la DCE sont présentés dans un atlas interactif. Une extraction de cet atlas, présentée en annexe 5, permet de localiser les lieux de surveillance où des macro-algues ont pu être observées à la date du 31/12/2009. Ainsi, 19 lieux, répartis sur les côtes de la péninsule bretonne et de la Vendée ont fait l'objet d'une surveillance. L'état des lieux officiel du littoral devrait être mis à jour en 2013.

## 4.2 Facteurs susceptibles de limiter l'exposition

### 4.2.1 Ramassage systématique des amas d'algues

Depuis 2010, les principales communes touchées par le phénomène des marées vertes organisent un ramassage systématique des amas d'algues vertes échouées. Les Services de ramassage fonctionnent 7 jours sur 7 dès que les premiers échouages sont constatés, avec pour objectif de ramasser les algues avant qu'elles n'aient eu le temps de se décomposer. De fait, ces mesures sont de nature à limiter les problèmes sanitaires liés aux échouages massifs d'algues vertes dans les zones de baignade ou de récolte de coquillages, en France. La question de l'évaluation du risque sanitaire lié à des échouages massifs d'algues vertes reste cependant posée pour les zones inaccessibles au ramassage mais dont la fréquentation ne peut être exclue, en admettant que ces mêmes zones soient accessibles au public pour le ramassage de coquillages ou la baignade.

<sup>18</sup> Circulaire DCE 2007/20 du 05 mars 2007 relative à la constitution et la mise en œuvre du programme de surveillance (contrôle de surveillance, contrôles opérationnels, contrôles d'enquête et contrôles additionnels) pour les eaux littorales (eaux de transition et eaux côtières) en application de la directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 du Parlement et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau

<sup>19</sup> Arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement

#### 4.2.2 Environnement peu attirant pour une activité de baignade

Concernant les activités de baignade, en l'absence de ramassage, il est vraisemblable qu'une présence massive d'algues, surtout en voie de décomposition, n'incite pas à se baigner (odeur, aspect, ...). L'exposition d'individus à des eaux contenant ou à proximité d'amas d'algues semble peu probable.

### 4.3 Evaluation de l'exposition

En faisant abstraction des facteurs susceptibles de limiter l'exposition du public à des amas d'algues vertes sur les côtes françaises, évoqué en 4.2., certains éléments pourraient être pris en compte pour en réaliser une évaluation.

Des systèmes d'observation ont été mis en place et des données de surveillance permettent de localiser les zones de présence massive d'algues sur les côtes métropolitaines françaises. Il est donc possible d'identifier les zones où le public est susceptible d'entrer en contact direct avec des amas d'algues vertes. Cependant, cette information ne suffit pas à évaluer l'exposition aux dangers microbiologiques ou chimiques auxquels les algues peuvent être associées.

Différents éléments donnent des informations sur les niveaux d'exposition aux dangers identifiés des baigneurs ou des consommateurs de coquillages qui fréquentent ces zones : données de la surveillance des eaux de baignade ou données de contamination des coquillages (Annexes 3, 4 et 5). Ces éléments concernent essentiellement les dangers microbiologiques. Cependant, il n'existe aucun élément permettant de déterminer la part de responsabilité attribuable aux algues des niveaux de contamination microbiologique observés sur la base des indicateurs surveillés.

Compte tenu des éléments présentés dans les chapitres 2 et 3, on ne peut exclure que des marées vertes puissent être à l'origine de dangers microbiologiques et chimiques. Cependant, les milieux marins côtiers sont des écosystèmes complexes et influencés par de nombreux facteurs. En l'état actuel des connaissances, on ne peut attribuer à la présence d'amas d'algues échoués sur les plages métropolitaines, tout ou partie de l'exposition à des dangers microbiologiques ou chimiques identifiés dans le présent rapport.

## 5 Conclusions et recommandations

### 5.1 Faisabilité de l'évaluation des risques sanitaires

L'objectif de ce travail était d'apprécier la faisabilité et la pertinence de mener une évaluation des risques sanitaires pour le public, liée aux échouages massifs d'algues vertes observés sur les côtes françaises métropolitaines, particulièrement dans les cadres de :

- la pratique de la baignade ;
- la consommation de coquillages ramassés dans ces zones.

Des dangers chimiques et microbiologiques potentiellement associés à l'échouage massif d'algues vertes sur des côtes ont été identifiés. Les dangers ont été caractérisés en fonction de l'état de conservation des algues auxquelles ils étaient associés : état frais et/ou état de décomposition. Cependant, l'ensemble des dangers identifiés dans ce rapport ne peut pas être considéré comme exhaustive à ce stade. Par ailleurs les études et données d'observations disponibles concernent rarement les côtes françaises métropolitaines et leurs spécificités (climats, courants, marées, présence importante d'élevages agricoles en Bretagne, etc.).

Les données d'exposition répertoriées sont également limitées. La surveillance des eaux de baignade, de la contamination des coquillages ou des marées vertes apporte des informations intéressantes. Cependant, elles ne permettent pas à elles seules la réalisation d'une évaluation quantitative des risques. Il serait nécessaire pour cela de disposer de résultats d'analyses sur des macro-algues, des coquillages, de l'eau et des sédiments, avant/pendant/après des épisodes de prolifération de macro-algues, sur les côtes françaises. Dès lors, il n'a pas été possible dans le cadre de cette revue, d'estimer l'exposition des populations de baigneurs ou de consommateurs de coquillages aux dangers identifiés, ni de déterminer la part attribuable aux épisodes de développements massifs de macro-algues en France.

Du point de vue épidémiologique, aucune des publications analysées dans le cadre de ce travail et portant sur des dangers microbiologiques ou chimiques en lien avec un épisode de prolifération de macro-algues, n'a mentionné de symptômes chez l'Homme, après une activité de baignade ou la consommation de coquillages ramassés dans ces zones (ex : toxi-infections, irritations, etc.).

### 5.2 Recommandations d'études et de recherches

Afin d'objectiver un éventuel signal sanitaire, l'Anses recommande de documenter des cas cliniques au sein des populations pratiquant des activités de baignade et/ou de ramassage de coquillages dans les zones touchées par les marées vertes.

L'Anses estime que la faisabilité d'une évaluation quantitative des risques sanitaires est conditionnée par l'obtention préalable de données, tant sur le volet « caractérisation des dangers » que sur le volet « estimation de l'exposition ».

Concernant les dangers à prendre en compte, il serait nécessaire de compléter la liste des agents microbiologiques et chimiques identifiés dans ce travail prospectif, en recueillant des données spécifiques des côtes françaises. Un travail de caractérisation plus poussé serait également à envisager pour disposer notamment des relations doses-réponses.

Concernant l'évaluation de l'exposition, il conviendrait de prélever des macro-algues, des coquillages, de l'eau et des sédiments, avant/pendant/après des épisodes de prolifération de macro-algues. Cela permettrait d'appréhender la variabilité spatio-temporelle de la nature et de la quantité des différentes espèces d'algues et des différents dangers présents. Aussi, d'éventuels liens entre développements massifs de macro-algues et dangers pourraient être testés.

## Références bibliographiques

- Abd-Alnaby H (2010) Bacteria-algae interactions in abu-qir marine ecosystem and some applied aspects of algal extracts. *Journal of Applied Sciences Research* **6**, 345-357.
- Afssa. Avis concernant *V. cholerae*, *V. vulnificus* et *V. parahaemolyticus* (n°1999 SA-0013). 2-12-1999.
- Afssa. Avis relatif à la révision de l'arrêté ministériel du 21/12/1979 relatif aux critères microbiologiques auxquels doivent satisfaire certaines denrées animales ou d'origine animale (n°2003-SA-0039).
- Afssa. Avis de l'Afssa du 26 juillet 2007, relatif à la mise en place de règles hygiéniques d'utilisation de l'eau de mer propre pour la manipulation des produits de la pêche.
- Afssa. Avis de l'Afssa du 16 mai 2008, relatif à une demande d'évaluation d'un projet d'arrêté relatif à l'emploi de substances à but nutritionnel ou physiologique et de plantes et préparations de plantes dans la fabrication de compléments alimentaires.
- Afssa (2008) Évaluation du dispositif de surveillance microbiologique des zones de production conchylicole et du risque lié à la consommation des coquillages, notamment dans la situation du bassin d'Arcachon.
- Afssa. Avis de l'Afssa du 17 avril 2009 relatif à la teneur maximale en arsenic inorganique recommandée pour les algues laminaires et aux modalités de consommation de ces algues compte tenu de leur teneur élevée en iode. 2009a.
- Afssa. Fiche de description de danger microbiologique transmissible par les aliments : *Staphylococcus aureus* et entérotoxines staphylococciques, Staphylocoques doré. 2009b.
- Afssa. Fiche de description de danger microbiologique transmissible par les aliments : *Vibrio parahaemolyticus*. 2009c.
- Akcali I, Kucuksezgin F (2011) A biomonitoring study: Heavy metals in macroalgae from eastern Aegean coastal areas. *Mar. Pollut. Bull* **62**, 637-645.
- Alang G, Kaur R, Singh A, Budlakoti P, Singh A, Singla P (2009) Antimicrobial activity of *Ulva lactuca* extracts and its fractions. *Pharmacologyonline* **3**, 107-117.
- Anses (2010) Contamination de coquillages marins par le virus de l'hépatite A.
- Anses. Algues vertes - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. 2011a.
- Anses. Avis de l'Anses, du 10 février 2011, relatif à une évaluation du risque lié à la réouverture d'une zone conchylicole fermée pour cause de présence avérée de calicivirus (norovirus et sapovirus) dans les coquillages vivants. 10-2-2011b.
- Anses. Fiche de description de danger microbien transmissible par les aliments : Caractéristiques et sources de *Cryptosporidium spp.* 2011c.
- Anses. Fiche de description de danger microbien transmissible par les aliments : Caractéristiques et sources de *Giardia duodenalis*. 2011d.
- Anses. Fiche de description de danger microbien transmissible par les aliments : *Toxoplasma gondii*. 2011e.
- Anses. Fiche de description de danger microbiologique transmissible par les aliments : Virus de l'hépatite A. 2011f.
- Bachelot M (2010) Contamination de moules (*Mytilus sp.*) en milieu marin par des substances pharmaceutiques et produits de soin. Université Montpellier 1- Unité de formation et de recherche des sciences pharmaceutiques et biologiques.
- Brooks BW, Chambliss CK, Stanley JK, Ramirez A, Banks KE, Johnson RD, Lewis RJ (2005) Determination of select antidepressants in fish from an effluent-dominated stream. *Environmental Toxicology and Chemistry* **24**, 464-469.
- Burke C, Thomas T, Lewis M, Steinberg P, Kjelleberg S (2011) Composition, uniqueness and variability of the epiphytic bacterial community of the green alga *Ulva australis*. *ISME Journal* **5**, 590-600.

- Byappanahalli MN, Sawdey R, Ishii S, Shively DA, Ferguson JA, Whitman RL, Sadowsky MJ (2009) Seasonal stability of Cladophora-associated Salmonella in Lake Michigan watersheds. *Water Res* **43**, 806-814.
- Byappanahalli MN, Shively DA, Nevers MB, Sadowsky MJ, Whitman RL (2003) Growth and survival of Escherichia coli and enterococci populations in the macro-alga Cladophora (Chlorophyta). *FEMS Microbiol Ecol.* **46**, 203-211.
- Byappanahalli MN, Whitman RL, Shively DA, Ferguson J, Ishii S, Sadowsky MJ (2007) Population structure of Cladophora-borne Escherichia coli in nearshore water of Lake Michigan. *Water Res* **41**, 3649-3654.
- Callow JA, Callow ME (2006) Biofilms. *Progress in molecular and subcellular biology.* **42**, 141-169.
- Carafa R, Wollgast J, Canuti E, Ligthart J, Dueri S, Hanke G, Eisenreich SJ, Viaroli P, Zaldyvar JM (2007) Seasonal variations of selected herbicides and related metabolites in water, sediment, seaweed and clams in the Sacca di Goro coastal lagoon (Northern Adriatic). *Chemosphere* **69**, 1625-1637.
- Carvalho S, Pereira P, Pereira F, de PH, Vale C, Gaspar MB (2011) Factors structuring temporal and spatial dynamics of macrobenthic communities in a eutrophic coastal lagoon (Obidos lagoon, Portugal)  
1. *Mar. Environ Res* **71**, 97-110.
- Castaldelli G, Welsh DT, Flachi G, Zucchini G, Colombo G, Rossi R, Fano EA (2003) Decomposition dynamics of the bloom forming macroalga Ulva rigida C. Agardh determined using a 14C-carbon radio-tracer technique. *Aquatic Botany* **75**, 111-122.
- Chu S, Metcalfe CD (2007) Analysis of paroxetine, fluoxetine and norfluoxetine in fish tissues using pressurized liquid extraction, mixed mode solid phase extraction cleanup and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* **1163**, 112-118.
- Collén J, Pedersén M (1996) Production, scavenging and toxicity of hydrogen peroxide in the green seaweed Ulva rigida. *European Journal of Phycology* **31**, 265-271.
- Cosquer A, Pichereau V, Pocard JA, Minet J, Cormier M, Bernard T (1999) Nanomolar levels of dimethylsulfoniopropionate, dimethylsulfonioacetate, and glycine betaine are sufficient to confer osmoprotection to Escherichia coli. *Appl Environ Microbiol* **65**, 3304-3311.
- Cox S, bu-Ghannam N, Gupta S (2010) An assessment of the antioxidant and antimicrobial activity of six species of edible Irish seaweeds. *International Food Research Journal* **17**, 205-220.
- Da Costa ACA, De França FP (2003) Cadmium interaction with microalgal cells, cyanobacterial cells, and seaweeds; toxicology and biotechnological potential for wastewater treatment. *Marine Biotechnology* **5**, 149-156.
- Deudero S, Box A, March D, Valencia JM, Grau AM, Tintore J, Calvo M, Caixach J (2007) Organic compounds temporal trends at some invertebrate species from the Balearics, Western Mediterranean. *Chemosphere* **68**, 1650-1659.
- Englebert ET, McDermott C, Kleinheinz GT (2008) Effects of the nuisance algae, Cladophora, on Escherichia coli at recreational beaches in Wisconsin. *Sci Total Environ* **404**, 10-17.
- European Commission - Health & consumer protection directorate general (2002) Working Document - Guidance Document on Aquatic Ecotoxicology - in the context of the Directive 91/414/EEC.
- Fahprathanchai P, Saenphet K, Peerapornpisal Y, Aritajat S (2006) Toxicological evaluation of Cladophora glomerata Kützinger and Microspora floccosa Thuret in albino rats. *Southeast Asian J Trop. Med Public Health* **37 Suppl 3**, 206-209.
- Fletcher JT, Finlay JA, Callow ME, Cailow JA, Ghadiri MR (2007) A combinatorial approach to the discovery of biocidal six-residue cyclic D,L- $\alpha$ -peptides against the bacteria methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) and E. coli and the biofouling algae Ulva linza and Navicula perminuta. *Chemistry - A European Journal* **13**, 4008-4013.
- Flodin C, Whitfield FB (1999) 4-hydroxybenzoic acid: A likely precursor of 2,4,6-tribromophenol in Ulva lactuca. *Phytochemistry* **51**, 249-255.

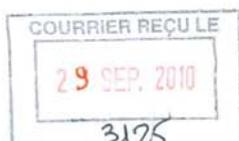
- Gage DA, Rhodes D, Nolte KD, Hicks WA, Leustek T, Cooper AJL, Hanson AD (1997) A new route for synthesis of dimethylsulphoniopropionate in marine algae. *Nature* **387**, 891-894.
- Ghoul M, Minet J, Bernard T, Dupray E, Cormier M (1995) Marine Macroalgae as a Source for Osmoprotection for *Escherichia coli*. *Microbial Ecology* **30**, 171-181.
- Gubelit YI, Berezina NA (2010) The causes and consequences of algal blooms: the *Cladophora glomerata* bloom and the Neva Estuary (eastern Baltic Sea). *Mar. Pollut. Bull* **61**, 183-188.
- INRS. Fiche toxicologique FT 233 - Substance décrite dans la fiche toxicologique. 2005.
- Ishii S, Yan T, Shively DA, Byappanahalli MN, Whitman RL, Sadowsky MJ (2006) *Cladophora* (Chlorophyta) spp. harbor human bacterial pathogens in nearshore water of Lake Michigan. *Appl Environ Microbiol* **72**, 4545-4553.
- Kandhasamy M, Arunachalam KD (2008) Evaluation of in vitro antibacterial property of seaweeds of southeast coast of India. *African Journal of Biotechnology* **7**, 1958-1961.
- Kim IH, Lee DG, Lee SH, Ha JM, Ha BJ, Kim SK, Lee JH (2007) Antibacterial activity of *Ulva lactuca* against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Biotechnology and Bioprocess Engineering* **12**, 579-582.
- Kirso U, Irha N (1998) Role of Algae in Fate of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment. *Ecotoxicology and environmental safety* **41**, 83-89.
- Kumar, V., Rao, D., Thomas, T., Kjelleberg, S., et Egan, S. Antidiatom and antibacterial activity of epiphytic bacteria isolated from *Ulvalactuca* in tropical waters. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2010.
- Lachnit T, Meske D, Wahl M, Harder T, Schmitz R (2011) Epibacterial community patterns on marine macroalgae are host-specific but temporally variable. *Environmental Microbiology* **13**, 655-665.
- Larsson P (1987) Uptake of polychlorinated biphenyls (PCBs) by the macroalga, *Cladophora glomerata*  
1. *Bull Environ Contam Toxicol* **38**, 58-62.
- Le Bris H, Pouliquen H (2004) Experimental study on the bioaccumulation of oxytetracycline and oxolinic acid by the blue mussel (*Mytilus edulis*). An evaluation of its ability to bio-monitor antibiotics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* **48**, 434-440.
- Lomstein BA, Guldberg LB, Neubauer ATA, Hansen J, Donnelly A, Herbert RA, Viaroli P, Giordani G, Azzoni R, de Wit R, Finster K (2006) Benthic decomposition of *Ulva lactuca*: A controlled laboratory experiment. *Aquatic Botany* **85**, 271-281.
- Metcalfe CD, Chu S, Judt C, Li H, Oakes KD, Servos MR, Andrews DM (2010) Antidepressants and their metabolites in municipal wastewater, and downstream exposure in an urban watershed. *Environmental Toxicology and Chemistry* **29**, 79-89.
- Micheli C, Paglialonga A, Soldati P, Cremisini C, Chiavarini S (1995) Photosynthetic performance and polychlorinated biphenyl (PCB) accumulation by the macroalgae *Ulva laetevirens*. *The Science of the Total Environment* **171**, 137-142.
- Morand P, Briand X (1999) Anaerobic digestion of *Ulva* sp. 2. Study of *Ulva* degradation and methanisation of liquefaction juices. *Journal of Applied Phycology* **11**, 165-177.
- Morand P, Merceron M (2005) Macroalgal population and sustainability. *Journal of Coastal Research* **21**, 1009-1020.
- Nair R, Chabhadiya R, Chanda S (2007) Marine algae: Screening for a potent antibacterial agent. *Journal of Herbal Pharmacotherapy* **7**, 73-86.
- Nakamura Y, Yamamoto H, Sekizawa J, Kondo T, Hirai N, Tatarazako N (2008) The effects of pH on fluoxetine in Japanese medaka (*Oryzias latipes*): Acute toxicity in fish larvae and bioaccumulation in juvenile fish. *Chemosphere* **70**, 865-873.
- Nedashkovskaya OI, Kim SB, Lee DH, Lysenko AM, Shevchenko LS, Frolova GM, Mikhailov VV, Lee KH, Bae KS (2005) *Roseivirga ehrenbergii* gen. nov., sp. nov., a novel marine bacterium of the phylum 'Bacteroidetes', isolated from the green alga *Ulva fenestrata*. *Int J Syst Evol Microbiol* **55**, 231-234.

- Nedergaard RI, Risgaard-Petersen N, Finster K (2002) The importance of sulfate reduction associated with *Ulva lactuca* thalli during decomposition: A mesocosm experiment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **275**, 15-29.
- Neff JM, Bence AE, Parker KR, Page D, Brown JS, Boehm PD (2006) Bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons from buried shoreline oil residues thirteen years after the Exxon Valdez oil spill: A multispecies assessment OIL SPILL: A MULTISPECIES ASSESSMENT. *Environmental Toxicology and Chemistry* **25**, 947-961.
- Nelson TA, Lee DJ, Smith BC (2003) Are "green tides" harmful algal blooms? Toxic properties of water-soluble extracts from two bloom-forming macroalgae, *Ulva fenestrata* and *Ulvaria obscura* (ulvophyceae). *Journal of Phycology* **39**, 874-879.
- OCDE. 2,4,6 tribromophénol. SIDS Initial Assessment Report. <http://www.inchem.org/>, 0-115. 2003.
- Olapade OA, Depas MM, Jensen ET, McLellan SL (2006) Microbial communities and fecal indicator bacteria associated with *Cladophora* mats on beach sites along Lake Michigan shores. *Appl Environ Microbiol* **72**, 1932-1938.
- Osman MEH, Abushady AM, Elshobary ME (2010) In vitro screening of antimicrobial activity of extracts of some macroalgae collected from Abu-Qir bay Alexandria, Egypt. *African Journal of Biotechnology* **9**, 7203-7208.
- Ouisse V, Rieraa P, Mignéa A, Leroux C, Devault D (2011) Freshwater seepages and ephemeral macroalgae proliferation in an intertidal bay: I Effect on benthic community structure and food web. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **91**, 272-281.
- Pavoni B, Caliceti M, Sperti L, Sfriso A (2003) Organic micropollutants (PAHs, PCBs, pesticides) in seaweeds of the lagoon of Venice. *Oceanologica Acta* **26**, 585-596.
- Pichereau V, Pocard JA, Hamelin J, Blanco C, Bernard T (1998) Differential Effects of Dimethylsulfiopropionate, Dimethylsulfiacetate, and Other S-Methylated Compounds on the Growth of *Sinorhizobium meliloti* at Low and High Osmolarities. *Appl Environ Microbiol* **64**, 1420-1429.
- Pranovi F, Da Ponte F, Torricelli P (2008) Historical changes in the structure and functioning of the benthic community in the lagoon of Venice. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **76**, 753-764.
- Rajagopal SV, Rao AP, Raman BV, Rao MR, Sankar AU, Kumari AS, Kumar KS (2008) Biochemical and antibacterial studies on green algae of Visakhapatnam coast. *Journal of Pure and Applied Microbiology* **2**, 573-578.
- Ramirez AJ, Brain RA, Usenko S, Mottaleb MA, O'Donnell JG, Stahl LL, Wathen JB, Snyder BD, Pitt JL, Perez-Hurtado P, Dobbins LL, Brooks BW, Chambliss CK (2009) Occurrence of pharmaceuticals and personal care products in fish: Results of a national pilot study in the United States. *Environmental Toxicology and Chemistry* **28**, 2587-2597.
- Rao D, Webb JS, Kjelleberg S (2006) Microbial colonization and competition on the marine alga *Ulva australis*. *Applied and Environmental Microbiology* **72**, 5547-5555.
- Shanmughapriya S, Manilal A, Sujith S, Selvin J, Kiran GS, Natarajaseenivasan K (2008) Antimicrobial activity of seaweeds extracts against multiresistant pathogens. *Annals of Microbiology* **58**, 535-541.
- Smit AJ, Robertson-Andersson DV, Peall S, Bolton JJ (2007) Dimethylsulfiopropionate (DMSP) accumulation in abalone *Haliotis midae* (Mollusca: Prosobranchia) after consumption of various diets, and consequences for aquaculture. *Aquaculture* **269**, 377-389.
- Sousa AI, Martins I, Lillebäck AI, Flindt MR, Pardal MA (2007) Influence of salinity, nutrients and light on the germination and growth of *Enteromorpha* sp. spores. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **341**, 142-150.
- Stirk WA, Reinecke DL, Van Staden J (2007) Seasonal variation in antifungal, antibacterial and acetylcholinesterase activity in seven South African seaweeds. *Journal of Applied Phycology* **19**, 271-276.
- Sukatar A, Karabay-Yava Yöglü NU, Ozdemir G, Horzum Z (2006) Antimicrobial activity of volatile component and various extracts of *Enteromorpha linza* (Linnaeus) J. Agardh from the coast of Izmir, Turkey. *Annals of Microbiology* **56**, 275-279.

- Theriaque. Theriaque, Banque de données sur les médicaments, Rectificatif AMM française 17/09/2004. <http://www.theriaque.org/> . 17-5-2011.
- Tüney I, Cadirci BH, Ünal D, Sukatar A (2006) Antimicrobial activities of the extracts of marine algae from the coast of Urla (Izmir, Turkey). *Turkish Journal of Biology* **30**, 171-175.
- Tuney I, Cadirci BH, Unal D, Sukatar A (2007) Locational and organic solvent variation in antimicrobial activities of crude extracts of marine algae from the coast of Izmir (Turkey). *Fresenius Environmental Bulletin* **16**, 428-434.
- Uchida M, Murata M (2004) Isolation of a lactic acid bacterium and yeast consortium from a fermented material of *Ulva* spp. (Chlorophyta). *Journal of Applied Microbiology* **97**, 1297-1310.
- Van Alstyne KL, Nelson AV, Vyvyan JR, Cancilla DA (2006) Dopamine functions as an antiherbivore defense in the temperate green alga *Ulvaria obscura*. *Oecologia* **148**, 304-311.
- Van Alstyne KL, Puglisi MP (2007) DMSP in marine macroalgae and macroinvertebrates : Distribution, function, and ecological impacts. *Aquatic Sciences* **69**, 394-402.
- Vanden HA, McDermott C, Pillsbury R, Sandrin T, Kinzelman J, Ferguson J, Sadowsky M, Byappanahalli M, Whitman R, Kleinheinz GT (2010) The green alga, *Cladophora*, promotes *Escherichia coli* growth and contamination of recreational waters in Lake Michigan. *J Environ Qual.* **39**, 333-344.
- Verhougstraete MP, Byappanahalli MN, Rose JB, Whitman RL (2010) *Cladophora* in the Great Lakes: impacts on beach water quality and human health. *Water Sci Technol* **62**, 68-76.
- Whitman RL, Shively DA, Pawlik H, Nevers MB, Byappanahalli MN (2003) Occurrence of *Escherichia coli* and enterococci in *Cladophora* (Chlorophyta) in nearshore water and beach sand of Lake Michigan. *Appl Environ Microbiol* **69**, 4714-4719.

## Annexes

### Annexe 1 : Courrier de saisine de l'Anses



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de la Santé et des Sports

Paris, le 27 SEP 2010

Direction générale de la santé  
Sous-direction de la prévention des risques  
liés à l'environnement et à l'alimentation  
Bureau Environnement extérieur et produits chimiques  
DGS/EA1 – N° 259  
Bureau Alimentation et nutrition  
DGS/EA3 – N° 471  
Bureau Qualité des eaux  
DGS/EA4 – N° 389

Le Directeur Général de la Santé

à

Monsieur le Directeur général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)  
Direction Santé Environnement Travail (DSET)  
27-31, Avenue du Général Leclerc  
94701 MAISONS-ALFORT CEDEX

**OBJET :** Saisine relative aux recommandations pour les travailleurs de la filière des algues vertes et pour le public fréquentant les plages touchées par les algues vertes.

**N/REF. :** 100031 (numéro de dossier à rappeler dans toute correspondance)

**PJ :** 2

Par courrier du 23 février 2010, les ministères chargés de l'environnement, du travail et de la santé vous ont saisi d'une demande concernant les risques des algues vertes pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs.

Afin de répondre à de nouvelles interrogations dont m'a fait part l'ARS de Bretagne (cf. pièces jointes), il apparaît nécessaire de compléter cette saisine. Aussi, je vous demande de réaliser une évaluation des risques pour le public, prenant en compte toutes les voies d'exposition pertinentes, liés :

- à la pratique de la baignade dans des eaux contenant des algues vertes,
- à la consommation de coquillages ramassés dans des zones touchées par les algues vertes,
- à la putréfaction des algues vertes dans la zone de battement des marées quel qu'en soit le coefficient (plus précisément des algues vertes immergées dans des flaques d'eau, se situant au pied de rochers).

Vos éléments de réponse sont attendus pour le mois de mars 2011, pour me permettre de définir les modalités de gestion qui seront applicables lors de la saison balnéaire 2011.

**Charles SAOUT**  
Adjoint à la sous-direction  
de la prévention des risques liés  
à l'environnement et à l'alimentation

Copie :

- Ministère du travail, de la solidarité et de la fonction publique
- Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer

## Annexe 2 : Libellé des requêtes bibliographiques

- début décembre 2010, sur Pubmed :
  - o *Cladophora* : 107 réponses,
  - o *Cladophora* AND *laetiniens* : 0 réponse,
  - o *Ulva* : 491 réponses,
  - o *Ulva* AND *armonicana* : 0 réponse,
  - o *Ulva* AND *rotundata* : 3 réponses.
- 16 décembre 2010, sur Scopus
  - o *Cladophora* : 847 réponses,
  - o *Cladophora* AND *laetiniens* : 0 réponse,
  - o *Ulva* : 2186 réponses,
  - o *Ulva* AND *armonicana* : 0 réponse,
  - o *Ulva* AND *rotundata* : 35 réponses,
  - o *Ulva* AND *food* : 247 réponses.
- 22 mars 2011, sur Scopus (Articles title, abstract, keywords) :
  - o Green tides : 81 réponses
  - o *Ulva* AND growth : 593 réponses,
  - o *Ulva* AND proliferation : 34 réponses,
  - o *Ulva* AND degradation : 61 réponses,
  - o *Ulva* AND putrefaction : 1 réponse,
  - o *Ulva* AND mats : 68 réponses,
  - o *Ulva* AND bacteria : 221 réponses [(ulva AND bacteria) AND NOT (“Green tides”) OR (*Ulva* AND (proliferation OR putrefaction)))] : 216 réponses],
  - o *Cladophora* : 558 réponses,
  - o *Cladophora* AND *laetiniens* : 0 réponses
  - o *Chaetomorpha* : 192 réponses,
  - o *Enteromorpha* AND *clathrata* : 40 réponses = *Ulva* AND *Clathrata* : 27 réponses,
  - o *Ulvaria* AND *obscura* : 17 réponses,
  - o *Ulva* : 2231 réponses,
  - o *Ulva* AND *rotundata* : 35 réponses,
  - o *Ulva* AND *armoricana* : 13 réponses.
- 5 mai 2011, sur Scopus (Articles title, abstract, keywords) :
  - o Green tides : 82 réponses
  - o *Ulva* AND growth : 603 réponses,
  - o *Ulva* AND proliferation : 36 réponses,
  - o *Ulva* AND degradation : 62 réponses,
  - o *Ulva* AND putrefaction : 1 réponse,
  - o *Ulva* AND mats : 69 réponses,
  - o *Ulva* AND bacteria : 223 réponses, 1 me semble pertinent pour MIC [(ulva AND bacteria) AND NOT (“Green tides”) OR (*Ulva* AND (proliferation OR putrefaction)))] : 222 réponses],
  - o *Cladophora* : 864 réponses, → 306 articles supplémentaires
  - o *Cladophora* AND *laetiniens* : 0 réponse
  - o *Chaetomorpha* : 194 réponses,
  - o *Enteromorpha* AND *clathrata* : 41 réponses = *Ulva* AND *Clathrata* : 27 réponses,
  - o *Ulvaria* AND *obscura* : 17 réponses,
  - o *Ulva* : 2260 réponses, → 29 articles supplémentaires
  - o *Ulva* AND *rotundata* : 35 réponses,
  - o *Ulva* AND *armoricana* : 13 réponses.
- 9 mai 2011, sur Scopus (Articles title, abstract, keywords) :
  - o *Ulva* OR *Enteromorpha* AND PAH : 4 réponses.
  - o *Ulva* OR *Enteromorpha* OR *Cladophora* AND PCBs : 4 réponses.
- 10 mai 2011, sur Scopus (Articles title, abstract, keywords) :
  - o toxicity AND rat AND algae AND oral : 48 réponses.
  - o toxicity AND rat AND seaweed AND oral : 14 réponses

## Annexe 3 : Résultats du contrôle microbiologique des eaux de baignade réalisé sur 13 sites de baignade en 2010 dans les côtes d'Armor

### Commune de Lancieroux

plage	date	E coli/100mL	entérocoques/100mL	qualité	Classement 2010
LE RIEUL	01/06/2010	15	15	bonne	<b>B Qualité Moyenne</b>
	17/06/2010	61	<15	bonne	
	01/07/2010	15	15	bonne	
	28/07/2010	110	15	moyenne	
	11/08/2010	810	960	moyenne	
	26/08/2010	46	<15	bonne	
	09/09/2010	500	250	moyenne	
<b>Classement 2009 : A Bonne Qualité</b>		<i>Simulation classement directive 2006 : Suffisant</i>			
L'ISLET	01/06/2010	<15	<15	bonne	<b>B Qualité Moyenne</b>
	17/06/2010	45	15	bonne	
	01/07/2010	<15	<15	bonne	
	28/07/2010	<15	<15	bonne	
	11/08/2010	200	180	moyenne	
	26/08/2010	15	<15	bonne	
	09/09/2010	15	45	bonne	
<b>Classement 2009 A Bonne Qualité</b>		<i>Simulation classement directive 2006 Excellent</i>			
SAINT CIEUX	01/06/2010	30	<15	bonne	<b>B Qualité Moyenne</b>
	17/06/2010	<15	<15	bonne	
	01/07/2010	<15	<15	bonne	
	28/07/2010	190	30	moyenne	
	11/08/2010	94	30	bonne	
	26/08/2010	350	94	moyenne	
	09/09/2010	77	77	bonne	
<b>Classement 2009 : A Bonne Qualité</b>		<i>Simulation classement directive 2006 Excellent</i>			
LES BRIANTAIS	01/06/2010	<15	<15	bonne	<b>A Bonne Qualité</b>
	17/06/2010	15	<15	bonne	
	01/07/2010	<15	<15	bonne	
	28/07/2010	46	15	bonne	
	11/08/2010	77	46	bonne	
	26/08/2010	94	45	bonne	
	09/09/2010	210	93	moyenne	
<b>Classement 2009 : A Bonne Qualité</b>		<i>Simulation classement directive 2006 Excellent</i>			

## Communes de St-Jacut-de-la-Mer

plage	date	Ecoli/100mL	entérocoques/100mL	qualité	Classement 2010
LA MANCHETTE	01/06/2010	<15	<15	bonne	<b>B Qualité Moyenne</b>
	17/06/2010	61	45	bonne	
	01/07/2010	<15	<15	bonne	
	28/07/2010	110	<15	moyenne	
	11/08/2010	140	<15	moyenne	
	26/08/2010	61	15	bonne	
	09/09/2010	200	140	moyenne	
<b>Classement 2009 A Bonne Qualité</b>		<i>Simulation classement directive 2006</i> <b>Excellent</b>			
LES ROUGERETS	01/06/2010	<15	<15	bonne	<b>B Qualité Moyenne</b>
	17/06/2010	45	15	bonne	
	01/07/2010	<15	<15	bonne	
	28/07/2010	30	30	bonne	
	11/08/2010	61	<15	bonne	
	26/08/2010	<15	<15	bonne	
	09/09/2010	370	140	moyenne	
<b>Classement 2009 A Bonne Qualité</b>		<i>Simulation classement directive 2006</i> <b>Bon</b>			
LES HAAS	01/06/2010	130	<15	moyenne	<b>B Qualité Moyenne</b>
	17/06/2010	<15	<15	bonne	
	01/07/2010	<15	<15	bonne	
	28/07/2010	330	61	moyenne	
	11/08/2010	230	200	moyenne	
	26/08/2010	<15	15	bonne	
	09/09/2010	610	510	moyenne	
<b>Classement 2009 : B Qualité Moyenne</b>		<i>Simulation classement directive 2006</i> <b>Bon</b>			
LE RUET	01/06/2010	46	30	bonne	<b>B Qualité Moyenne</b>
	17/06/2010	30	<15	bonne	
	01/07/2010	30	<15	bonne	
	28/07/2010	200	<15	moyenne	
	11/08/2010	230	61	moyenne	
	26/08/2010	15	15	bonne	
	09/09/2010	420	200	moyenne	
<b>Classement 2009 : A Bonne Qualité</b>		<i>Simulation classement directive 2006</i> <b>Bon</b>			

## Commune de St-Cast-le-Guildo

plage	date	E coli/100mL	entérocoques/100mL	qualité	Classement 2010
LES QUATRE VAUX	01/06/2010	<15	<15	bonne	A Bonne Qualité
	17/06/2010	<15	<15	bonne	
	01/07/2010	15	<15	bonne	
	28/07/2010	15	<15	bonne	
	11/08/2010	140	<15	moyenne	
	26/08/2010	45	76	bonne	
	09/09/2010	94	15	bonne	
<b>Classement 2009 A Bonne Qualité</b>		<i>Simulation classement directive 2006 Bon</i>			
PEN GUEN	01/06/2010	<15	<15	bonne	A Bonne Qualité
	17/06/2010	15	30	bonne	
	01/07/2010	<15	<15	bonne	
	28/07/2010	180	30	moyenne	
	11/08/2010	46	15	bonne	
	26/08/2010	<15	<15	bonne	
	09/09/2010	15	46	bonne	
<b>Classement 2009 B Qualité Moyenne</b>		<i>Simulation classement directive 2006 Bon</i>			
LA GRANDE PLAGE	01/06/2010	<15	<15	bonne	B Qualité Moyenne
	17/06/2010	30	<15	bonne	
	01/07/2010	<15	<15	bonne	
	28/07/2010	<15	<15	bonne	
	11/08/2010	680	110	moyenne	
	26/08/2010	<15	94	bonne	
	09/09/2010	550	330	moyenne	
<b>Classement 2009 B Qualité Moyenne</b>		<i>Simulation classement directive 2006 Bon</i>			
LA MARE	01/06/2010	<15	<15	bonne	A Bonne Qualité
	17/06/2010	<15	<15	bonne	
	01/07/2010	<15	<15	bonne	
	28/07/2010	15	<15	bonne	
	11/08/2010	30	<15	bonne	
	26/08/2010	<15	15	bonne	
	09/09/2010	15	<15	bonne	
<b>Classement 2009 A Bonne Qualité</b>		<i>Simulation classement directive 2006 Excellent</i>			
LA FOSSE	01/06/2010	15	<15	bonne	A Bonne Qualité
	17/06/2010	<15	<15	bonne	
	01/07/2010	<15	<15	bonne	
	28/07/2010	<15	<15	bonne	
	11/08/2010	15	30	bonne	
	26/08/2010	94	<15	bonne	
	09/09/2010	270	61	moyenne	
<b>Classement 2009 A Bonne Qualité</b>		<i>Simulation classement directive 2006 Excellent</i>			

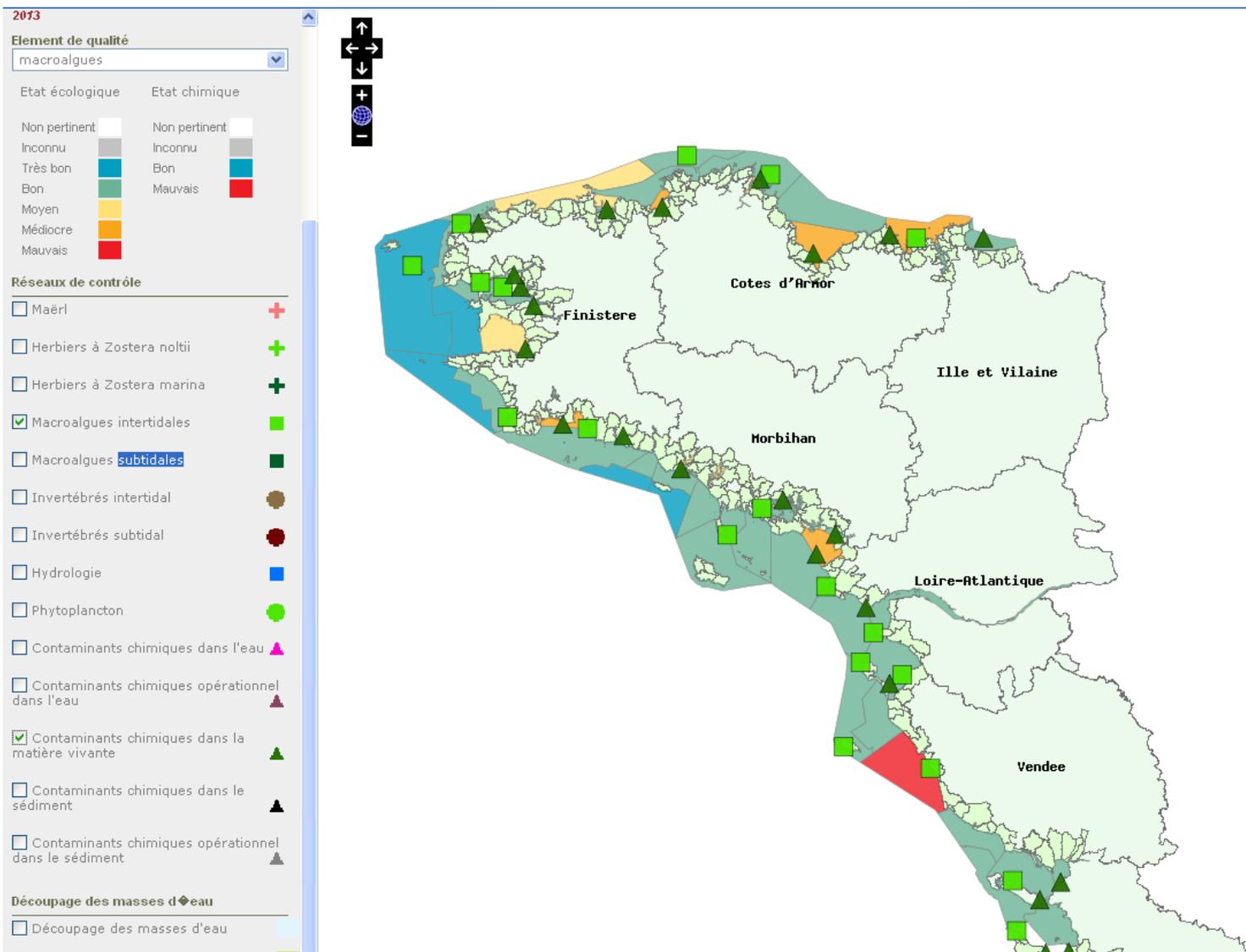
## Annexe 4 : Tableau de la surveillance microbiologique (paramètres surveillés : *E.coli*/100mL) des gisements de coquillages<sup>20</sup>.

Lieu	Coordonnées		Type coquillage	Genre										
	x	y												
Saint Cieux	268250	2410750	Fouisseur	coque	REMI	B								
<b>La Manchette</b>	267100	2409500	Fouisseur	coque	REMI	REMI	REMI	REMI	C	C	C	C	C	C
<b>les Hebihens</b>	266250	2411500	Fouisseur	coque	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B
<b>baie de l'arguenon</b>	265500	2410750	Fouisseur	coque	REMI	REMI	REMI	REMI		B	B	B	B	C
<b>les mielles</b>	262507	2414270	Fouisseur	coque	C	C	B	C	C	B	C	C	B	C
<b>baie de la fresnaye</b>	259000	2414000	Fouisseur	coque	REMI	REMI	REMI	REMI		C	B	C	C	C
vieux bourg	252500	2416700	Non Fouis	moule	REMI	REMI	REMI	REMI		A	A	B	B	B
le bourg	245540	2414175	Fouisseur	coque	B	B	B	B	B	B	B	C	C	B
pointe la housseye	245350	2414400	Non Fouis	moule	REMI	REMI	REMI	REMI		B	B	B	B	B
pointe de Pleneuf	239350	2411250	Non Fouis	moule	REMI	REMI	B	B	B	B	B	B	B	B
dahouet	237850	2409200	Non Fouis	moule	REMI	REMI	REMI	REMI		B	B	B	B	B
<b>Baie d' Yffiniac</b>	229100	2403750	Fouisseur	coque	REMI	REMI	REMI	REMI	C	B	B	C	C	C
<b>Le Valais</b>	227850	2404600	Fouisseur	coque	REMI	REMI	REMI	REMI	C	C	C	C	C	B
<b>Martin</b>	226400	2407400	Non Fouis	moule	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B
<b>le Petit Havre</b>	222000	2410700	Non Fouis	moule	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Port es leu	219965	2417532	Non Fouis	huitre	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
le Palus	215950	2421205	Non Fouis	moule	B	B	B	B	B	B	B	C	C	B
Port Moguer	214160	2424415	Non Fouis	moule	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Pors Pin	211975	2428865	Non Fouis	moule	A	B	B	B		B	B	B	B	B
traou nod	205620	2434515	Fouisseur	coque	C	C	C	C						
le ledano	200189	2433640	Fouisseur	coque	B	B	B	B						
Penn Lan	203095	2443120	Fouisseur	coque	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B
Pellinec	186825	2441185	Fouisseur	coque	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D
les Arcades	176250	2439200	Fouisseur	coque	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D
Tourony	172200	2441750	Fouisseur	coque	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B
baie de kerlavos Bringuillier	169395	2441230	Fouisseur	coque	C	C	C	C	C	C	C	B	B	B
penvern	167400	2438800	Fouisseur	coque						C	C	C	C	D
goas treiz toeno	165288	2437885	Fouisseur	coque	REMI	REMI			REMI	REMI	REMI	REMI	REMI	REMI
<b>Pors Mabo</b>	166350	2434150	Non Fouis	moule	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C
petit taureau	167438	2431017	Fouisseur	coque	REMI	C	B	C	REMI	REMI	REMI	REMI	REMI	REMI
<b>le Port de Locquemeau</b>	164750	2430600	Non Fouis	moule	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
<b>Beg ar Vorn</b>	164750	2426400	Non Fouis	moule	B	B	C	B	B	B	B	C	C	C
<b>Beg Douar</b>	162036	2426250	Non Fouis	moule	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B

<sup>20</sup> Transmis par les ARS concernées par les marées vertes sur les côtes bretonnes.

## Annexe 5 : Extraction du 13 avril 2011 de l'atlas interactif destiné à assurer une meilleure surveillance de la qualité des eaux mis en ligne par l'Ifremer et les agences de l'eau Loire-Bretagne et Adour-Garonne

([http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive\\_cadre\\_sur\\_l\\_eau\\_dce/la\\_dce\\_par\\_bassin/bassin\\_loire\\_bretagne/fr/atlas\\_interactif](http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive_cadre_sur_l_eau_dce/la_dce_par_bassin/bassin_loire_bretagne/fr/atlas_interactif))





Agence nationale de sécurité sanitaire  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail  
27-31 avenue du général Leclerc  
94701 Maisons-Alfort Cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr)