



EHESP



Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : **2009-2010**

Date du Jury : **octobre 2010**

**Les nouveaux risques biologiques des
eaux de baignade sur le littoral
méditerranéen : analyse prospective**

Lucie BIZZOZERO

*Agence de l'Eau Rhône
Méditerranée et Corse*

Référent professionnel

Pierre Boissery

Référent pédagogique

Michèle Legeas

Remerciements

Je remercie Gabrielle Fournier, Directrice Régionale, de m'avoir accueillie au sein de la délégation de Marseille de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse.

Je remercie Pierre Boissery pour son encadrement et ses conseils pertinents au cours de ce stage.

Je remercie Michèle Legeas, ma référente pédagogique de l'EHESP, pour son soutien dans mon projet et sa réactivité.

Enfin je remercie les personnes avec qui j'ai pu avoir des échanges fructueux durant ce stage : Hubert Grossel (Ifremer), Stéphanie Fayolle (CNRS), Olivier Coulon et Philippe Alesandrini (ARS PACA), Jean Duchemin (AESN), Jean-Henri Hecq et Anne Goffart (Université de Liège), Nathalie Quelin (DREAL PACA), Luc de Haro (CAP Marseille), Yvan Martin (Institut Ricard), Rodolphe Lemée (Laboratoire d'Océanographie de Villefranche), Marc Valmassoni (Surf rider fondation), Delphine Thibault et Isabelle Biegala (Centre Océanologique de Marseille).

Sommaire

INTRODUCTION	1
I. DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE ET CONTEXTE DE L'ETUDE	3
1. CONTEXTE PROFESSIONNEL	3
2. CONTEXTE DE L'ETUDE	4
a. <i>augmentation de la fréquentation du littoral</i>	4
i. urbanisation	4
ii. tourisme.....	4
iii. démocratisation des activités aquatiques.....	4
b. <i>qualité de l'eau</i>	5
3. ZONE D'ETUDE	6
a. <i>Mer Méditerranée</i>	6
b. <i>eaux côtières méditerranéennes françaises</i>	7
c. <i>eaux de transition</i>	7
d. <i>eaux de baignade</i>	8
4. NOUVEAU	8
a. <i>nouvelle introduction</i>	8
b. <i>prolifération d'une espèce présente en méditerranée</i>	8
c. <i>nouveaux usages</i>	9
iv. usages et nouvelle source de contamination.....	9
v. usages et nouvelle exposition	9
d. <i>Intérêt croissant</i>	12
5. BIOLOGIQUE	12
II. METHODE	13
1. PRINCIPE DE HIERARCHISATION	13
2. SELECTION DES AGENTS	13
a. <i>étape 1</i>	13
b. <i>étape 2</i>	14
c. <i>étape 3</i>	14
3. OUTIL DE HIERARCHISATION	14
a. <i>construction de l'outil de hiérarchisation</i>	14
b. <i>choix des indicateurs</i>	15
i. critères relatifs au classement	15
ii. critères complémentaires	17
c. <i>score</i>	18
d. <i>pondération des différents thèmes</i>	19

III. AGENTS SELECTIONNES	21
1. AGENTS NON RETENUS.....	21
a. agents allochtones du milieu marin.....	21
b. agents autochtones du milieu marin	22
2. AGENTS RETENUS.....	22
a. phytoplancton eucaryote.....	22
b. cyanobactérie	23
c. méduses.....	23
3. LIMITES.....	23
IV. HIERARCHISATION	25
1. RESULTATS	25
a. classements	25
b. localisation du danger	27
2. INTERPRETATION.....	30
a. agents toxiques.....	30
b. gestion	33
c. économie et écologie.....	33
d. usages.....	34
3. DISCUSSION SUR CE QUI N’A PAS ETE INTEGRE DANS CE TRAVAIL.....	34
a. augmentation des mouillages	34
b. nouvelles introductions d’espèces toxiques liées aux transports maritimes	35
c. autres méduses.....	35
4. LIMITES DE L’OUTIL	35
V. RECOMMANDATIONS	37
1. RECOMMANDATIONS GENERALES	37
a. enjeu principal	37
b. eaux de transition	39
c. anticipation des risques sanitaires potentiels.....	39
d. méduses.....	39
e. prise en compte de la surveillance environnementale sanitaire des spots.....	40
f. coopération internationale.....	40
2. RECOMMANDATIONS POUR L’AGENCE DE L’EAU RHONE MEDITERRANEE ET CORSE.....	41
CONCLUSION.....	43
BIBLIOGRAPHIE	45
LISTE DES ANNEXES	49

Liste des sigles utilisés

AESN = Agence de l'Eau Seine Normandie

AE RMC = Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse

AFSSA = Agence française de sécurité sanitaire des aliments

AFSSET= Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

BET = Budget espace temps

CAP = Centre anti-poison

CIESM= Mediterranean science commission

EFSA = European food safety Authority

DCE = Directive cadre sur l'eau

DGS = Direction générale de la santé

INPES = Institut national de prévention et d'éducation pour la santé

INSEE = Institut national de la statistique et des études économiques

INVS = Institut national de veille sanitaire

NSP = Neurotoxic shellfish poisoning

IFREMER = Institut français pour l'exploitation de la mer

IRSN = Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

LOV = Laboratoire d'Océanographie de Villefranche

PACA = Provence Alpes Côte d'Azur

PMT = Palmes masque tuba

PTX = Palytoxine

REMI = Réseau microbiologique

REPHY = Réseau phytoplancton

RINBIO =Réseau intégrateurs biologiques

SDAGE = Schéma d'aménagement et de gestion des eaux

VNC = viable mais non cultivable

Définitions

Ces termes sont marqués d'un astérisque au cours du texte.

Algues : végétaux chlorophylliens aquatiques ou des lieux humides, n'ayant ni feuilles, ni racines, ni vaisseaux, ni fleurs, ni graines (Larousse). Certaines définitions excluent les cyanobactéries et définissent les algues comme des organismes eucaryotes. On peut diviser les algues en deux catégories : macroalgues et microalgues. Dans cette étude les microalgues regroupent le phytoplancton eucaryote et les cyanobactéries.

Cyanobactéries : procaryotes photosynthétiques. Les cyanobactéries sont-elles des algues ou des bactéries ? La question n'est pas tranchée par les scientifiques. Les botanistes classent les cyanobactéries dans les algues, les microbiologistes dans les bactéries. Dans cette étude nous suivons le choix des botanistes.

Masses d'eau : Les masses d'eau constituent le référentiel cartographique élémentaire de la Directive Cadre sur l'Eau. Il existe cinq catégories de masses d'eau : les masses d'eau de cours d'eau, les masses d'eau de plans d'eau, les masses d'eau de transition que sont les estuaires, les masses d'eau côtières pour les eaux marines le long du littoral, les masses d'eau souterraines. (Agence de l'eau Loire Bretagne)

Phytoplancton : ensemble des organismes du plancton appartenant au règne végétal, de taille très petite ou microscopique, qui vivent en suspension dans l'eau (Ifremer).

Population vulnérable : pour une même exposition, les effets produits par un agent biologique ou chimique sur différents sujets sont différents. La vulnérabilité d'une population tient compte de sa sensibilité et de sa capacité à résister.

Potentiel de prolifération : capacité d'une algue à proliférer dans un environnement donné.

Spot : lieu rassemblant de bonnes conditions pour la pratique d'un ou de plusieurs sports aquatiques, ils sont parfois réglementés. C'est un lieu très fréquenté par les usagers.

Suivi environnemental sanitaire : dans ce travail, le suivi sanitaire environnemental désigne le suivi de la qualité sanitaire du milieu. Il est différencié du suivi environnemental correspondant au suivi évaluant la qualité écologique du milieu.

Espèce lessepsienne : espèce marine immigrée de la mer Rouge vers la mer Méditerranée par le canal de Suez.

Liste des tables

TABLE 1 : EVOLUTION DU NOMBRE D'HABITANTS SUR LE LITTORAL PACA.....	4
TABLE 2 : VOLUME D'EAU INGERE LORS DE LA BAIGNADE PAR TRANCHE D'AGE	10
TABLE 3 : INDICATEURS AYANT UN SCORE DE 1.....	18
TABLE 4 : DETAILS DE L'OUTIL DE HIERARCHISATION.....	19
TABLE 5 : RESULTATS DE LA HIERARCHISATION	25
TABLE 6 : SCORE DETAILLE PAR AGENT.....	26

Liste des figures

FIGURE 1 : CARTE DES COURANTS DE SURFACE EN MER MEDITERRANEE.....	7
FIGURE 2 : ILLUSTRATIONS DES DIFFERENTES ESPECES CHOISIES	24
FIGURE 3 : REPARTITION DES NOUVEAUX DANGERS BIOLOGIQUES SUR LE LITTORAL MEDITERRANEEN FRANÇAIS.....	27
FIGURE 4 : REPARTITION DES NOUVEAUX DANGERS BIOLOGIQUES SUR LE LITTORAL PACA CORSE	28

Introduction

En période estivale la baignade est une des activités préférées des français.

Les travaux en matière d'assainissement ont diminué le risque lié aux contaminations microbiologiques d'origine fécale. Toutefois les risques liés à d'autres agents biologiques, comme la microalgue *Ostreopsis sp* sur le littoral PACA et les méduses posent de nouveaux problèmes sanitaires.

Ce projet a pour but de contribuer à l'étude des nouveaux risques biologiques des eaux de baignade du littoral méditerranéen français.

La hiérarchisation de ces risques sera faite selon leurs impacts sanitaire, écologique et économique. Ainsi il pourra être proposé des recommandations aux gestionnaires des eaux de baignade et à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse dans le but d'améliorer la qualité sanitaire.

I. Définition de la problématique et contexte de l'étude

1. CONTEXTE PROFESSIONNEL

Créée par la loi sur l'eau de 1964, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse est un **établissement public de l'Etat**, sous double tutelle du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer et du Ministère des Finances. Elle a pour mission de contribuer à améliorer la **gestion de l'eau et la qualité des milieux aquatiques**. Pour cela elle incite et aide, à l'échelle de ses bassins versants, à une utilisation rationnelle des ressources en eau, à la lutte contre leur pollution et à la protection des milieux aquatiques. Elle collecte les redevances payées par les consommateurs et pollueurs d'eau (particuliers, industriels, agriculteurs) sur le principe du pollueur-payeur, consommateur-payeur. Ces redevances sont reversées sous forme de subventions à différentes structures (collectivités territoriales, associations, syndicats mixtes,...) pour la mise en œuvre d'opérations (stations d'épurations, captage d'eau potable, études milieux,...) permettant d'atteindre les objectifs décrits ci-dessus. La politique d'intervention de l'Agence de l'Eau s'adapte aux enjeux de la Directive Cadre sur l'eau, dont l'objectif général est d'atteindre d'ici à 2015 le bon état des masses d'eau* sur tout le territoire européen. L'Agence de l'Eau RMC a une mission d'expertise technique et de financeur.

Concernant le **littoral**, l'Agence de l'Eau coordonne et finance en partie plusieurs réseaux de suivi **environnemental** opérés par des établissements scientifiques publics (Ifremer, Irsn, laboratoires de recherches...), des associations... On peut citer quelques réseaux de suivi environnemental tels que REMI (réseau microbiologique), REPHY (réseau phytoplancton), RINBIO (réseau d'intégrateurs biologiques : polluants chimiques), Posidonie, ou encore le réseau de suivi des peuplements de Gorgones... Par ailleurs, elle s'est intéressée aux nouveaux risques biologiques des eaux de baignade. Elle a financé un suivi *Ostreopsis sp* sur le littoral PACA pour l'été 2010 (Association Surf rider fondation) ainsi qu'une étude sur la variabilité de la méduse *P. noctulica* en Baie de Calvi en relation avec l'environnement (Stareso). **Les nouveaux risques biologiques des eaux de baignade sont une préoccupation de l'Agence de l'Eau RMC. Ce travail a pour but d'améliorer les connaissances de cet établissement public sur cette problématique.**

2. CONTEXTE DE L'ETUDE

a. augmentation de la fréquentation du littoral

L'urbanisation, la démocratisation des activités aquatiques et le tourisme ont engendré une augmentation de la fréquentation du littoral méditerranéen ces dernières années.

i. urbanisation

L'espace littoral représente 10% de l'espace régional du Bassin Rhône Méditerranée Corse mais reçoit globalement **90 % de la population permanente et saisonnière**. Dans les Alpes Maritimes, par exemple, le littoral rassemble 84 % de la population du département (AERMC). D'après les données en ligne de l'Insee, la population des quatre régions méditerranéennes (PACA, Languedoc Roussillon, Midi-Pyrénées et Corse) a augmenté de 11% entre 1999 et 2008 contre 6,5% pour la population française. A titre indicatif, voici l'évolution du nombre d'habitants de villes littorales de différentes tailles (Table 1) entre 1999 et 2007. On peut noter que l'augmentation du nombre d'habitants est plus importante dans les petites communes (Sète - Narbonne).

	99 Nombre d'habitants	2007 Nombre d'habitants	Evolution du nombre d'habitants en %
Marseille	798430	860363	7,8
Nice	342738	352388	2,8
Toulon	160639	168768	5,1
Sète	39542	43636	10,4
Narbonne	46510	52542	13,0

Table 1 : Evolution du nombre d'habitants sur le littoral PACA

ii. tourisme

Depuis 2007, la **mer est la destination préférée** pour les séjours d'agrément. En été la baignade et la promenade en bord de mer font partie des activités préférées des français avec la promenade et la randonnée à la montagne et les visites en ville (INSEE 2008). Pendant les mois d'été, l'augmentation de la population atteint 75 % sur le littoral languedocien et provençal et 150 % en Corse (AERMC).

iii. démocratisation des activités aquatiques

La baignade (milieu naturel-piscine) fait partie des activités de loisirs largement répandues, puisqu'elle concerne, de façon au moins occasionnelle, plus de neuf personnes sur dix en France métropolitaine (INPES 2008). Cependant la baignade ne suffit plus aux français et un grand nombre d'entre eux pratiquent différentes activités récréatives aquatiques.

D'une manière générale, ces dernières années ont été marquées par une démocratisation de ces loisirs (AE profil baignade) grâce aux évolutions techniques du matériel et à l'intérêt croissant des usagers. Cette démocratisation se traduit par l'augmentation de structures de formation et de location (club-association) facilitant la découverte et la pratique occasionnelle des différentes activités tout au long de l'année. Les pratiquants réguliers possédant leur matériel (bateaux, kitesurf, jet-ski) sont eux aussi plus nombreux. La mise en place de sentiers sous marins notamment dans la région PACA augmente le nombre d'usagers du palmes, masque, tuba (PMT). Sept sentiers sous-marins ont été installés sur la commune de Marseille. On peut noter une augmentation du nombre de plaisanciers (voiliers et bateaux à moteurs) (Mer et marine 2008), de plongeurs (six fois plus de plongeurs entre 1975 et 2004 en France (Ministère de la jeunesse, des sports et de la vie associative, 2004)), de pratiquants de motonautisme (jet-ski, wakeboard,). Le kitesurf, nouveau sport de glisse aquatique, connaît un grand succès.

Finalement **l'essor de ces loisirs**, s'accompagne d'une **augmentation des usagers des eaux de baignade ou « spots »***.

b. qualité de l'eau

Au cours des trente dernières années, la qualité des eaux de baignade européennes s'est nettement améliorée grâce aux législations européennes et nationales dans ce domaine. Cependant quelques problèmes persistent comme la contamination microbiologique des eaux de baignade lors d'épisodes de fortes pluies ou l'apparition de nouveaux agents dangereux tels que les algues microscopiques.

D'après une enquête de l'Inpes (Inpes 2008), la moitié des enquêtés estime que la qualité des eaux de baignade en mer, lac ou rivière en France présente des risques pour leur santé.

La nouvelle directive européenne, basée sur des données épidémiologiques relatives aux risques liés aux microorganismes fécaux, une gestion préventive des contaminations et une information poussée du public saura-t-elle les faire changer d'avis ?

La **directive 2006/7/CE** renforce les obligations de la directive 76/160/CEE (durcissement des valeurs microbiologiques seuils et modernisation des méthodes d'analyse) tout en allégeant le processus de surveillance (2 paramètres contrôlés contre 19 auparavant). L'évaluation de la qualité se fait selon

- deux paramètres *Escherichia coli* et *Entérocoques intestinaux*,
- selon des seuils plus stricts qu'en 1976 et différents pour les eaux douces et salées et

- selon un nouveau classement des eaux de baignade basé sur des périodes plus longues d'analyse et donc un plus grand nombre d'analyses.

L'élaboration de **profils baignades** doit permettre une gestion préventive des risques ainsi que l'amélioration de la qualité du milieu. Ils ont pour but d'évaluer le risque de contamination de la plage et de proposer des mesures de gestion préventives ou curatives. Ils prennent en compte l'évaluation du potentiel de prolifération* des macroalgues, du phytoplancton et des cyanobactéries. L'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse peut apporter une aide technique et financière à la réalisation de ces profils de baignade (financement de 50% du profil). Elle peut aussi subventionner les investissements visant la protection de la qualité des eaux de baignade.

En France est considéré comme personne responsable d'une eau de baignade le déclarant de la baignade selon les dispositions de l'article L. 1332-1, ou, à défaut de déclarant, la commune ou le groupement de collectivités territoriales compétent sur le territoire duquel se situe l'eau de baignade. [...]. Elle est tenue de se soumettre au contrôle sanitaire organisé par l'agence régionale de santé (extrait de l'article L. 1332-3 du Code de la santé publique).

3. ZONE D'ETUDE

a. Mer Méditerranée

La mer méditerranée est une **mer intérieure** profonde (profondeur moyenne 1500m, maximum 5100m). Sa superficie totale est de 3 millions de km² (3800 km de long et 800m de large). Elle est divisée en deux grands bassins séparés par le seuil siculo-tunisien (environ 400 m de profondeur). Le bassin occidental comprend les Mers d'Alboran, des Baléares, de Ligurie, Tyrrhénienne. Le bassin oriental comprend la Mer Ionienne, la Mer Adriatique, la Mer Egée et la Mer Levantine. C'est une **mer chaude** avec une température de l'eau de surface variant entre 10°C (Nord de la mer Egée) et 29°C (Côte de la Palestine), et entre 12°C et 22°C sur les côtes provençales. Avec un bilan hydrique négatif, l'eau de la Mer Méditerranée est plus dense que celle de l'océan avec une salinité oscillant entre 3,64 et 3,95 ‰ (contre 3,5‰ dans l'océan). C'est une mer **oligotrophe**, c'est-à-dire faiblement productive compte tenu de faibles niveaux d'éléments nutritifs. Le mistral souffle en moyenne 135 à 150 jours par an sur les côtes françaises. Il repousse les eaux chaudes de surface vers le sud et provoque la remontée près des côtes des eaux froides profondes : c'est ce que l'on appelle le phénomène d'**upwelling**. Enfin les courants principaux sont indiqués sur la figure 1. Le retour des masses d'eau vers Gibraltar le long des côtes d'Italie et de France est nommé **courant Liguro-provençal**.



Figure 1 : Carte des courants de surface en Mer Méditerranée

Source : Observatoire marin

b. eaux côtières méditerranéennes françaises

Le littoral méditerranéen français s'étire sur une longueur de 1960 km marquée par de forts contrastes. On distingue trois zones. Le littoral Provence Alpes Côte d'Azur est dominé par des **côtes rocheuses**. Le littoral compris entre la Provence et le Languedoc est formé d'une bande de sable de 35 km et du **delta du Rhône** ; cette vaste zone avec la **Camargue** en son sein est un milieu instable, vulnérable aux pressions anthropiques. Le littoral du Languedoc Roussillon est une côte d'accumulation **plate et sablonneuse**.

De manière générale le littoral français subit de fortes pressions anthropiques. L'urbanisation est importante et les activités industrielles et touristiques y sont largement développées. L'activité industrielle concerne principalement les activités portuaires (Fos sur mer, Sète, Toulon, Port la Nouvelle), aquacoles et de pêche.

c. eaux de transition

Les eaux de transition se situent à l'**interface** entre deux domaines hydrologiques différents : le domaine continental et le domaine marin. La Directive Cadre sur l'Eau désigne les eaux de transition comme « des masses d'eau de surface à proximité des embouchures de rivières qui sont **partiellement salines** en raison de la proximité d'eaux côtières, mais qui sont fondamentalement influencées par des courants d'eau douce ».

Le bassin Rhône Méditerranée est composé de trois types d'eaux de transition : les 2 bras du Rhône, l'embouchure du Rhône et les lagunes méditerranéennes (24 masses d'eau > 50 hectares). Les lagunes méditerranéennes sont des plans d'eau saumâtres semi-clos et permanents. Les éléments essentiels de leur fonctionnement sont une faible profondeur, une séparation avec la mer par un cordon littoral appelé lido, la présence d'une ou plusieurs communications étroites avec la mer et des eaux saumâtres avec un gradient de salinité très

variable. Ce sont des écosystèmes particuliers, riches et attrayants particulièrement fragiles. Ils sont caractérisés par un faible renouvellement des eaux. Les lagunes littorales constituent un patrimoine naturel emblématique qui participe à l'image des côtes méditerranéennes (Etang de Thau, Berre, Bacares, ...). De nombreuses activités y sont développées : pêche élevage d'huître de moules, chasse, ornithologie, sports aquatiques, etc... (SDAGE 2010-2015).

Les différentes masses d'eau du littoral sont indiquées sur la carte en ANNEXE 1.

d. eaux de baignade

D'après la directive européenne de 2006, une eau de baignade est une zone dans laquelle l'autorité compétente s'attend à ce qu'un grand nombre de personnes se baigne et dans laquelle elle n'a pas interdit ou déconseillé la baignade de façon permanente. Dans cette étude on s'intéressera aux **zones de baignade** au sens de la directive mais aussi aux « **spots** » zones où la pratique d'activités sportives aquatiques est importante.

4. NOUVEAU

Le but de cette partie est de préciser le sens du terme « nouveaux » employé dans la problématique de cette étude. En effet l'expression « nouveaux risques » regroupe différentes catégories de risques n'ayant pas la même implication sanitaire.

a. nouvelle introduction

Un nouveau risque peut résulter de l'introduction d'une espèce allochtone en Mer Méditerranéenne ou sur le littoral méditerranéen français, ayant des conséquences sanitaires dans d'autres parties du globe. La toxicité de cette espèce dépend de son patrimoine génétique, des conditions environnementales (conditions physico-chimiques, compétiteurs, ...) et de sa concentration dans le milieu aquatique qui est étroitement lié à son potentiel de prolifération. La prolifération d'une espèce (espèce invasive) nécessite son établissement dans le nouveau milieu ainsi que des conditions environnementales favorables. Les intoxications humaines causées par une espèce nouvellement introduite ne sont donc pas systématiques puisqu'elles dépendent de nombreux facteurs comme la prolifération et la toxicité de l'espèce. L'objectif du travail est de repérer les **espèces allochtones toxiques** sur d'autres portions du littoral mondial **introduites** en mer Méditerranée.

b. prolifération d'une espèce présente en méditerranée

L'équilibre écologique d'un environnement est un équilibre fragile. La moindre perturbation peut conduire à la prolifération d'espèces potentiellement toxiques indigènes ou non, ou à la diminution de certaines espèces établies en Méditerranée. Une espèce

indigène est probablement plus largement répartie sur le littoral méditerranéen, cependant sa variabilité génétique, et donc sa toxicité potentielle, est probablement plus grande que celles des espèces allochtones.

Les objectifs ici sont donc de repérer (i) les espèces ayant **proliféré pour la première fois** récemment et ayant un impact sanitaire sur le littoral méditerranéen français, (ii) les espèces ayant un impact sanitaire depuis longtemps en Méditerranée mais **proliférant plus fréquemment** et / ou plus massivement ces dernières années, et (iii) les espèces potentiellement toxiques (**toxicité et proliférations avérées à l'étranger**), **peu surveillées** en France, actuellement sans impact sanitaire sur le littoral méditerranéen français. Le potentiel de prolifération de ces espèces en mer méditerranée étant difficile à évaluer, il ne sera pas abordé dans cette étude.

c. nouveaux usages

Il est difficile de parler de l'évolution des usages récréatifs aquatiques sans s'interroger sur son impact sanitaire sur le milieu et l'exposition aux agents toxiques de ses pratiquants.

iv. usages et nouvelle source de contamination

Les usagers des eaux de baignade et spots sont de plus en plus nombreux. Il est donc justifié de s'interroger sur les conséquences de cette évolution sur la qualité des eaux de baignade. L'augmentation de la fréquentation des eaux littorales peut-elle engendrer de nouvelles sources de contamination ? Ce travail n'a pu être réalisé dans le cadre de ce mémoire par manque de temps, cependant ce sujet est abordé dans la partie discussion.

v. usages et nouvelle exposition

De même il est intéressant de s'interroger sur l'impact des nouveaux usages des eaux de baignade sur l'exposition des usagers aux agents biologiques toxiques.

Dans cette étude les usages récréatifs considérés pour évaluer cette exposition sont les suivants : baignade, palmes masque tuba, plongée, kayak-aviron, surf, windsurf, kitesurf, voile légère (dériveurs), motonautisme et randonnées côtières. Les différentes activités diffèrent par leur nombre de pratiquants et leur mode d'exposition (voie et temps d'exposition) à une eau contaminée. Ils seront regroupés en 4 catégories dans la suite de l'étude (cf II.3 de cette partie).

Pour évaluer l'exposition d'une personne à un agent toxique il est utile de connaître la voie d'exposition et son budget espace temps (BET). Le BET est la description des activités d'une personne et du temps moyen passé pour chaque activité. Il est utilisé pour estimer l'exposition à un agent infectieux ou toxique (INVS). L'élaboration de budget espace temps

pour les pratiquants de ces activités aquatiques récréatives dépend de nombreux paramètres : le niveau du pratiquant, les conditions météorologiques (vagues, vent), les lieux d'habitation et de pratique et l'activité pratiquée. Ce travail n'est pas dans les objectifs de cette étude. Par contre des travaux sur le sujet sont en cours : An observational study to improve the description of exposure to microbiological risks during recreational activities in fresh water –improving the assessment of health risks ; Legeas et al., à paraître.

L'exposition

L'ADEME définit les trois types d'exposition. L'**exposition aiguë** est une exposition de courte durée (de quelques secondes à quelques jours). L'**exposition chronique** est une exposition persistante, continue ou discontinue, se produisant sur une longue période (ayant lieu sur une période comprise entre plusieurs années et la vie entière). L'**exposition subchronique** est une exposition de durée intermédiaire entre une exposition aiguë et une exposition chronique (se rapporte à une période de vie comprise entre quelques jours et quelques années).

L'exposition lors des différentes activités aquatiques récréatives est une exposition répétée irrégulièrement sur une vie entière, elle peut être considérée comme chronique ou sub-chronique. Dans le cadre du travail sur l'évaluation des risques liés aux cyanobactéries (AFSSA-AFSSET 2006), les experts n'ont pas réussi à trancher.

Les usages

L'exposition à un même agent est différente selon l'activité aquatique pratiquée. Cette partie détaille les voies d'exposition possibles pour être intoxiqué lors de la pratique des diverses activités. Dans la suite du texte, le terme d'ingestion concerne l'absorption orale d'eau contaminée.

Baignade - PMT

L'**ingestion** se produit lors de l'immersion volontaire ou involontaire du visage et du contact main bouche (chez les jeunes enfants). Les volumes d'eau ingérés par jour de baignade retenus par l'AFSSA et l'AFSSET sont indiqués dans la table 2 :

Age (ans)	Volume ingéré par jour de baignade (L)
1 à 2	0,100
2 à 17	0,250
Adultes	0,200

Table 2 : Volume d'eau ingérée lors de la baignade par tranche d'âge

Le pratiquant de PMT ingérerait des volumes d'eau moins importants que le plongeur (voir ci-dessous). L'**inhalation d'aérosols** d'eau de mer contaminée est favorisée par les jeux dans l'eau ou un fort vent ; aucun travail n'a été réalisé sur la quantité d'aérosols inhalés par un baigneur. Le **contact cutané** est un contact direct avec l'eau contaminée.

Plongée

Un plongeur occasionnel **ingérerait** en moyenne 9.8 mL d'eau de mer lors d'une plongée et un plongeur sportif 9,0 mL (Schijven et al, 2006). Le plongeur peut aussi être contaminé par **inhalation** d'aérosols d'eau de mer créés par le détendeur de son équipement de plongée. A priori il n'y a **pas de contact direct** avec l'eau contaminée puisque le plongeur méditerranéen porte une combinaison intégrale sèche ou humide, des chaussons et des gants. Cependant le port d'une **combinaison humide** permet un **contact prolongé** entre l'eau et la peau pouvant favoriser la lyse de cyanobactéries par macération [Afssa-Afsset 2006].

Surf – windsurf - kitesurf - motonautisme (jetski – wakeboard - ski nautique)

L'**ingestion** d'eau dépend du niveau du pratiquant et se produit principalement lors de la mise à l'eau et de chutes. Le pratiquant peut être contaminé par l'**inhalation** d'aérosols d'eau de mer créés par le vent, les vagues et la pratique du sport en lui-même (glisse sur l'eau à vitesse élevée). Si le pratiquant ne porte pas de combinaison intégrale, sa peau est en **contact** direct avec l'eau. D'après Schijven et al (2006), le risque de contamination fécale est plus important chez les surfeurs que chez les baigneurs. En effet ils sont plus longtemps en contact avec l'eau de surface (une session de surf est plus longue qu'un bain) qui n'est pas une eau de baignade et est donc l'objet de peu ou pas de contrôles sanitaires. Cette hypothèse est valable pour les windsurfeurs et les kitesurfeurs.

Voile légère – kayak - aviron

L'**inhalation** d'aérosols contaminés est la seule voie d'exposition lors de la pratique de ces sports. Ils sont créés par le vent, les vagues et la glisse sur l'eau à vitesse élevée. Les expositions par contact cutané ou ingestion sont négligées pour ces sports où les chutes, même chez les débutants, sont occasionnelles

Randonnée

Cet usage n'est pas une activité récréative aquatique. Cependant, dans certaines situations, le randonneur du littoral peut être contaminé par **inhalation** d'embruns créés par

des conditions météorologiques spécifiques (vent, vagues). Cet usage est donc intégré à la présente réflexion.

d. Intérêt croissant

Pour terminer il aurait été intéressant de déterminer si les espèces sont « nouvelles » car on s'y intéresse plus et / ou que leur détection est favorisée par des moyens techniques de détection plus performants. Cet aspect n'a pu être traité dans cette étude faute de temps.

5. BIOLOGIQUE

Le terme « risque biologique des eaux de baignade » désigne, ici, un risque lié à un organisme vivant toxique présent dans les eaux littorales. Cette étude s'intéresse aux différentes espèces toxiques lors de la baignade ou d'une activité aquatique récréative : organismes microbiologiques* allochtones, algues*, méduses*, poissons venimeux, et autres invertébrés marins tel que les oursins. Les espèces toxiques par ingestion de produits alimentaires uniquement ne font pas l'objet de cette étude.

II. Méthode

L'objectif de ce paragraphe est de présenter la méthode de hiérarchisation suivie afin de classer les agents biologiques sélectionnés.

1. PRINCIPE DE HIERARCHISATION

L'approche consiste à hiérarchiser les différents agents biologiques. **Hiérarchiser** un risque permet de déterminer les risques sur lesquels il faut agir en premier. La hiérarchisation est un classement basé sur un nombre restreint d'indicateurs.

La qualité d'un outil de hiérarchisation dépend de sa construction (nombre et pertinence des indicateurs, pondération, seuils fixés), de son remplissage (qualité et quantité des données recueillies) et de sa facilité d'utilisation. Enfin pour être utilisable le résultat de cet outil doit discriminer chacun des paramètres d'entrée (ici agent biologique). Un bon outil est donc un compromis entre exhaustivité des indicateurs, qualité des données et facilité d'utilisation.

L'outil de hiérarchisation conçu pour cette étude est une **approche multicritère** s'appuyant sur **l'impact sanitaire, l'impact sur le milieu et l'impact économique** de chaque agent.

2. SELECTION DES AGENTS

Il existe aujourd'hui un grand nombre d'agents biologiques présentant un risque pour la baignade sur le littoral méditerranéen. Les principaux sont les suivants : les microorganismes, les microalgues, les organismes gélatineux et les poissons. Le but de cette étape est de sélectionner les agents considérés comme « nouveaux » au sens défini par le paragraphe I.3.c de cette première partie. La sélection s'est faite en trois étapes.

a. étape 1

Une recherche bibliographique par mot clé a été réalisée sur les bases de données et moteurs de recherche suivants : Isi web of knowledge, Sciences direct, Ebscohost, Medline, Google Scholar.

La plupart des requêtes ont été formulées à partir des mots clés suivants : recreational water, mediterranean sea, risk assessment, microbial risk, coastal water, phytoplankton, cyanobacteria, harmful bloom algae (HAB), jellyfish, pathogens,

microorganism, bloom, aquatic activities, transitional water, skin irritation, respiratory irritation, toxins, human toxicity or risk.

Cette recherche assez large avait pour objectif le recensement des différents risques biologiques actuels des eaux de baignade en France et dans le monde.

b. étape 2

La liste a ensuite été restreinte aux agents présents en Méditerranée d'après la littérature. On distingue (i) les espèces ayant un impact sanitaire connu sur le littoral méditerranéen français mais dont les pullulations sont potentiellement plus fréquentes ces dernières années (**type 1**), (ii) les espèces introduites récemment ou présentes sur le littoral français depuis longtemps dont les nouvelles proliférations ont engendré de nouvelles intoxications humaines inexistantes ou non décelées jusqu'ici (**type 2**) (iii) les espèces présentes sur le littoral méditerranéen sans impact sanitaire actuel en France mais ayant un impact sanitaire à l'étranger (**type 3**). Le but de cette catégorie est de repérer les agents présentant un risque sanitaire potentiel pour les années à venir.

c. étape 3

La présence sur le littoral français méditerranéen des agents biologiques recensés à l'étape précédente a été vérifiée auprès de la littérature, d'experts (voir ANNEXE 2) ou de données expérimentales (données quadrages de l'Ifremer, données du gipreb).

3. OUTIL DE HIERARCHISATION

a. construction de l'outil de hiérarchisation

Chacun des risques sanitaires est caractérisé par une approche multicritère s'appuyant sur l'impact sanitaire, l'impact sur le milieu, l'impact économique. L'**impact sanitaire** au centre de cette étude vise à recenser les nouveaux risques biologiques des eaux de baignade sur le littoral méditerranéen. Il permet de classer les agents biologiques selon leur importance sur le plan sanitaire en Méditerranée française. La protection des milieux aquatiques et leur biodiversité étant une des compétences de l'Agence de l'Eau RMC, l'**impact sur le milieu** est évalué. L'impact sur l'économie littorale étant un élément important dans les prises de décisions de cette structure, une évaluation qualitative de l'**impact économique** de chacun des agents est effectuée.

Un sous score est attribué à chacun des critères. Le classement est basé sur un score final résultant d'une pondération de ces trois critères (voir table 4)

Enfin deux **critères complémentaires** permettent d'affiner l'interprétation du classement afin d'aboutir à la formulation de recommandations. L'**aptitude à gérer le risque**

a pour objectif d'évaluer qualitativement la gestion préventive actuellement en place (analyses par l'autorité compétente, surveillance par les sauveteurs) sur le territoire français. **L'évaluation de la qualité des données recueillies** doit permettre d'apprécier la qualité du résultat obtenu en se basant sur l'incertitude et la quantité de l'information recueillie.

b. choix des indicateurs

Certains critères (impact sanitaire et impact économique) sont appréciés par différents descripteurs (gravité, exposition, usages...) eux même évalués par un ou plusieurs indicateurs. Plus le nombre d'indicateurs pertinents est élevé, plus le classement final est affiné. Cependant le résultat de la hiérarchisation dépend aussi de l'exhaustivité et de la qualité de l'information contenue par ces indicateurs. Dans cette étude, le choix des indicateurs a donc été un compromis entre leur pertinence et la qualité de l'information disponible.

i. critères relatifs au classement

Pour faciliter la lisibilité des paragraphes suivants les descripteurs sont soulignés et mis en gras, les indicateurs sont mis en gras.

➤ Impact sanitaire

L'impact sanitaire s'appuie sur cinq descripteurs : la gravité, l'exposition, la présence de cas avérés, la répartition de l'espèce, l'apparition de l'espèce.

La **gravité des effets** est évaluée par trois indicateurs. La **présence de symptômes cutanés** et la **présence de symptômes autre que cutanés** constituent les deux premiers. En effet pour des sujets sans allergies particulières, les symptômes tels que irritations, inflammation des voies respiratoires, effets gastro-intestinaux sont plus graves qu'un symptôme cutané. L'intoxication par **voie alimentaire**, le dernier indicateur, génère généralement des symptômes plus graves qu'une intoxication se produisant lors de la pratique d'activités aquatiques.

Remarque : il aurait été pertinent de prendre en compte la durée des symptômes et l'existence d'un traitement curatif. Cependant l'information n'est pas toujours disponible et quand elle l'est, elle est très variable d'une étude à l'autre. Ces indicateurs ont donc été écartés afin d'améliorer la qualité de l'outil.

L'**exposition au danger** est évaluée par les différentes voies d'exposition (**ingestion** d'eau contaminée, **inhalation** d'aérosols contaminés ou **contact cutané**), et la population exposée (**existence d'une population vulnérable*** et usages). Dans cette étude, la population vulnérable concerne les allergiques, les asthmatiques, les tranches d'âge à risque, les hypersensibles des muqueuses. On suppose que le nombre de personnes

exposées (donnée indisponible dans la littérature) est proportionnel au nombre d'utilisateurs du milieu aquatique et on néglige le fait que des personnes pratiquent plusieurs activités. Quatre indicateurs « usages » ont ainsi été choisis : **activités à immersion complète sans combinaison** (baignade-PMT), **activités à immersion complète avec combinaison** (plongée), **activités à immersion partielle** (surf, windsurf, kitesurf, motonautisme), **activités à immersion rare**, (kayak, aviron, voile légère), **activités sans immersion** (randonneurs).

La **présence de cas humains avérés** est évaluée par trois indicateurs. La **présence de cas humains sur le littoral méditerranéen** et le **nombre de cas humains sur le littoral méditerranéen français supérieur à 100 par an** permettent de prioriser les agents ayant un impact sanitaire avéré et important sur le littoral méditerranéen français. Le seuil de 100 a été fixé de manière arbitraire et correspond environ au double du nombre de cas liés à *Ostreopsis sp* (entre 2006 et 2009). Malheureusement aucune donnée épidémiologique issue des structures médicales (Centre AntiPoison (CAP), hôpitaux ou cabinets médicaux), ou poste de secours n'a pu être récupérée. En effet le CAP de Marseille n'a pu répondre à ma requête en période estivale faute de personnel. La piste des postes de secours et structures médicales envisagée au départ a été abandonnée faute de temps. Enfin la **présence de cas reportés sur le pourtour méditerranéen hors France** confirme la toxicité de l'agent biologique pour l'homme.

La **répartition de l'espèce** sera évaluée par l'**étendue de sa présence** (présente ou non dans plusieurs zones géographiques : mer, océan ou lagune), par sa **présence dans les eaux côtières** et par sa **présence dans les eaux de transition**.

L'**apparition de l'espèce** sera caractérisée par le report d'au moins une **efflorescence ou pullulation dans les dix dernières années** sur le littoral méditerranéen français. Un agent présent sur le littoral méditerranéen français doit être prioritaire par rapport à un agent qui est présent mais qui n'a jamais proliféré sur ce littoral.

Remarque : L'apparition de l'espèce aurait pu être caractérisée de manière plus précise par :

- la période favorable à la prolifération de l'agent afin de la comparer à celle d'une saison balnéaire. Si l'agent prolifère au-delà de la saison balnéaire voire toute l'année, les baigneurs mais aussi les pratiquants réguliers d'activités aquatiques sont exposés : la population exposée est donc plus importante.
- la durée d'une prolifération et la fréquence moyenne des proliférations par année.
- l'évolution des données épidémiologiques au cours de ces 10 dernières années (CAP, poste de secours) afin d'évaluer l'évolution de la fréquence d'apparition.

Ces indicateurs n'ont pu être retenus faute d'information disponible et de temps.

➤ Impact sur le milieu

Pour évaluer l'incidence de la prolifération ou de l'introduction d'une nouvelle espèce sur la biodiversité, l'indicateur le plus pertinent serait probablement d'évaluer le nombre d'espèces impactées. Malheureusement cette information est peu développée dans la littérature. L'**incidence sur le milieu** est donc évaluée de manière qualitative d'après la littérature.

➤ Impact économique

Il est évalué par l'impact sur les **activités professionnelles non touristiques** (**incidence sur la pêche professionnelle** et **l'incidence sur l'aquaculture**) et sur l'**activité touristique**. Ces indicateurs sont évalués de manière qualitative (oui/non) d'après la littérature car des données chiffrées fiables n'existent pas.

Remarque : Pour évaluer l'impact sur l'activité touristique il serait pertinent de :

- considérer le nombre de plages impactées par la présence de l'agent,
- considérer le nombre d'interdiction d'usages aquatiques (nombre d'arrêtés préfectoraux et municipaux) et leur durée,
- évaluer le nombre publications-reportages grand public concernant le sujet,
- chiffrer la perte économique en tenant compte des différents commerces liés au tourisme.

ii. critères complémentaires

➤ Aptitude à gérer le risque sanitaire :

Ce critère est apprécié qualitativement selon trois niveaux, « facile, difficile, très difficile ». L'appréciation s'appuie sur la présence ou non d'un suivi sanitaire environnemental en France ainsi que sa facilité de mise en œuvre (analyse ARS ou collectivité territoriale, surveillance visuelle). De même la connaissance ou non des facteurs environnementaux favorisant les apparitions et la facilité à gérer un épisode sanitaire sont prises en compte. La facilité à gérer l'épisode sanitaire dépend principalement de la taille de l'agent (macroscopique, microscopique) et de son mode d'intoxication.

Qualité des données

Elle est appréciée globalement pour chacun des critères (sanitaire, milieu, économique) de manière qualitative grâce à plusieurs aspects : quantité, source, données controversées dans la communauté scientifique, consultation ou non d'expert sur le sujet, nombre d'indicateurs non renseignés dans le tableau.

c. score

Le **score** n'a **aucune valeur absolue**. Il permet seulement de discriminer le « risque relatif » représenté par chaque agent. Afin de simplifier au maximum l'outil et compte tenu de l'information disponible, les différents **indicateurs** présentés au paragraphe précédents (II.3.b.i) sont renseignés qualitativement : **oui=2 / non=0**, exceptés quelques indicateurs notés ci-dessous (table 3).

Descripteurs	Indicateurs	Valeurs	Justifications
Gravité	symptômes cutanés	0 ou 1	Les symptômes cutanés moins graves que les symptômes non cutanés considérés par l'étude.
Usages	tous sauf activités à immersion complète	0 ou 1	La valeur attribuée à ces indicateurs est la moitié de l'indicateur « usages à immersion complète ». En effet ce dernier inclut l'activité baignade qui concerne un nombre d'usagers plus important que les autres usages.

Table 3 : Indicateurs ayant un score de 1

Un **sous-score** est affecté à chacun des **critères** permettant d'évaluer en particulier son impact sanitaire avéré ou potentiel. Enfin le score final est le résultat d'une pondération déterminée en fonction des objectifs de l'Agence de l'eau RMC qui assure le suivi de la qualité du milieu. Le score le plus élevé correspond à l'agent prioritaire en termes d'actions à conduire.

	Score
IMPACT SANITAIRE	
Gravité	
Symptômes cutanés	0 ou 1
Symptômes autres que cutanés	0 ou 2
Absence d'un traitement curatif	0 ou 2
Risque sanitaire alimentaire	0 ou 2
Exposition	
Voie d'exposition	
Ingestion	0 ou 2
Inhalation	0 ou 2
Cutanée	0 ou 2
Population exposée	
Existence d'une population vulnérable	0 ou 2
Usages à immersion complète sans combinaison (baignade, PMT)	0 ou 2
Usage à immersion complète avec port combinaison (plongée)	0 ou 1
Usages à immersion partielle (surf, windsurf-kitesurf, motonautisme)	0 ou 1
Usages à immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	0 ou 1
Usage sans immersion (randonnée)	0 ou 1
Cas humains avérés	
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	0 ou 2
Nombre de cas France en France > à 100 par an	0 ou 2
Cas reportés pourtour méditerranéen	0 ou 2
Géographie	
Présence étendue	0 ou 2

Eau de mer	0 ou 2
Eaux de transition	0 ou 2
Apparition de l'espèce	
Prolifération/pullulation dans les 10 dernières années sur le littoral méditerranéen français	0 ou 2
Sous score	S
INCIDENCE MILIEU	
Incidence sur la biodiversité signalée dans la littérature	0 ou 2
Sous score	M
ECONOMIE	
Activités professionnelles non touristiques	
Incidence sur la pêche professionnelle	0 ou 2
Incidence sur l'aquaculture	0 ou 2
Activités touristiques	
Signalées dans la littérature	0 ou 2
Sous score	E
SCORE TOTAL	3*S+2*M+1*E
GESTION DU RISQUE SANITAIRE	
Difficulté appréciée qualitativement	
QUALITE DES DONNEES/SCORE	
Sanitaires	commentaire
Environnementales	commentaire
Economiques	commentaire
Nombre d'indicateurs non renseignés dans le tableau	nombre

Table 4 : Détails de l'outil de hiérarchisation

Remarque : Lorsque la donnée est manquante, la case score est complétée par la lettre X. Par défaut la valeur zéro lui est affectée lors du calcul des sous-scores et du score final.

d. pondération des différents thèmes

La pondération des différents thèmes a été déterminée en fonction de la problématique de l'étude et des attentes de l'Agence de l'eau RMC.

L'**impact sanitaire** est au cœur de la problématique de cette étude. Il est plus développé (indicateurs plus nombreux) que les autres thèmes. Le facteur de pondération affecté est de **3**. L'Agence de l'eau RMC est un établissement public travaillant sur la protection et l'amélioration de la qualité des milieux aquatiques. L'état du milieu, notamment

de la biodiversité, est un élément décisionnel majeur et plus important que l'aspect économique. Le sous score du critère **impact milieu** sera donc pondéré par le facteur **2**. L'aspect économique est un élément non négligeable dans les prises de décisions mais est moins important que le critère précédent, le sous score **impact économique** sera donc pondéré par le facteur **1**.

Le **score final** est la **somme** des **sous scores** de ces trois critères **affectés** de leur coefficient de **pondération** (voir Table 4).

III. Agents sélectionnés

Afin de faciliter la lecture des résultats, vous trouverez dans la suite du texte une rapide présentation des différents agents sélectionnés. Une fiche récapitulative indiquant des généralités, les éléments épidémiologiques, environnementaux et économiques de chacun des agents étudiés se trouve en ANNEXE 4.

Pour commencer il est important de différencier les **agents allochtones** et **autochtones** de l'environnement aquatique. Les agents allochtones de l'environnement aquatique concernent dans cette étude les microorganismes d'origine fécale humaine ou animale. Ce sont des virus, des bactéries et des parasites. Les macroalgues, le phytoplancton, les cyanobactéries, les méduses, les poissons, les invertébrés marins et certaines bactéries (vibrios) sont autochtones de l'environnement aquatique.

1. AGENTS NON RETENUS

Certains agents n'ont pas été retenus pour la hiérarchisation car ils ne présentaient pas de danger, n'étaient pas nouveau au sens de cette étude, ou bien il y avait trop peu d'informations les concernant.

a. agents allochtones du milieu marin

Les microorganismes pathogènes allochtones (virus, bactéries, parasites) retrouvés dans les eaux littorales sont essentiellement d'origine fécale. Différentes sources de contamination fécale sont possibles : les rejets d'eaux usées et le baigneur lui-même. La charge microbienne portée par le baigneur est négligeable par rapport aux rejets d'eaux usées. Les eaux usées proviennent principalement des systèmes d'assainissement collectif ou non collectif.

Les améliorations techniques dans ce domaine et le déplacement de certains émissaires ont permis de réduire considérablement la charge microbiologique rejetée dans les eaux de baignade. Même si des progrès restent à faire, notamment dans la gestion des épisodes pluvieux, le risque microbiologique sanitaire dans les eaux de baignade lié à ces installations est relativement bien maîtrisé en France et n'est pas un « nouveau risque » au sens de cette étude. Le **risque lié aux agents microbiologiques d'origine fécale** a été **écarté** puisqu'il n'est pas nouveau et est **considéré comme maîtrisé**, du moins en ce qui concerne la contamination de l'eau par les rejets d'eaux usées.

b. agents autochtones du milieu marin

Les **macroalgues** peuvent former des marées vertes dans les lagunes méditerranéennes mais aucun risque sanitaire n'est associé à ces proliférations algales lors de la pratique de la baignade ou autres activités aquatiques.

Les **oursins** et les **vives** sont des espèces urticantes communes sur le littoral méditerranéen. Il aurait été intéressant d'évaluer l'évolution de leur présence à travers l'évolution du nombre de piqûres qu'elles ont engendrées ces dernières années. Cependant ces dangers sont assez bien connus des usagers du littoral et les données épidémiologiques n'étaient pas accessibles.

Enfin l'apparition sur le littoral méditerranéen de **poissons** lessepsiens* venimeux peut être un nouveau danger. Ils peuvent présenter un risque pour les sports se pratiquant au large et avec immersion telle que la plongée principalement et le motonautisme. Cependant ces espèces sont encore peu présentes sur le littoral méditerranéen français et n'évoluent pas toujours proche des zones de baignade, elles n'ont donc pas été retenues pour la hiérarchisation. Quelques précisions sur les espèces de poisson et le risque microbiologique sont indiquées en ANNEXE 4.

2. AGENTS RETENUS

a. phytoplancton eucaryote

Ostreopsis sp : Il existe deux espèces d'*Ostreopsis* en Méditerranée : *Ostreopsis cf ovata* et *Ostreopsis cf siamensis* (Kantin, 2007). La plupart des données à l'heure actuelle concernent *Ostreopsis cf Ovata*, cependant elles sont difficilement discernables au microscope. Elles ne sont pas différenciées dans cette étude et sont regroupées sous le nom de *Ostreopsis sp*. Les épisodes sanitaires causés par les efflorescences d'*Ostreopsis sp* ont touché environ 200 personnes en Italie et en Espagne, environ 47 personnes en France entre 2006 et 2009. Cette algue unicellulaire microscopique est toxique par contact cutané et par inhalation d'aérosols marins contaminés provoquant des irritations cutanées ou des voies respiratoires.

Karenia brevis : Responsable de marées rouges dans le golf du Mexique et en Floride, ce dinoflagellé est toxique par inhalation d'aérosols contaminés et provoque des irritations des voies respiratoires. Présente sur le littoral méditerranéen français, aucune prolifération et aucun cas humain n'a été enregistré sur ce littoral.

b. cyanobactérie

Plankthotrix agardhii : Cyanobactérie d'eau douce, elle est présente en eaux de transition méditerranéenne française, elle peut sécréter des microcystines. L'intoxication peut avoir lieu par ingestion d'eau contaminée, inhalation et contact cutané. Le contact cutané, principale voie d'exposition, conduit à des irritations de la peau.

Lyngbya majuscula : C'est une cyanobactérie marine toxique responsable d'épisodes sanitaires importants en Australie. Cette espèce est toxique par contact cutané direct avec une eau contaminée ou par inhalation d'aérosols marins contaminés. Elle provoque des irritations de la peau et des voies respiratoires. Présente sur le littoral méditerranéen français, aucune prolifération et aucun cas humain n'ont été enregistrés sur ce littoral.

c. méduses

La pullulation des **différentes espèces de méduses** en Méditerranée ces dernières années est une hypothèse de la communauté scientifique. Dans cette étude les espèces de méduses ont été sélectionnées sur leur toxicité, leur occurrence sur le littoral ou leur récente introduction en mer Méditerranée.

Pelagia noctiluca est la plus fréquente et la plus douloureuse des méduses communes de Méditerranée. Les espèces ***Rhizostoma pulmo*** et ***Aurélia aurita*** sont faiblement à modérément urticantes et apparaîtraient plus fréquemment dans le bassin méditerranéen ouest ces dernières années. ***Aurélia aurita*** est présente en mer et en eaux de transition et son potentiel urticant est très variable d'une région du globe à l'autre. Enfin deux autres espèces ont été sélectionnées pour leur gravité. Présente de manière sporadique sur le littoral méditerranéen ***Chrysaora hysoscella*** est dangereuse du fait de sa large surface urticante. ***Rhopilema nomadica*** est une espèce lessepsienne provoquant des brûlures très douloureuses. Elle est pour l'instant limitée au bassin est méditerranéen, mais arrivera probablement un jour sur le bassin ouest.

Tous les **organismes sélectionnés sont autochtones** du milieu marin. Des photos pour certains d'entre eux, se trouvent en figure 2.

3. LIMITES

La démarche suivie doit permettre d'aboutir à un recensement exhaustif. Cependant la bibliographie, le temps imparti et le manque de données épidémiologiques et écologiques françaises ont limité ce recensement. Certaines espèces de microorganismes présentent un risque sanitaire avéré en France ou à l'étranger par la sécrétion de composés toxiques pour l'homme (*Lyngbya majuscula*, *Ostreopsis sp.*, ...). Il aurait été intéressant de recenser les

espèces présentes sur le littoral méditerranéen français et sécrétant ces toxines (PTX-like, lyngbyatoxine A, microcystine).

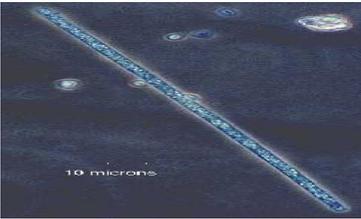
 <p><i>Ostreopsis</i> sp DSP, Ville de Marseille</p>	 <p><i>Aurelia aurita</i> CIESM</p>
 <p><i>Planktothrix agardhii</i> S. Fayolle</p>	 <p><i>Pelagia noctiluca</i> Wikipédia</p>
 <p><i>Rhizostoma pulmo</i> Wikipédia</p>	 <p><i>Rhopilema nomadica</i> Wikipédia</p>
<p><i>La couleur de Lyngbya majuscula varie du blanc au rouge en passant par le brun-olive.</i></p>	<p><i>Karenia Brevis, forme des marées rouges</i></p>
 <p><i>Chrysaora hysoscella</i> FFESSM</p>	

Figure 2 : Illustrations des différentes espèces choisies

IV. Hiérarchisation

Afin de faciliter la lecture des résultats, vous trouverez dans la suite du texte une compilation de ces derniers. Une fiche comportant le score détaillé et sa justification pour chacun des agents se trouve en ANNEXE 3.

1. RESULTATS

L'outil de hiérarchisation conçu dans le cadre de cette étude a permis de classer neuf agents biologiques sélectionnés d'après la littérature, leur toxicité pour l'homme et leur présence sur le littoral méditerranéen français. Certains agents sont à l'origine d'**intoxications** sur le **littoral méditerranéen français** (*Pelagia noctiluca* et *Ostreopsis sp*). Les autres causent des **intoxications à l'étranger** ou en France, mais aucun cas humain n'a été reporté sur le littoral méditerranéen français d'après la littérature. L'absence de cas humains sur le littoral français peut s'expliquer de deux manières : pas de prolifération importante (*Lyngbya majuscula*, *Karenia Brevis*), ou aspécificité des symptômes (brûlures de méduses (*Aurélia aurita*, *Chrysaora hysoscella* *Rhizostoma pulmo*) ou irritations cutanées (*Planktothrix agardhii*)) rendant difficile l'identification des cas.

a. classements

Les classements obtenus (pondérés et sanitaires) sont indiqués dans la table 5 ci-dessus.

Rang PONDERE- SANITAIRE	NOMS espèces	Caractéristique	GESTION	QUALITE de l'information recueillie
1-1	<i>Ostreopsis sp</i>	phytoplancton	Difficile	Bonne
2-3	<i>Pelagia noctiluca</i>	méduse	Facile	Moyenne
3-2	<i>Lyngbya majuscula</i>	cyanobactérie	Très difficile	Bonne
4-3	<i>Planktothrix agardhii</i>	cyanobactérie	Difficile	Moyenne
5-5	<i>Karenia Brevis</i>	phytoplancton	Très difficile	Moyenne
6-6	<i>Aurelia aurita</i>	méduse	facile	Moyenne
7-7	<i>Rhizostoma pulmo</i>	méduse	facile	Moyenne
8-9	<i>Rhopilema nomadica</i>	méduse	facile	Faible
9-8	<i>Chrysaora hysoscella</i>	méduse	facile	Faible

Table 5 : Résultats de la hiérarchisation

Le détail du score de chacun des agents se trouve dans la table 6. La valeur affectée à chacun des indicateurs pour chacun des agents est justifiée en ANNEXE 3.

Table 6 : Score détaillé par agent

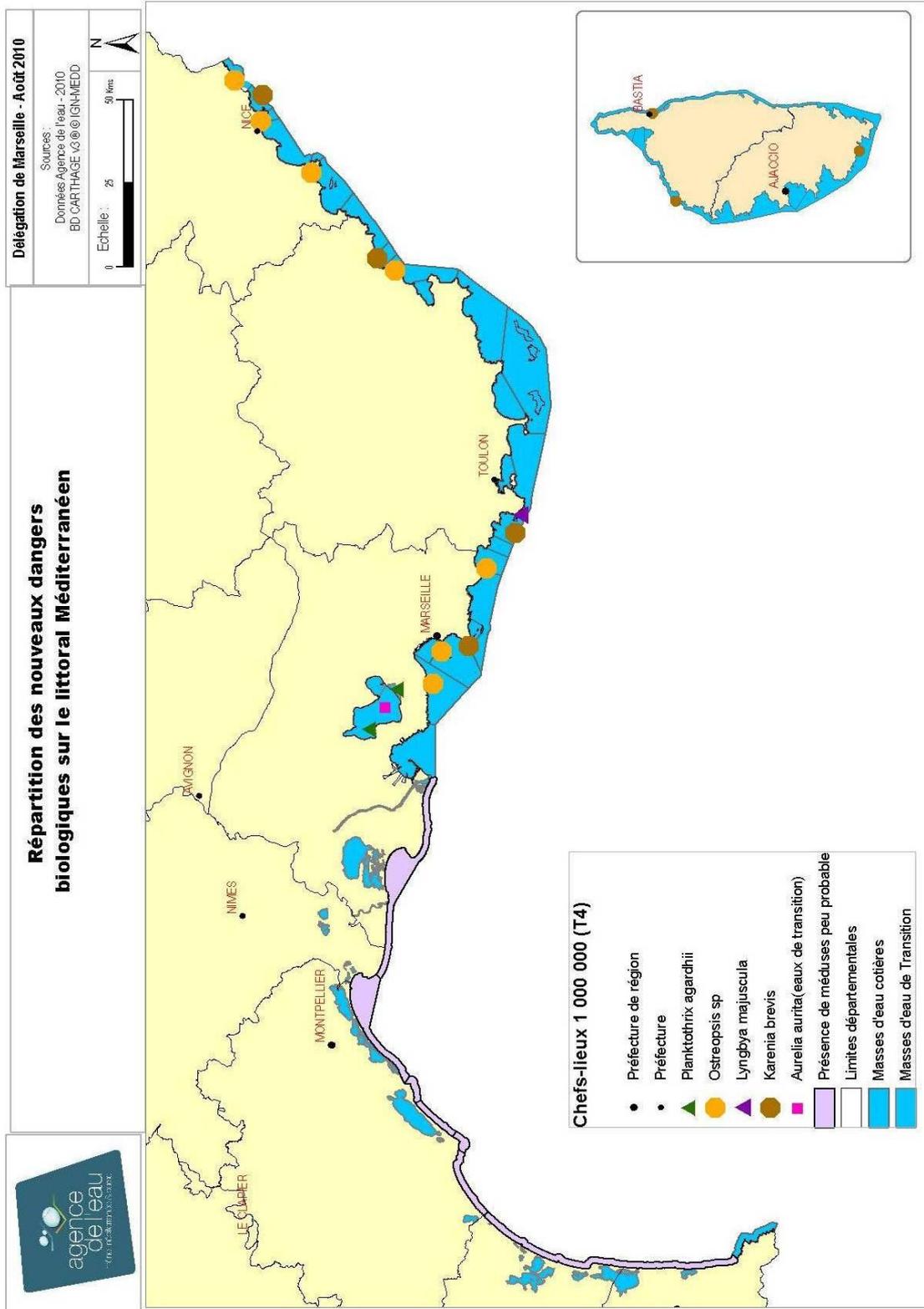
F=facile, D=Difficile, TD=Très difficile

	Aurelia aurita	Chrysaora hysoscella	Karénia brevis	Ostreopsis sp	Pelagia noctulica	Rhizostoma pulmo	Planktothrix agardhii	Lyngbya majuscula	Rhopilema nomadica
IMPACTSANTIAIRE									
Gravité									
Symptômes cutanés	1	1	0	1	1	2	1	1	1
Symptômes autres que cutanés	0	0	2	2	2	0	2	2	0
Risque sanitaire alimentaire	0	0	2	2	0	0	2	2	0
Exposition									
Voie d'exposition									
Ingestion	0	0	X	0	0	0	2	0	0
Inhalation	0	0	2	2	0	0	2	2	0
Cutanée	2	2	0	2	2	2	2	2	2
Population exposée									
Existence d'une population sensible	0	X	2	X	2	X	2	2	X
Usages à immersion complète sans combinaison (baignade-PMT)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Usage à immersion complète avec combinaison (plongée)	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Usages à immersion partielle avec ou sans combinaison (surf, windsurf-kitesurf, Motonautisme)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Usages à immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Usage sans immersion (randonnée)	0	0	1	1	0	0	0	1	0
Cas humains avérés									
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	X	X	0	2	2	X	X	0	0

Nombre de cas humains en France > à 100 par an	X	X	0	0	2	X	0	0	0
Cas reportés pourtour méditerranéen	X	2	0	2	2	2	X	0	X
Géographie									
Présence étendue	2	2	2	2	2	2	0	2	2
Eau de mer	2	2	2	2	2	2	0	2	2
Eaux de transition	2	0	0	0	0	0	2	2	0
Apparition de l'espèce									
Prolifération dans les 10 dernières années	2	0	0	2	2	X	2	0	0
INCIDENCE MILIEU									
Incidence sur le milieu signalée dans la littérature	2	X	2	2	2	X	2	2	2
IMPACT ECONOMIQUE									
Activités professionnelles non touristiques									
Incidence sur la pêche professionnelle	2	X	X	2	2	2	X	X	2
Incidence sur l'aquaculture	2	X	X	X	2	0	X	X	0
Activités touristiques									
Signalées dans la littérature	2	X	X	2	2	2	X	X	2
GESTION DU RISQUE									
Estimation qualitative	F	F	TD	D	F	F	D	TD	F
QUALITE DES DONNEES									
Données disponibles									
Sanitaire	C	D	B	A	A	C	B	A	B
Environnementale	B	D	C	B	B	B	C	B	B
Economique	C	D	D	B	B	A	D	D	D
Nombre d'indicateurs non renseignés	4	8	4	2	0	5	5	3	2
SCORE									
Sanitaire	14	12	18	25	22	13	22	23	10
Milieu	2	0	2	2	2	0	2	2	2
Eco	6	0	0	6	6	4	0	0	4
Score final	52	36	58	85	76	43	70	73	38

b. localisation du danger

Les figures 3 et 4 localisent les différents agents sélectionnés sur le littoral méditerranéen français.





Répartition des nouveaux dangers biologiques sur le littoral Méditerranéen

PACA-CORSE

Délégation de Marseille - Août 2010

Sources :
Données Agence de l'eau - 2010
BD CARTHAGE v3 © IGN/VEDD

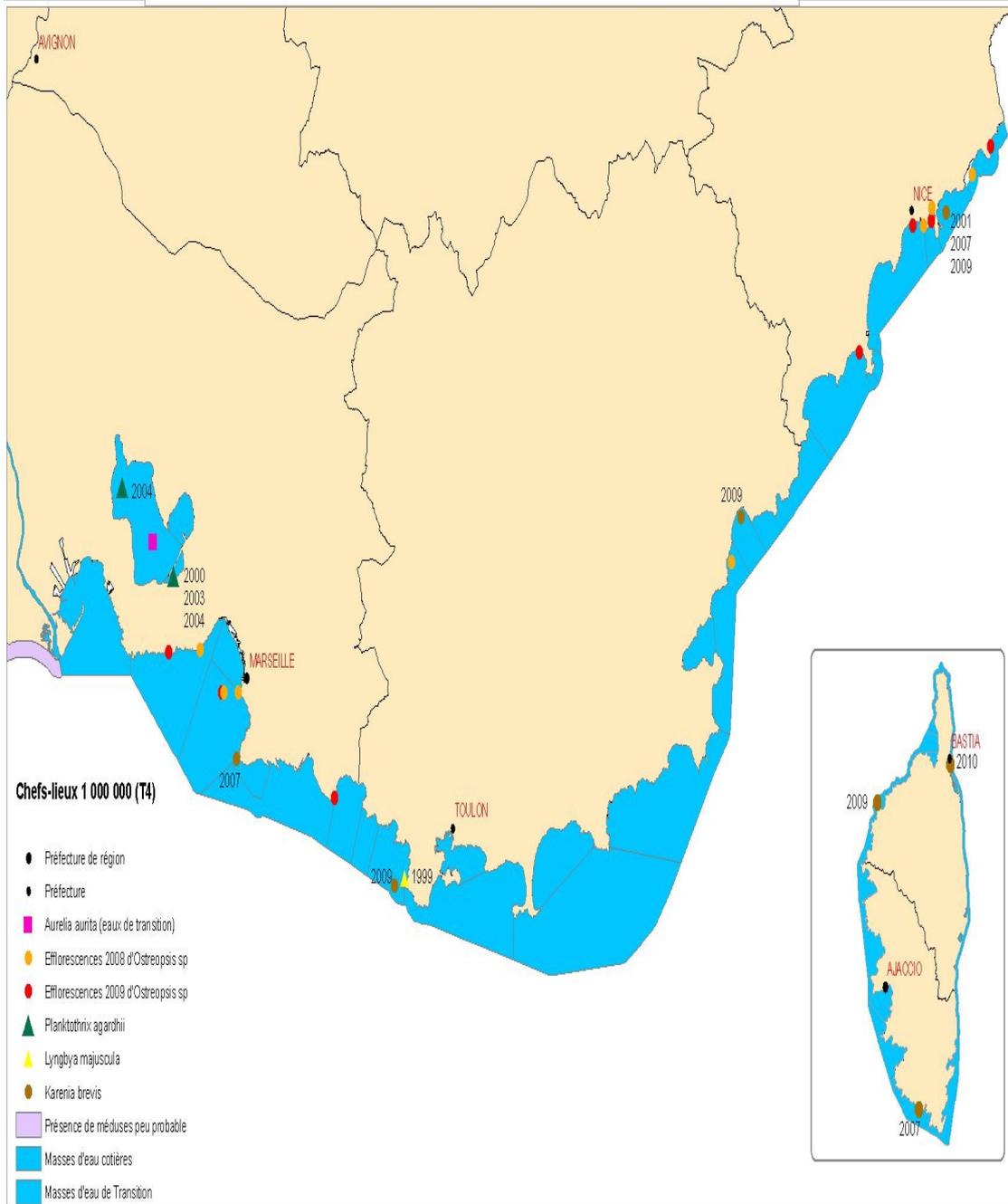
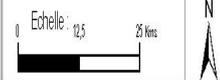


Figure 4 : Répartition des nouveaux dangers biologiques sur le littoral PACA CORSE

Commentaire sur les cartes

La plupart des **méduses** sont présentes dans tout le bassin ouest méditerranéen. Cependant, elles sont peu présentes sur le littoral Languedoc Roussillon, car elles suivent le courant liguro provençal. Ce dernier passe au large des côtes languedociennes.

Les points concernant *Ostreopsis sp* sur ces deux cartes correspondent à des efflorescences ayant engendré des cas humains d'irritations respiratoires ou cutanées ou des dépassements du seuil d'alerte de 30 000 cellules/L entre 2008 et 2009. On s'aperçoit qu'*Ostreopsis sp* n'a pas d'impact sanitaire sur le littoral languedocien. En effet elle se développe dans les zones rocheuses (littoral PACA), elle a donc peut de chance de se proliférer dans les zones sableuses du littoral méditerranéen français ouest.

Les données relatives à *Karenia Brevis* sont issues des données quadriges de l'Ifremer entre 2001 et 2010 sur les littoraux PACA et Corse. Les points représentés correspondent à une concentration de *K. Brevis* et *Papilionacea* supérieure à 100 cellules/L. Aucune efflorescence n'a été détectée.

Je n'ai pas obtenu de données environnementales concernant *L. majuscula*. Une publication indique que cette espèce est présente au Brusq, dans le var (Mesguich et al, 1999).

Les données environnementales concernant *Planktothrix agardhii* ont été obtenues auprès du Gipreb, de S. Fayolle (CNRS) et de l'ARS PACA. Les triangles verts indiquent que la présence de *Planktothrix agardhii* a été détectée lors des analyses.

On peut noter la présence d'*Aurelia aurita* en eaux de transition et notamment dans l'étang de Berre.

Je n'ai pas réussi à avoir de données sur les microalgues en lagunes méditerranéennes. L'absence de point dans ces zones là ne signifie donc pas nécessairement l'absence de risque.

2. INTERPRETATION

Les deux classements sanitaire et pondéré aboutissent à un résultat légèrement différent. La pondération permet donc d'affiner le résultat en fonction d'éléments écologiques et économiques. Ainsi *Pelagia noctulica* et *Rhopilema nomadica* ont gagné une place dans le classement principalement à cause de l'impact économique négatif qu'ils peuvent engendrer.

a. agents toxiques

Les **agents prioritaires** d'après ces résultats sont le dinoflagellé *Ostreopsis sp* et la méduse *Pelagia noctiluca*.

A l'exception de *Pelagia noctulica*, les agents prioritaires d'après cette hiérarchisation sont des espèces de microalgues. En effet, une efflorescence de microalgues peut rapidement avoir un impact sanitaire important, du fait de la **multiplicité des voies d'exposition** et des **syndromes engendrés**. Si les irritations cutanées sont souvent peu graves, les irritations des voies respiratoires peuvent être plus inquiétantes. Pour la plupart des espèces, plusieurs voies d'exposition sont possibles pour être intoxiqué par ces algues microscopiques (inhalation, cutanée et ingestion). L'intoxication peut ainsi se produire lors de la pratique de différentes activités aquatiques et par différentes voies d'exposition. La toxicité de ces microalgues résulte en partie de la libération de toxines dans l'eau capable de bioaccumuler dans la chaîne trophique. Au risque d'intoxication lors de la baignade ou activités apparentées, s'ajoute celui par **voie alimentaire**.

Les agents biologiques à risque les **moins prioritaires** sont **des méduses**. En effet, si elles touchent un grand nombre de personnes, en général les symptômes sont plus incommodants que graves (cicatrice pouvant durer plusieurs semaines, sensation désagréable lors de la brûlure). Cependant la sévérité des réactions dépend de l'espèce de méduse et de la sensibilité des personnes. La dangerosité des différentes méduses est décrite par la suite. Par ailleurs l'impact économique des méduses est important puisqu'il perturbe souvent les trois domaines professionnels : pêche, aquaculture et tourisme. La plupart de ces espèces rendent souvent la baignade impraticable et entraînent une diminution de la fréquentation touristique. C'est le cas par exemple pour *R. nomadica* en Israël (Mariottini et al, 2010). De plus, leur pullulation peut colmater et casser les filets de pêche ainsi que perturber l'activité aquacole (par exemple *Pelagia noctulica* (Hecq et al, 2009, Mariottini et al, 2008)).

Le dinoflagellé *Ostreopsis sp* est le **nouveau danger principal** sur le littoral méditerranéen, avec les premiers épisodes sanitaires en Méditerranée en 2001 et en France

en 2006. La gestion de ce risque sanitaire a été prise en charge par le ministère de la santé. C'est donc un risque avéré en France, pour lequel l'épisode sanitaire peut être important puisqu'il peut toucher aussi bien les pratiquants d'activités aquatiques que les personnes présentes sur le bord de mer.

Pelagia noctiluca est chaque année **l'ennemi numéro 1 des baigneurs**. D'après les données épidémiologiques recueillies dans cette étude, c'est l'agent biologique touchant le plus de personnes parmi les huit agents sélectionnés. *P. noctulica* ressort **prioritaire par rapport** aux autres méduses du fait de sa dangerosité, de sa fréquence sur le littoral et de la qualité des données disponibles. En général, sa présence est plus incommode que grave puisqu'elle engendre des brûlures douloureuses pouvant marquer la peau plusieurs semaines voir plusieurs mois (com. pers.). Cependant lors d'envenimations massives, elle peut provoquer des symptômes plus graves tels que mal de tête, vertige, syncope, vomissement, faiblesse, fièvre, ulcération, hématurie. Si les apparitions sont plus massives et plus fréquentes, on peut s'attendre à une augmentation des cas d'envenimations massives. De plus il est important de noter que la sévérité de la réaction dépend de chaque individu et notamment de son terrain allergique, de la sensibilité de sa peau et de ses antécédents de piqûre. (Hecq et al 2009, Mariottini 2008). Enfin les apparitions de *Pelagia noctiluca* s'accompagnent d'un impact économique important.

Lyngbya majuscula, cyanobactérie marine, occupe la troisième position de ce classement mais la seconde place sur le plan sanitaire. Son importance sanitaire résulte, comme on l'a vu précédemment, de la multiplicité des voies d'expositions. **Aucune efflorescence** n'a été détectée à ce jour en **Méditerranée**. Cependant les épisodes d'intoxication australiens montrent que l'impact sanitaire d'efflorescence de *Lyngbya majuscula* en France, de nature semblable à celui d'*Ostreopsis sp*, pourrait être important s'il n'est pas contrôlé. L'épisode de **Mayotte** en avril 2010 le confirme avec l'apparition d'irritations cutanées et respiratoires chez une soixantaine de personnes, concomitante avec la prolifération de *Lyngbya majuscula*. Le nombre de cas a probablement été limité par la fermeture de la plage suite à la pollution d'origine fécale de l'eau de mer (Afsset 2010). Les proliférations de cette cyanobactérie semblent être favorisées par la pollution ; elle peut être présente dans les eaux côtières et les eaux de transition.

Planktothrix agardhii est une cyanobactérie d'eau douce pouvant proliférer en eaux de transition (prolifération dans les étangs de **Bolmon** et de **l'Olivier**). Le nombre de cas est difficilement recensable car les symptômes sont aspécifiques. Il y a donc peu de données

épidémiologiques à ce sujet. Elle représente un risque non négligeable en eau douce (Afssa-Afsset 2006).

Karenia brevis, dinoflagellé marin, occupe la cinquième place du classement. Les marées rouges de *Karenia Brevis* dans le Golf du Mexique ont impact sanitaire important. L'exposition se fait uniquement par inhalation d'aérosols contaminés ce qui explique qu'elle soit classée dernière des microalgues étudiées dans cette étude. Détectée à plusieurs endroits sur le littoral méditerranéen français (données quadriges), **aucune prolifération de *Karenia Brevis* n'a encore été reportée sur le littoral méditerranéen.**

Enfin quatre espèces de **méduses** se trouvent à la fin du classement car leur **impact sanitaire** est plutôt **faible** (brûlure de la peau) et les données concernant leur présence sur le littoral méditerranéen français sont peu nombreuses. L'augmentation des pullulations de méduses de Méditerranée est encore une hypothèse. Les espèces ***R. pulmo*** et ***A. aurita*** sont des espèces communes en Méditerranée ouest dont les piqûres sont généralement **peu douloureuses** mais l'impact économique sur les côtes méditerranéennes est important (tourisme, pêche, aquaculture). ***Rhopilema nomadica***, est une espèce lessepsienne, **très urticante** dont la répartition est pour l'instant limitée au **bassin Est** méditerranéen. Son apparition dans le bassin ouest est donc à surveiller. ***Chrysaora hysocella*** est **très urticante**, elle est présente pour l'instant de manière **sporadique** en Méditerranée et au large. Elle peut occasionnellement se trouver sur les côtes selon les courants.

Finalement, ces résultats mettent en évidence trois types de risques :

- les agents présentant un **risque sanitaire avéré sur le littoral méditerranéen français** : *Ostreopsis sp* et *Pelagia noctiluca* dont *Ostreopsis sp* est le plus préoccupant actuellement.
- les agents présentant un **risque sanitaire avéré à l'étranger** : *Lyngbya majuscula* et *Karenia Brevis*, *Rhizostoma pulmo*, *Aurélia aurita*, *Chrysaora hysocella*, *Rhopilema nomadica*. Les plus préoccupants sont les espèces *Lyngbya majuscula* et *Karenia Brevis*. Il est important de noter que le potentiel de prolifération de ces espèces sur le littoral méditerranéen en fonction de ses conditions environnementales n'a pu être évalué dans le cadre de cette étude. De même leur toxicité peut être très variable d'une souche à l'autre. Dans cette étude la toxicité des souches françaises est supposée mais n'a pas été étudiée.
- l'agent le plus préoccupant actuellement pour les **eaux de transition en Méditerranée françaises** : *Planktothrix agardhii*.

b. gestion

La gestion de ces différents risques est plus ou moins difficile. Il ressort que la gestion d'une pullulation de **méduses** sur une plage est **facilitée** par leur taille. En effet elles sont visibles à l'œil nu et la surveillance visuelle, parfois complémentée par les premiers cas de brûlures suffisent pour détecter leur présence. De plus leur présence dissuade souvent les baigneurs d'entrer dans l'eau.

La gestion du risque lié à la prolifération d'**agents microscopiques** est plus **complexe** à cause de leur forme et de leur apparence souvent méconnue du public. En outre ils peuvent toucher un public plus large que les baigneurs puisqu'ils peuvent par exemple intoxiquer les randonneurs dans certaines conditions météorologiques.

On peut considérer que la gestion des espèces ayant déjà proliféré sur le littoral est moins difficile que celle liée à des espèces n'ayant jamais proliféré puisque les premières bénéficient déjà de l'attention des autorités, de la communauté scientifique ainsi que d'un suivi sanitaire environnemental. Par exemple des analyses sanitaires environnementales spécifiques ainsi qu'un protocole de gestion du risque ont été mises en place pour *Ostreopsis sp.* Au contraire *Lyngbya majuscula* ne bénéficie aujourd'hui d'aucune surveillance environnementale sur le littoral méditerranéen français, sa répartition sur ce littoral est donc peu voire pas connue. Une efflorescence d'*Ostreopsis sp* devrait donc être détectée plus rapidement qu'une efflorescence à *Lyngbya majuscula*, permettant une gestion plus efficace du risque.

c. économie et écologie

Pour tous les agents, exceptés *Chrysaora hysocella* (présence sporadique en méditerranée) et *Rhizostoma pulmo*, la littérature indique que leur prolifération peut avoir un impact sur le milieu. D'une manière générale les pullulations de méduses entraînent une diminution du stock de poisson et les efflorescences de phytoplancton ou cyanobactérie conduisent à la mort de poissons, voire de coquillages et d'oiseaux.

De même un **impact économique** est reporté dans la littérature pour la majorité de ces espèces. L'absence de données dans la littérature pour les autres espèces n'implique pas l'absence d'impact. Il paraît logique que la présence d'espèces dangereuses sur le littoral ait un impact sur le **tourisme** puisqu'elle rend l'eau moins attractive. Certaines activités professionnelles telles que la **pêche** et l'**aquaculture** sont elles aussi touchées par la présence de certains agents : *Aurelia aurita*, *Ostreopsis sp*, *Pelagia noctiluca*, *Rhizostoma pulmo*, *Ropilema nomadica*.

d. usages

La pratique de certaines activités expose l'utilisateur à tous les agents dangereux sélectionnés : la baignade, le PMT, le windsurf, le surf, le kitesurf et le motonautisme. En pratiquant ces sports, l'utilisateur est exposé par les trois voies (inhalation, cutanée, ingestion). Le **plongeur** est plus exposé à l'inhalation d'aérosols contaminés par des espèces de phytoplancton eucaryote ou cyanobactérie que lors des autres activités aquatiques à cause de la création d'aérosols par le détenteur.

3. DISCUSSION SUR CE QUI N'A PAS ETE INTEGRE DANS CE TRAVAIL

Certains points n'ont pu être abordés dans ce dossier faute de temps ou de données disponibles et n'ont pas pu être intégrés à la hiérarchisation. Cependant il est pertinent d'en discuter.

a. augmentation des mouillages

Le nombre de plaisanciers sur le littoral méditerranéen a explosé ces dernières années. Peu de chiffres sont disponibles, cependant diverses études concernant les usages du littoral méditerranéen sont en cours (Agence de l'Eau RMC, Stareso..). En été la concentration des bateaux sur la Côte d'Azur (Baie de Villefranche) est très importante. Dans ces zones de mouillages concentrées, parfois situées proche de zones de baignade, les plaisanciers se baignent. La majorité des bateaux de plaisance ne dispose pas de système de stockage des eaux usées et rejette directement leurs eaux vannes à la mer. A ce propos l'article 43 de la Loi sur l'eau du 30 décembre 2006 précise que « seuls les navires neufs mis sur le marché depuis le 1er janvier 2008 doivent être équipés d'un système de stockage et éventuellement de traitement des eaux usées ». Cette mesure devrait permettre d'améliorer la situation à long terme, mais ne supprime pas la flotte d'anciens bateaux démunis de ce dispositif. Actuellement, d'après les propos recueillis par Nice matin (2010) auprès d'un chercheur non désigné, l'ensemble de la flotte présente dans la baie de Villefranche en période estivale de pointe représenterait l'équivalent d'une ville flottante de 2 000 habitants qui rejette ses déchets à la mer. De plus l'importation par les voyageurs de nouveaux agents pathogènes ou d'agents pathogènes ayant une faible incidence en France n'est pas exclue (Virus de l'hépatite A, *Vibrio Cholerae*,...). Les **rejets d'eaux vannes par les plaisanciers** dans les zones où la densité des mouillages est élevée, sont une « **nouvelle** » **source de contamination microbiologique fécale**, encore trop peu prise en compte par les autorités. Il est donc pertinent de s'intéresser à la caractérisation du risque microbiologique fécal lié à cette nouvelle source de contamination. La restriction du nombre

de bateau dans les zones de mouillage, permettrait de limiter cette contamination microbiologique fécale.

b. nouvelles introductions d'espèces toxiques liées aux transports maritimes

Le nombre d'espèces invasives dans les différentes mers du globe a augmenté avec l'intensification des échanges maritimes. Le déplacement des coques de bateaux recouvertes de faune et de flore marine, le rejet d'eau de ballasts et l'importation de coquillages étrangers pour la conchyliculture française, sont propices à **l'introduction de nouvelles espèces**. L'impact des espèces invasives sur la biodiversité est déjà d'actualité, il pourrait en être de même prochainement pour l'impact sanitaire des espèces invasives et toxiques sur les pratiquants d'activités aquatiques.

c. autres méduses

De nombreuses espèces de **méduses** sont présentes en Méditerranée. Malheureusement mes échanges avec les experts ayant été un peu tardifs sur le sujet, toutes les espèces n'ont pu être traitées dans cette étude. Certaines espèces mériteraient cependant d'être intégrées dans une **prochaine réflexion**. C'est le cas par exemple de *Carybdea*, méduse très dangereuse qui affectionne particulièrement les eaux tropicales et subtropicales (Golf du Mexique, Antilles, Asie du sud est, Australie, Polynésie) et qui fait quelques incursions en eaux plus tempérées de juin à septembre comme en Méditerranée. *Physalis physalis*, originaire de l'Atlantique nord, peut faire des intrusions en Méditerranée. Cependant jusqu'à présent aucun cas n'y a été déclaré. Enfin *Cassiopea andromeda*, un peu urticante, évolue en eaux peu profondes, dans les fonds sableux. Espèce lessepsienne, sa présence est pour l'instant limitée au bassin méditerranéen oriental (Mer Egée, Côte libanaise et turques). Elle n'a pas encore été observée dans le bassin occidental (Com pers, D. Thibault). Ainsi il faudra se méfier, les prochaines années, de l'apparition d'espèces de méduses lessepsiennes dangereuses sur le littoral méditerranéen français.

4. LIMITES DE L'OUTIL

D'une part la qualité de cet outil et du résultat qu'il fournit est **principalement limitée par la disponibilité des données**. Ainsi certains indicateurs pertinents n'ont pu être retenus par absence de données disponibles. La **restriction du nombre d'indicateurs** est remarquable pour les critères « impact sur le milieu » et « impact économique » qui sont moins détaillés que les critères évaluant le risque sanitaire. Certains critères ne sont pas complétés par manque d'information. Ainsi l'acquisition de données supplémentaires permettrait d'affiner le résultat.

D'autre part cet outil est basé sur une **approche qualitative** (oui / non) afin de simplifier au maximum son usage. L'utilisation d'une échelle de valeur pour chacun des critères (par exemple de 1 à 4) aurait peut-être conduit à un résultat différent.

V. Recommandations

Les **résultats** de cette étude **ne sont pas inattendus**, notamment en ce qui concerne les nouveaux risques avérés sur le littoral méditerranéen français. En effet, par anticipation, l'Agence de l'Eau RMC s'intéressait déjà à *Ostreopsis sp* et *Pelagia noctiluca*. Elle a ainsi financé un projet visant à mieux connaître l'écologie de l'algue *Ostreopsis sp* (projet Médios, LOV) ainsi qu'un suivi environnemental en région PACA réalisé par Surfrider fondation. De même elle a soutenu un projet étudiant la variabilité de *Pelagia noticula* en baie de Calvi effectuée par le laboratoire STARESO. Ce travail a donc permis de **confirmer** ces **nouveaux risques biologiques avérés** sur le littoral méditerranéen français mais aussi de **mettre en évidence** les **risques biologiques potentiels** à surveiller.

L'approche multicritère de cette étude en prenant les aspects écologiques et économiques permet de mieux répondre aux demandes de l'Agence de l'Eau RMC. D'une manière générale, il en ressort un manque de **données épidémiologiques, écologiques et économiques** sur le sujet. Des efforts pour acquérir ce type de données sont nécessaires.

Dans un premier temps nous formulerons les recommandations destinées aux scientifiques et aux gestionnaires des eaux de baignade. Dans un second temps nous proposerons des recommandations destinées à l'Agence de l'Eau.

1. RECOMMANDATIONS GENERALES

a. enjeu principal

D'après ce travail l'enjeu principal des eaux de baignade méditerranéennes françaises sur le plan sanitaire, environnemental et économique est ***Ostreopsis sp***. Suite aux épisodes sanitaires importants en Italie et en Espagne, les travaux entrepris par les scientifiques (écologie de l'algue), l'Etat et les collectivités territoriales (gestion du risque sanitaire) et le corps médical (études épidémiologiques) ont permis d'anticiper les épisodes sanitaires liés à cette espèce et de limiter le nombre de personnes intoxiquées sur le littoral méditerranéen français. Cependant aujourd'hui quatre points restent à améliorer :

➤ les connaissances environnementales

Une meilleure connaissance de l'écologie de la microalgue permettrait de prévenir voir limiter les efflorescences.

Tout d'abord le suivi environnemental doit être amélioré sur un plan technique. En effet cette microalgue a deux phases de développement : l'une benthique sur les macroalgues et les roches, l'autre planctonique (amas d'*Ostreopsis sp* en surface). Actuellement les

prélèvements se font dans la colonne d'eau, mais est-ce le plus pertinent ? Il faut s'intéresser à cette question pour mettre en place un suivi environnemental efficace.

Ensuite la mise en place d'un réseau de suivi environnemental sur tout le littoral méditerranéen français afin de mieux connaître la répartition d'*Ostreopsis sp* sur le littoral s'avère nécessaire. Des suivis, impliquant plusieurs acteurs (chercheurs, associations, collectivités territoriales), sont déjà réalisés sur une partie du littoral seulement (PACA-CORSE). La coordination et la cohérence entre les actions des différents acteurs sont nécessaires.

➤ le suivi sanitaire environnemental

Actuellement les sites suivis ont été choisis d'après les épisodes sanitaires antérieurs. Un travail approfondi sur la localisation des zones les plus à risques sur tout le littoral méditerranéen doit être entrepris.

➤ la gestion des efflorescences

Aujourd'hui lorsque qu'une efflorescence d'*Ostreopsis sp* est détectée sur le littoral français, la baignade peut être interdite pendant quelques jours. Il serait intéressant d'étudier la faisabilité d'un retrait des amas d'*Ostreopsis sp*. En effet cette mesure permettrait de réduire la dispersion de la microalgue et le temps de contamination de l'eau de baignade. Le retrait de ces amas d'*Ostreopsis sp* limiterait en plus la bioaccumulation dans les organismes marins, diminuant ainsi le risque d'intoxication par voie alimentaire. Le ramassage pourrait être réalisé par un opérateur vêtu d'un équipement de protection. Le traitement des amas d'*Ostreopsis sp* reste à étudier. L'Afsset (2010) suggère que le rayonnement solaire altère les cyanobactéries et dégrade leur toxine, est-ce le cas pour le phytoplancton eucaryote ? Bien sûr le rapport coût/bénéfice d'une telle opération doit être évalué au préalable.

➤ l'information des acteurs

L'information des acteurs de premier niveau (pharmacie, poste de secours, club de plongée...) et de second niveau (corps médical du littoral) permet une gestion efficace des épisodes sanitaires basée sur la prévention et la prise en charge rapide des cas. Cette mesure est prévue par la note de service de la Direction générale de la santé (DGS) relative à la surveillance environnementale et sanitaire d'*Ostreopsis sp* (DGS/EA3/EA4/2010). Il est nécessaire aujourd'hui de s'assurer de la qualité de l'information reçu par ces différents acteurs.

Finalement même si la gestion du risque lié à *Ostreopsis sp* peut être améliorée, le risque d'intoxication lors de la baignade reste assez faible sur le littoral français. Par contre il

faut remarquer que la sécrétion de PTX-like par *Ostreopsis sp* et la bioaccumulation de cette toxine dans les mollusques, place l'intoxication alimentaire comme enjeu sanitaire principal lié à cette microalgue.

b. eaux de transition

Le risque sanitaire des eaux de baignade liée aux proliférations de cyanobactérie a été pris en compte par l'Union européenne (directive 2006/7/CE) et l'état français. Cependant le travail réalisé par l'Afssa-Afsset (2006) sur les cyanobactéries concerne principalement les eaux douces. Or certaines cyanobactéries d'eaux douces (*Planktothrix agardhii*) ou d'eaux côtières peuvent proliférer dans les eaux de transition, souvent soumises à une forte variabilité de la salinité par apport d'eau douce du bassin versant. L'étude s'est limitée aux eaux de transition PACA par manque d'information, mais il serait intéressant aujourd'hui d'étudier la **présence et le potentiel de prolifération des cyanobactéries en eaux de transition**, notamment sur la **partie ouest du littoral méditerranéen français** où se trouvent de nombreuses lagunes et où sont développées de nombreuses activités récréatives aquatiques et activités professionnelles aquacoles.

c. anticipation des risques sanitaires potentiels

Deux espèces engendrant des épisodes sanitaires importants à l'étranger sont présentes sur le littoral français : *Lyngbya majuscula* et *Karenia Brevis*. Peu de travaux ont été faits sur ces espèces en France. *Karenia brevis* est une espèce dénombrée dans le cadre du réseau de suivi Rephy de l'Ifremer, contrairement à *Lyngbya majuscula*, cyanobactérie plutôt benthique. Afin d'anticiper les épisodes sanitaires, il est recommandé d'**étudier l'occurrence, la répartition géographique et la toxicité de ces espèces** ainsi que leur **potentiel de prolifération** sur le littoral méditerranéen français. Compte tenu de ces résultats, il s'avèrera utile ou non de mettre en place un suivi environnemental pérenne pour *Lyngbya majuscula* et de renforcer celui de *Karenia Brevis*.

d. méduses

L'impact sanitaire des méduses n'est pas très important en ce qui concerne la gravité des symptômes mais concerne chaque année beaucoup de personnes sur le littoral méditerranéen français. Les pullulations, supposées plus fréquentes ces dernières années, de différents types de méduses peuvent engendrer des problèmes économiques importants (tourisme, aquaculture, pêche). La lutte contre les méduses n'est pas envisageable, car elles occupent une place essentielle dans l'écosystème pélagique. Il reste à éclaircir si les apparitions de méduses sont effectivement plus fréquentes et à expliquer ce phénomène. Plusieurs travaux ont été conduits sur le sujet, plusieurs hypothèses ont été émises mais les

résultats ne sont pas clairs. Différents réseaux de surveillance ont été mis en place en méditerranée :

- Jelly Watch : programme français visant à comprendre et à prévoir l'apparition massive de la méduse *Pelagia noctiluca* dans les zones côtières de la région PACA.
- JellyWatch : programme européen CIESM (Mediterranean Science Commission) visant à recenser les méduses dans toute la Méditerranée.

L'étude des données concernant les brûlures de méduses recueillies par les postes de secours ou autres structures médicales ou paramédicales pourrait apporter des éléments pour connaître l'évolution des apparitions de méduses.

e. prise en compte de la surveillance environnementale sanitaire des spots

Cette étude a montré que l'utilisateur de l'espace aquatique était exposé aux nouveaux agents dangereux lors de la pratique des différentes activités. La démocratisation des activités aquatiques ayant augmenté, le nombre de personnes exposées a augmenté. Il est donc nécessaire aujourd'hui de considérer cette évolution et d'intégrer les « spots » aux protocoles de surveillance sanitaire environnementale au même titre que les eaux de baignade. En effet aujourd'hui l'ARS et les collectivités territoriales contrôlent la qualité sanitaire des eaux de baignade seulement. Le contrôle sanitaire des « spots » est actuellement pris en charge par l'association Surfrider foundation.

f. coopération internationale

La mer Méditerranée est une mer transfrontalière. Les dangers présents sur le littoral méditerranéen français le sont ou pourraient l'être prochainement sur les littoraux étrangers et vice versa. Ainsi il est important qu'une **coopération internationale** s'installe afin de mieux comprendre l'apparition ou prolifération de ces espèces dangereuses, de les prévenir si cela est possible, et de gérer voir d'anticiper au mieux les épisodes sanitaires. La connaissance de la répartition d'une espèce le long du littoral méditerranéen permettrait de mieux comprendre son comportement. Par exemple l'Accord RAMOGE, accord intergouvernemental dont l'objectif est **de coordonner** les actions de la France, de l'Italie et de Monaco pour la préservation de l'environnement marin et du littoral a réuni les trois états pour qu'ils échangent sur leur expérience concernant la problématique *Ostreopsis sp* (problème sanitaires, suivi sanitaire environnemental et suivi environnemental, gestion de crise).

Ainsi il est nécessaire que la France coopère avec ses voisins sur ces problématiques là, et **s'intéresse aux mesures prises par les autres pays touchés** par ces agents dangereux. L'**Italie** peut être un exemple pour ***Ostreopsis sp*** puisqu'elle a connu des épisodes sanitaires de plus grande ampleur que la France. L'**Australie** a, elle, une

bonne expérience concernant les efflorescences de *L. majuscula*. Elle a d'ailleurs publié des recommandations sur la gestion des efflorescences algales côtières en 2006 (Afssa 2010).

2. RECOMMANDATIONS POUR L'AGENCE DE L'EAU RHONE MEDITERRANEE ET CORSE

Compte tenu de ses missions, protection et amélioration de la qualité du milieu, trois actions prioritaires pour l'Agence de l'Eau RMC sont mises en évidence par cette étude. Ces actions ont un double intérêt sanitaire et écologique puisqu'elles concernent des espèces potentiellement toxiques pour l'homme, dont les proliférations impactent la qualité du milieu.

Ainsi il est **recommandé** à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse de :

- Aider à la mise en place d'un réseau de suivi environnemental d'*Ostreopsis sp* sur tout le littoral méditerranéen français.
- Encourager la mise en place d'un état des lieux sur la répartition spatiotemporelle et la toxicité des souches françaises des autres microalgues (*Lyngbya majuscula*, *Karenia Brevis* ; *Planktothrix agardhii*) dans les eaux côtières et de transition méditerranéennes françaises.
- Participer à l'étude des modifications spatiotemporelles des méduses.

Conclusion

Cette étude met en exergue trois types de nouveaux risques sanitaires en ce qui concerne l'usage récréatif des eaux littorales de Méditerranée.

Le premier et principal concerne *Ostreopsis sp.* Les premiers épisodes sanitaires français datant de 2006, cette espèce bénéficie aujourd'hui de l'attention des autorités sanitaires, de quelques gestionnaires et des scientifiques. Les études et la gestion préventive doivent être poursuivies afin d'éviter des épisodes sanitaires importants comme ceux observés en Italie ou en Espagne.

Le second concerne les proliférations de microalgues autres qu'*Ostreopsis sp.* L'attention doit être portée sur les proliférations de cyanobactéries en eaux de transition, notamment *P. agardhii*, ainsi que sur les espèces, telles que *L. majuscula* et *K. brevis*, potentiellement toxiques lors de la baignade. Ces deux dernières sont responsables de problèmes sanitaires à l'étranger. La toxicité et le potentiel de prolifération des souches françaises doivent être étudiés.

Le troisième concerne les apparitions de méduses potentiellement plus fréquentes ces dernières années. Les espèces les plus communes sur le littoral méditerranéen français provoquent des symptômes plus souvent incommodes que graves. Toutefois elles engendrent souvent un impact écologique et économique important. L'apparition d'espèces léssepsiennes dangereuses sur le territoire est à surveiller.

Pour conclure, plusieurs dangers biologiques émergents sont présents sur le littoral méditerranéen français. Dans la plupart des cas les agents biologiques recensés par cette étude ont aussi un impact écologique et économique.

Avant de terminer, il est nécessaire de replacer les risques sanitaires liés aux eaux de baignade dans leur contexte. On peut se baigner sereinement dans les eaux du littoral méditerranéen français car le bain ou la pratique d'activités sportives n'ont la plupart du temps aucun impact sur la santé de l'utilisateur. Le risque lié à la baignade le plus important est la noyade, la mauvaise qualité de l'eau engendre dans la majorité des cas des pathologies en générales bénignes (Inpes 2008). Il faut bien sûr garantir au maximum la qualité de l'eau pour que le rapport bénéfice/risque soit positif pour l'utilisateur. Cependant le nombre de personnes intoxiquées lors d'une baignade est bien moindre que certaines autres problématiques sanitaires.

Bibliographie

La bibliographie indique les références citées dans le texte principal ainsi que celle citées dans les annexes.

Publications et conférences

Aligizaki K., Katikou P., Nikolaidis G., Pano. A., 2008, First episode of shellfish contamination by palytoxin-like compounds from *Ostreopsis* species (Aegean Sea, Greece), *Toxicon*, 51, 418-427.

Burke W., Tester P., 2002, Skin problems related to noninfectious coastal microorganism, *Dermatologic therapy*, 15, 10-17.

Cheng YS., Zhou Y., Pierce R., Henry M., Baden D., 2010, Characterization of Florida red tide aerosol and the temporal profile of aerosol concentration, *Toxicon*, 55, 922–929

Çevik C., Toklu B., Sarihan E., 2002, The impact of the Red Sea species (*lessepsian*) on the Mediterranean Sea. In Workshop on Lessepsian migration, Gokçeada, Turkey, 20–21 July 2002; 83–86.

Daly Yaha N., Goy.J, Daly Yaha Kefi O., 2005, Les invasions de la scyphoméduse *P. noctulica* sur les côtes nord tunisiennes de 1993 à 2005, Impact du changement climatique sur le zooplancton méditerranéen, *Villefranche sur mer*, 26-30 /10/2005.

Deeds JR., Schwartz MD., 2010, Human risk associated with palytoxin exposure, *Toxicon*, 56,150-62

Hecq J.H., Goffart A., Collignon A., Piazza S.,Defreygne P.S., Lejeune P., 2009, La variabilité de la méduse *Pelagia noctiluca* (Forskål, 1775) en Baie de Calvi (Corse) en relation avec l'environnement, 48.

Kantin R., 2007, Note de Synthèse sur la présence d'*Ostreopsis* en méditerranée et risques associée, Ifremer, 21.

Keil C., Forchert A, Fastner J., Szewzyk U., Rotard W., I.Chorus I., Kratke R., 2002, Toxicity and microcystin content of extracts from a *Planktothrix* bloom and two laboratory strains, *Water Research*, 36, 2133–2139

Kideys AE, Gucu AC, 1995, *Rhopilema nomadica*: A Lessepsian scyphomedusan new to the Mediterranean coast of Turkey. *Israel Journal of Zoology* 41(4): 615-617

Kirkpatrick B., Fleming L.E., Squicciarini D., Backer, L.C., Clark R., AbrahamW., Benson J., Cheng Y.S., Johnson D., Pierce R., Zaias J., Bossart G.D., Baden D.G., 2004. Literature review of Florida red tide: implications for human health effects. *Harmful Algae* 3, 99–115.

Kogovsek T., Bogunovic B, Malej A., 2010, Recurrence of bloom-forming scyphomedusae: wavelet analysis of a 200-year time series *Hydrobiologia*, 645, 81–96.

Leitao M., Couté A., 2005, Guide pratique des cyanobactéries planctoniques du grand ouest de la France, Editions AESN.

Lemée R., 2010, Le développement des dinoflagellés toxiques du genre *Ostreopsis* sur le littoral de la Méditerranée nord occidentale : mise en évidence des zones à risque et première évaluation des impacts écologiques, sanitaires et socio-économiques (MédiOs 2), 58

Licandro P., D., Daly Yahia M. et al, 2010, A blooming jellyfish in the northeast Atlantic and Mediterranean, Biol. Lett.

Mariottini G.L., Giacco E., Pane L., 2008, The Mauve Stinger *Pelagia noctiluca* (Forsskål, 1775). Distribution, Ecology, Toxicity and Epidemiology of Stings.. *Marine Drugs*., 6,496-513.

Mariottini G.L., Pane L., 2010, L. Mediterranean Jellyfish Venoms: A Review on Scyphomedusae. *Mar. Drugs*, 8, 1122-1152.

Mesguiche V., Valls R., Piovetti L., Peiffe G., 1999, Characterization and synthesis of (-)-7-methoxydodec-4(E)-enoic acid, a novel fatty acid isolated from *Lyngbya majuscula*, Tetrahedron Letters, 40, 7473-7476.

Moller H., 1984, Effects of Jellyfish predation on fish. Proceedings of the Workshop on Jellyfish in the Mediterranean, Athens. UNEP edition: 54-59.

Montfort P., & Passerat J., 2006, Viabilité et maintien de la virulence des bactéries pathogènes dans l'environnement marin, Marine science and public health, Genva 27-30/07/2006

Neely T., Campbell L., 2006, A modified assay to determine hemolytic toxin variability among *Karenia* clones isolated from the Gulf of Mexico. *Harmful Algae* 5 , 592–598

Nicholas J. T., Osborne N.J.T., WebbGlen P.N., Shaw R., 2001 The toxins of *Lyngbya majuscula* and their human and ecological health effects, *Environment international*, 27,381-392.

Osborne N., et Shaw G., 2008, Dermatitis associated with exposure to a marine cyanobacterium during recreational water exposure *BMC Dermatology* , 8,5.

Pagès F., 2001, Past and present anthropogenic factors promoting the invasion, colonization and dominance by jellyfish of a Spanish coastal lagoon. Gelatinous Zooplankton Outbreaks: Theory and Practice, Naples, Italy, 29 August–1st September 2001. *CIESM Workshop Ser.* 2001, 14, 69–71.

Pommepuy M., Hervio-Heath D., Gourmelon M., Caprais M.P., Le Cann P., & al, 2004, Emerging pathogens in coastal areas, Novel contaminant and pathogens in coastal waters, Neuchatel, 12-15 May 2004.

Purcell, J. E., Uye, S.-I. & Lo, T. 2007 Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 350, 153–174.

Schijven J., Maria A., Husman R., 2006, A survey of diving behavior and accidental water ingestion among dutch occupational and sport divers to assess the risk of infection with waterborne pathogenic microorganisms, *Environ Health Perspect.*, 114, 712–717.

Sgheiz J., Ganzin N., Grosse H., 2009, Caractérisation environnementale du développement et du passage en suspension de l'algue toxique *Ostreopsis* à l'aide de données spatialisées, *Ifremer*, 65.

Shears N.T., Ross P.M., 2009, Blooms of benthic dinoflagellates of the genus *Ostreopsis*; an increasing and ecologically important phenomenon on temperate reefs in New Zealand and worldwide, *Harmful algae*, 8, 916-925.

Siokou-Frangou I., Sarantakos K., Christou E.D., 2006, First record of the scyphomedusa *Rhopilema nomadica* Galil, 1990 (Cnidaria: Scyphozoa: Rhizostomeae) in Greece *Aquatic Invasions*. Volume 1, Issue 3: 194-195

Tomlinsong Michelle C., Stump Richard P., Ransibrahmanakula Varis, Trubyb Earnest W.,

Kirkpatrick G. J., Pederson B. A., Vargo Gabriel A., Heil C. A., 2004, Evaluation of the use of SeaWiFS imagery for detecting *Karenia brevis* harmful algal blooms in the eastern Gulf of Mexico, *Remote Sensing of Environment* 91 (2004) 293–303.

Vidyarathna, Nayani, Granéli E., 2010, Impact of temperature and nutrients on the growth and toxicity of *Ostreopsis Ovate*, *Geolab Open Science Meeting on HABs in Benthic Systems, Honolulu, 21-23 June 2010*, abstract.

Zavodnik D., 1987, Spatial aggregations of the swarming jellyfish *Pelagia noctiluca* (Scyphozoa). *Mar.Biol.*, 94, 265-269.

Zingone , Adriana, 2010, Overview of the distribution of *Ostreopsis* and Benthic. *Prorocentrum* species around the world seas. *Geohab Open Science Meeting on HABs in Benthic Systems, Honolulu, 21-23 June 2010*, abstract.

Autres supports

AERMC, [visité le 31/08/10], eau.rmc.fr,

AESN, 2009, Guide profils AESN chapitres D,E,F,G, Agence de l'eau seine Normandie, 38, document provisoire, [2/09/10] disponible sur internet www.eau-seine-normandie.fr

Afssa, 2010, Note d'expertise relative aux risques sanitaires liés à la présence de végétaux associés à des cyanobactéries sur la plage de N'Gouja à Mayotte, éditions Afssa, 20p.

Afssa-Afsset, 2006, Rapport sur l'évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leur toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et aux autres activités récréatives, éditions Afssa, 227p

Afsse, 2004, Analyse statistique des niveaux de risque et des seuils proposés par le projet de révision de la directive 76/160/CEE, éditions afsse, 117

CCT (Comité de coordination de Toxicovigilance), 2008, Risque sanitaires lors de prolifération de cyanobactéries.

Envoyé spécial, 2010, Reportage du 8/7/2010 sur les méduses.

Ffessm, DORIS, [visité le 17/08/10], disponible sur internet : doris.ffessm.fr

Ifremer, 1999, Dragage et environnement marin.

Insee, 2008, Le tourisme en France, Tourisme infos stat, 2008-4, disponible en ligne : statistique.tourisme.gouv.fr

Invs, Glossaire, [visité le 25/07/10], disponible sur internet, www.invs.sante.fr

Inpes, 2008, Baromètre santé environnement 2007, éditions Inpes, 393p

Invs, 2007, Note relative aux risques sanitaires liés à la présence d'Ostreopsis ovata dans les eaux de baignades ou d'activités nautiques, 13

Invs a, 2010, Surveillance d'Ostreopsis sur le littoral méditerranéen 2007-10, Réunion ramoge, 22/01/2010, CCAM.

Invs b, 2010, Evaluation de plusieurs situations météorologiques ayant généré une production d'embruns marins contaminés par Ostreopsis, Réunion relative aux risques sanitaires liés à Ostreopsis sur le littoral méditerranéen, 16/04/2010, Marseille.

Ministère de la jeunesse, des sports et de la vie associative, 2005, Etude socio-économique relative à la plongée subaquatique, [visité le 20/08/10] disponible sur internet : <http://greps.over-blog.com>

Mer et marine, 2008, Méditerranée : 51 morts en un an et des plaisanciers de plus en plus imprudents, [visité le 15/08/10], disponible sur internet : www.meretmarine.com

Nice matin, 2010, Des mouillages payant pour sauver les fonds marins, [visité le 15 août 2010], disponible sur internet : www.nicematin.com

SDAGE 2010-2015, Schéma d'aménagement et de gestion des eaux 2010-2015 du bassin Rhône Alpes.

Ville de Marseille, 2010, Modalité de gestion des alertes Ostreopsis à Marseille, Réunion relative aux risques sanitaires liés à Ostreopsis sur le littoral méditerranéen, 16/04/2010, Marseille.

Liste des annexes

ANNEXE 1 <u>LES DIFFERENTES MASSES D'EAUX DU LITTORAL MEDITERRANEEN</u>	II
ANNEXE 2 <u>BILAN SUR LES ENTRETIENS REALISES AU COURS DU STAGE</u>	III
ANNEXE 3 <u>DETAIL ET JUSTIFICATION DU SCORE PAR AGENT</u>	IV
ANNEXE 4 <u>ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES SUR L'IMPACT SANITAIRE ECOLOGIQUE ET ECONOMIQUE DES DIFFERENTS AGENTS</u>	XV

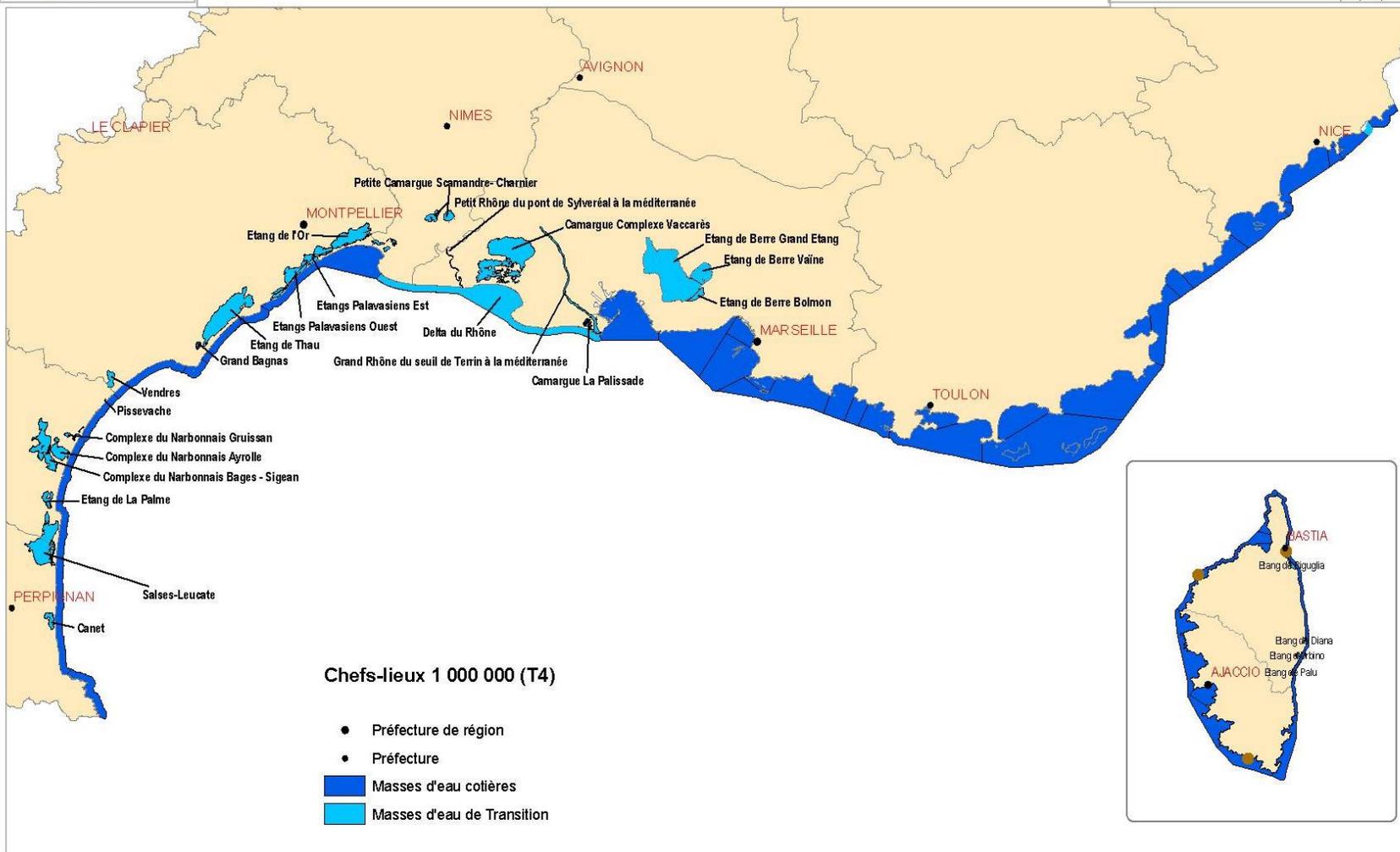


Les différentes masses d'eaux du littoral Méditerranéen

Délégation de Marseille - Août 2010

Sources :
Données Agence de l'eau - 2010
BD CARTHAGE v3 © IGN-MEDD

Echelle : 20 40 kms



Les différentes masses d'eaux du littoral méditerranéen

ANNEXE 1

ANNEXE 2

Bilan sur les entretiens réalisés au cours du stage

Au cours de mon travail, en complément de mon étude bibliographique j'ai rencontré ou contacté par mail ou téléphone différents experts pour discuter de mon sujet.

J'ai fait le point sur les connaissances actuelles concernant ***Ostreopsis sp*** (comportement, technique d'analyse, facteurs environnementaux favorables,...), sa répartition en région PACA, la situation sanitaire et les actions à mettre en œuvre avec Hubert Gossel (Ifremer), Rodolphe Lemée (LOV) et Luc de Haro (CAP Marseille).

Concernant les autres espèces de microalgues, des échanges avec Stéphanie Fayolle (UMR 6116 – CNRS), Anne Goffart (Stareso), Jean Duchemin (Agence de l'eau Seine Normandie), Patrick Lassus (Ifremer) et Solène Thomazeau (MNHN) m'ont permis de faire une sélection et surtout de restreindre ma liste initiale !

Concernant les **méduses** j'ai échangé avec Jean-Henri Hecq (Stareso) et Delphine Thibault (UMR 6535-CNRS). Ils me confirment que la question des apparitions massives plus fréquentes reste une interrogation pour la communauté scientifique. Nous avons ainsi discuté du comportement des méduses, de leur dangerosité et des projets de suivi environnemental actuellement mis en place.

J'ai rencontré Luc de Haro du CAP de Marseille pour obtenir des **données épidémiologiques**. Je n'ai malheureusement pas pu obtenir de données précises concernant les méduses, vives et oursins en cette période estivale (personnel limité). D'une manière générale il semble qu'il n'y a pas d'augmentation concernant les vives et les oursins par rapport aux autres années.

J'ai discuté de mon outil de hiérarchisation avec Nathalie Quelin (DREAL PACA), Michèle Legeas (EHESP) et Pierre Boissery (Agence de l'eau RMC).

Enfin j'ai pu récupérer des données environnementales auprès de l'Ifremer (*Ostreopsis sp*, *Karenia Brevis*), du Girpeb et de l'ARS PACA pour *Planktothrix aghardhii*.

Je remercie toutes ces personnes d'avoir répondu à mes interrogations et alimenté ma réflexion. Les résultats et les choix fait dans cette étude résultant d'un travail bibliographique, de dires d'expert et d'une réflexion personnelle : il n'engage que l'auteur.

ANNEXE 3

Détail et justification du score par agent

Dans l'ordre d'apparition :

- *Ostreopsis sp*
- *Lyngbya majuscula*
- *Pelagia noctiluca*
- *Planktothrix agardhii*
- *Karenia brevis, Gymnodinium breve*
- *Aurelia aurita*
- *Rhizostoma pulmo*
- *Rhopilema nomadica*
- *Chrysaora hysoscella*

Ostreopsis sp			
Type 2			
	Score	Justification	Source
IMPACT SANITAIRE			
Gravité			
Symptômes cutanés	1	Irritations et démangeaisons de la peau	Lemée 2010
Symptômes autres que cutanés	2	Fièvre, pharyngite, toux, troubles respiratoires, céphalées, nausées, rhume, conjonctivite, vomissement Guérison spontanée : 12 à 72h	Invs 2010 b
Risque sanitaire alimentaire	2	Philippine : ingestion de crabe contenant de la PTX Madagascar : ingestion de sardine contenant de la PTX	Deeds et al, 2009 Invs 2007
Exposition lors de la baignade ou activité apparentée			
Voie d'exposition			
Ingestion	0	Intoxication suite à une ingestion d'eau contaminée non reportée	
Inhalation	2	Inhalation d'aérosols marins contaminés	Invs 2007
Cutanée	2	Contact cutané avec la microalgue sous forme benthique principalement	Com pers H. Grossel
Population exposée			
Existence d'une population vulnérable	X	Pas de report mais probablement les asthmatiques et les sujets touchés par une maladie pulmonaires	
Usages à immersion complète sans combinaison (baignade, PMT)	2	Contact cutané et inhalation	
Usage à immersion complète avec port combinaison (plongée)	1	Inhalation : exposition facilitée car le détendeur crée des d'aérosols marins (exposition même par temps calme)	
Usages à immersion partielle (surf, windsurf, kitesurf, Motonautisme)	1	Contact cutané et inhalation même par temps calme (création d'aérosols)	
Usages à immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	1	Principalement inhalation	
Usage sans immersion (randonnée)	1	Inhalation d'aérosols marins si vent fort vers la côte	
Cas humains avérés			
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	2		
Nombre de cas humains en France > à 100 par an	0	47 patients entre 2006 et 2009	
Cas humains reportés sur le pourtour méditerranéen	2	200 cas Espagne 2004 200 cas gènes 2006 (20 hospitalisations)	

		Nombre de cas inconnus en Algérie 2009	
Géographie (sur le littoral méditerranéen (type 1 et 2) et hors littoral méditerranéen (type 3))			
Présence étendue	2	Méditerranée, Pacifique	Invs 2007, Shears et al 2010
Eau de mer	2		
Eaux de transition	0	Pas de report	
Apparition de l'espèce			
Prolifération dans les 10 dernières années sur le littoral méditerranéen français	2	2006-2007-2008-2009	INVS 2010 b, CAP, Lemée 2010
IMPACT MILIEU			
Incidence sur la biodiversité signalée dans la littérature	2	<i>Patella coerulea</i> , oursins, effet reprotoxique sur les copepodes	Médios 2010, Shears 2009
IMPACT ECONOMIQUE			
Activités professionnelles non touristiques			
Incidence sur la pêche professionnelle	2	Bioaccumulation de la toxine dans l'appareil digestif oursins et poissons : -Ostreopsis sp pourrait entraîner une diminution de la quantité d'oursins. -Poisson consommable après éviscération.	Note DGS/EA3/EA4/2010 Com pers Ifremer
Incidence sur l'aquaculture	X	Probablement plus élevée que sur la pêche car les coquillages accumulent eux aussi la toxine dans l'appareil digestif, mais on ne peut pas les éviscérer !	Com pers H. Grossel, L. De Haro
Activités touristiques			
Signalées dans la littérature	2	Impact sur l'économie balnéaire suite à la fermeture de plage qui donne une mauvaise image	Lemée 2010, Ville de Marseille 2010
GESTION DU RISQUE			
Facteurs environnementaux favorisant les apparitions		-T°C élevée ou changement brutal, -eaux peu profondes et exposées au soleil, -mer calme et absence de vent -eau stratifiée	Lemée 2010
Surveillance sanitaire environnementale visuelle ou analytique en France		Analyses ARS et collectivités territoriales	
QUALITE DES DONNEES			
Sanitaires	A		
Environnementales	B		

Economiques	B		
Nombre d'indicateurs non renseignés	2		
SCORE			
EVALUATION RISQUE SANITAIRE	25		
IMPACT MILIEU	2		
IMPACT ECONOMIQUE	4		
GESTION DU RISQUE	Difficile		
QUALITE DES DONNEES	Bonne		

Lyngbya majuscula			
Type 3			
	Score	Justification	Source
IMPACT SANITAIRE			
Gravité			
Symptômes cutanés	1	Erythème, sensation de brûlures	Ostborne et al, 2001
Symptômes autres que cutanés	2	Irritations respiratoires Conjonctivites	Burke et al, 2002 Ostborne et al, 2001
Risque sanitaire alimentaire	2	Intoxication alimentaire via des poissons, tortues, macroalgues	Afsset 2010
Exposition lors de la baignade ou activité apparentée			
Voie d'exposition			
Ingestion	0	Une intoxication par ingestion l'eau contaminée pourrait être une voie d'entrée, éliminé dans cette étude par absence d'information dans la littérature.	
Inhalation	2		Ostborne et al, 2001
Cutanée	2	Contact direct ou par des aérosols	Ostborne et al, 2001
Population exposée			
Existence d'une population vulnérable	2	Enfants de moins de 6 ans	Ostborne et al, 2001
Usages à immersion complète sans combinaison (baignade, PMT)	2	Contact direct	
Usage à immersion complète avec port combinaison (plongée)	1	Contact direct (lyse cellulaire favorisée par le port de la combinaison) Inhalation d'aérosols	Afssa 2006
Usages à immersion partielle (surf, windsurf, kitesurf, Motonautisme)	1	Contact direct+Inhalation d'aérosols	
Usages à immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	1	Principalement inhalation d'aérosols	
Usage sans immersion (randonnée)	1	Inhalation d'aérosols	
Cas humains avérés			
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	0		
Nombre de cas humains en France > à 100 par an	0		
Cas humains reportés sur le pourtour méditerranéen	0	Australie Japon Hawai	Ostborne et al, 2001
Géographie			
Présence étendue	2		
Eau de mer	2	Le Brusac, France	Mesguiche et al, 1999 Ostborne et al, 2001

Eaux de transition	2	Sa présence dans les eaux de transition est reportée dans la littérature. Aucun report dans les masses d'eaux de transition française, mais L. majuscula n'est pas recherché dans le cadre du rephy.	Ostborne et al, 2001
Apparition de l'espèce			
Prolifération dans les 10 dernières années sur le littoral méditerranéen français	0		
IMPACT MILIEU			
Incidence sur la biodiversité signalée dans la littérature	2	Impact sur les reptiles marins, poissons et macroalgues	Ostborne et al, 2001, Afsset 2010
IMPACT ECONOMIQUE			
Activités professionnelles non touristiques			
Incidence sur la pêche professionnelle	X	Absence de données mais l'impact est probable, car la toxine bioaccumule dans les organismes marins.	
Incidence sur l'aquaculture	X		
Activités touristiques			
Signalées dans la littérature	X		
GESTION DU RISQUE			
Facteurs environnementaux favorisant les apparitions		-concentration élevée en nutriment (P et Fer) -luminosité intense, température de l'air et de l'eau élevée -vent onshore -pollution	Burke et al, 2002 AESN 2009 Afsset 2010-08-09 Ostborne et al, 2008
Surveillance sanitaire environnementale visuelle ou analytique en France			
QUALITE DES DONNEES			
Sanitaires	A		
Environnementales	B		
Economiques	D		
Nombre d'indicateurs non renseignés	3		
SCORE			
IMPACT SANITAIRE	23		
IMPACT MILIEU	2		
IMPACT ECONOMIQUE	0		
GESTION DU RISQUE	Très difficile		
QUALITE DES DONNEES	moyenne		

Pelagia noctiluca			
Type 1			
	Score	Justification	Source
IMPACT SANITAIRE			
Gravité			
Symptômes cutanés	1	Brûlure Erythème	Hecq et al, 2009
Symptômes autres que cutanés	2	Lors d'envenimation massive les symptômes suivants peuvent apparaître : mal de tête, vertige, syncope, vomissement, faiblesse, fièvre, ulcération, hématurie.	Hecq et al, 2009
Risque sanitaire alimentaire	0		
Exposition lors de la baignade ou activité apparentée			
Voie d'exposition			
Ingestion	0		
Inhalation	0		
Cutanée	2		Hecq et al, 2009
Population exposée			
Existence d'une population vulnérable	2	Allergiques, peau sensible, âge, antécédents de brûlures de <i>P. noctiluca</i>	Hecq et al, 2009
Usages à immersion complète sans combinaison (baignade, PMT)	2	Contact cutané	
Usage à immersion complète avec port combinaison (plongée)	0		
Usages à Immersion partielle (surf, windsurf, kitesurf, Motonautisme)	1	Contact cutané lors de chutes. Pratique au large là où se trouvent les essaims actifs	
Immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	0		
Usage sans immersion (randonnée)	0		
Cas humains avérés			
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	2	3000 cas en 2009 autour d'Antibes d'après les pompiers	Envoyé spécial 2010
Nombre de cas France > à 100 par an	2		
Cas humains reportés sur le pourtour méditerranéen	2	Monaco (2004), Espagne (2006) (>10000 cas)	Purcell et al, 2007
Géographie (sur le littoral méditerranéen (type 1 et 2) et hors littoral méditerranéen (type 3))			
Présence étendue	2	Atlantique, Pacifique, Méditerranée	Hecq et al, 2009 Licandro et al, 2010 Mariottini et al, 2008

Eau de mer	2		
Eaux de transition	0		
Apparition de l'espèce			
Pullulation dans les 10 dernières années sur le littoral méditerranéen français	2	Baie de Calvi, littoral PACA	Hecq et al, 2010
IMPACT MILIEU			
Incidence sur la biodiversité signalée dans la littérature	2	Modification de la composition du zooplancton, diminution probable des stocks de poissons	Mariottini et al, 2008, Licandro et al, 2010, Kogosvek et al, 2010
IMPACT ECONOMIQUE			
Activités professionnelles non touristiques			
Incidence sur la pêche professionnelle	2	Colmatage des filets	Hecq et al, 2009
Incidence sur l'aquaculture	2	Surmortalité des poissons d'élevage	Hecq et al, 2009
Activités touristiques			
Signalées dans la littérature	2	Diminution du nombre de baigneurs	Hecq et al, 2009
GESTION DU RISQUE			
Facteurs environnementaux favorisant les apparitions		Température, salinité, hydrodynamisme, disponibilité des proies, diminution des prédateurs, pollution	Hecq et al, 2009, Mariottini et al, 2008 Licandro et al, 2010
Surveillance sanitaire environnementale visuelle ou analytique inexistante en France		Surveillance visuelle par les sauveteurs	
QUALITE DES DONNEES			
Sanitaires	A		
Environnementales	B		
Economiques	B		
Pourcentage d'indicateurs non renseignés	0		
SCORE			
IMPACT SANITAIRE	22		
IMPACT MILIEU	2		
IMPACT ECONOMIQUE	6		
GESTION DU RISQUE	Facile		
QUALITE DES DONNEES	Bonne		

Planktothrix agardhii			
Type 3			
	Score	Justification	Source
IMPACT SANITAIRE			
Gravité			
Symptômes cutanés	1	Irritation de la peau	CCT 2008
Symptômes autres que cutanés	2	Lésion du foie	Afssa 2006
Risque sanitaire alimentaire	2	Accumulation de microcystine dans les mollusques, crustacés et poissons	Afssa 2006
Exposition lors de la baignade ou activité apparentée			
Voie d'exposition			
Ingestion	2		Afssa 2006
Inhalation	2		Afssa 2006
Cutanée	2		CCT 2008
Population exposée			
Existence d'une population vulnérable	2	Enfants de 2 à 7 ans par ingestion d'eau	Afssa 2006
Usages à immersion complète sans combinaison (baignade, PMT)	2	Ingestion d'eau	
Usage à immersion complète avec port combinaison (plongée)	1	Le contact prolongé entre l'eau et la peau pourrait favoriser la lyse de cyanobactéries par macération	Afssa 2006
Usages à immersion partielle (surf, windsurf, kitesurf, Motonautisme)	1	Ingestion et inhalation	Afssa 2006
Usages à immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	1	Inhalation	Afssa 2006
Usage sans immersion (randonnée)	0		
Cas humains avérés			
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	X		
Nombre de cas humains en France > à 100 par an	0	7 cas en 2005 d'irritations cutanées Le recensement des cas d'intoxication à <i>P. agardhii</i> est difficile puisque les symptômes sont souvent non spécifiques et peu graves	
Cas humains reportés sur le pourtour méditerranéen	X		
Géographie			
Présence étendue	0	Présente dans plusieurs plans d'eau douce français, cependant concernant les eaux de transitions elle est reportée dans les étangs de Bolmon et de l'Olivier (joignant l'Etang de	Com. Pers S. Fayolle

Lucie BIZZOZERO - Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique - 2010

		Berre). Pas de données pour les autres eaux de transition	
Eau de mer	0		
Eaux de transition	2		
Apparition de l'espèce			
Prolifération dans les 10 dernières années sur le littoral méditerranéen français	2	2000, 2009	Arrêté préfectoral 2000 Données ARS PACA 2009
IMPACT MILIEU			
Incidence sur la biodiversité signalée dans la littérature	2	Impact sur l'écosystème, perturbation du réseau trophique, mortalité de poissons et d'oiseaux	Afssa 2006
IMPACT ECONOMIQUE			
Activités professionnelles non touristiques			
Incidence sur la pêche professionnelle	X		
Incidence sur l'aquaculture	x		
Activités touristiques			
Signalées dans la littérature	x		
GESTION DU RISQUE			
Facteurs environnementaux favorisant les apparitions		-salinité -destratification -toxicité d'une souche variable (à cause de pressions environnementales ?)	Com. pers S Fayolle Afssa 2006
Surveillance sanitaire environnementale visuelle ou analytique en France		Analyses sanitaires en cas de bloom par l'ARS, <i>Remarque</i> : le Gireb et les laboratoires de recherche font un suivi environnemental Gireb pour les étangs de Bolmon, Berre et l'Olivier	ARS Paca, S. Fayolle
QUALITE DES DONNEES			
Sanitaires	B		
Environnementales	C		
Economiques	D		
Nombre d'indicateurs non renseignés	5		
SCORE			
IMPACT SANITAIRE	22		
IMPACT MILIEU	2		
IMPACT ECONOMIQUE	0		
GESTION DU RISQUE	Difficile		
QUALITE DES DONNEES	moyenn e		

Karenia brevis, Gymnodinium breve			
Type 3			
	Score	Justification	Source
IMPACT SANITAIRE			
Gravité			
Symptômes cutanés	0		
Symptômes autres que cutanés	2	Irritations et inflammation des voies respiratoires supérieures et inférieures, irritations des yeux	Backer 2003, Chang 2003
Risque sanitaire alimentaire	2	Bioaccumulation dans la chaîne alimentaire Empoisonnement neurologique humain par les fruits de mer (NSP)	Neely et al, 2005
Exposition lors de la baignade ou activité apparentée			
Voie d'exposition			
Ingestion	x		
Inhalation	2		Backer et al, 2003, Neely et al, 2005
Cutanée	0		
Population exposée			
Existence d'une population vulnérable	2	Asthmatiques et sujets touchés par une maladie pulmonaire chronique	Backer et al, 2003
Usages à immersion complète sans combinaison (baignade, PMT)	2	Inhalation d'aérosols	
Usage à immersion complète avec port combinaison (plongée)	1	Inhalation d'aérosols marins formés par le détendeur (usage le plus à risque concernant l'inhalation)	
Usages à immersion partielle (surf, windsurf, kitesurf, Motonautisme)	1	Inhalation d'aérosols	
Usages à immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	1	Inhalation d'aérosols	
Usage sans immersion (randonnée)	1	Inhalation d'aérosols	
Cas humains avérés			
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	0		
Nombre de cas humains en France > à 100 par an	0		
Cas humains reportés sur le pourtour méditerranéen	0	Des cas en Floride et dans le Golf du Mexique	Cheng et al, 2010 Tomlinson et al, 2003
Géographie			
Présence étendue	2	Pacifique, Atlantique, Méditerranée	Cheng et al, 2010 Tomlinson et al, 2003
Eau de mer	2		

Eaux de transition	0		
Apparition de l'espèce			
Prolifération dans les 10 dernières années sur le littoral méditerranéen français	0	Presque toutes les années en Floride	Cheng et al, 2010
IMPACT MILIEU			
Incidence sur la biodiversité signalée dans la littérature	2	Mortalité massive des poissons, de mammifères, d'oiseaux	Neely et al, 2005
IMPACT ECONOMIQUE			
Activités professionnelles non touristiques			
Incidence sur la pêche professionnelle	X		
Incidence sur l'aquaculture	X	Probable car bioaccumulation dans les coquillages possibles	
Activités touristiques			
Signalées dans la littérature	X		
GESTION DU RISQUE			
Facteurs environnementaux favorisant les apparitions		-Concentration dans l'eau en nutriments - changements de salinité - vitesse du vent et du courant - arrivée de poussières du Sahara - traces de métaux et littoralisation	Neely et al, 2005
Surveillance environnementale sanitaire visuelle ou analytique en France		Aucun suivi sanitaire environnemental n'est mise en place. Mais il existe un suivi environnemental effectué par Ifremer (rephy)	
QUALITE DES DONNEES			
Sanitaires	B		
Environnementales	C		
Economiques	D		
Pourcentage d'indicateurs non renseignés	4		
SCORE			
IMPACT SANITAIRE	18		
IMPACT MILIEU	2		
IMPACT ECONOMIQUE	0		
GESTION DU RISQUE	Très difficile		
QUALITE DES DONNEES	Moyenne		

Aurelia aurita			
Type 3			
	Score	Justification	Source
IMPACT SANITAIRE			
Gravité			
Symptômes cutanés	1	Légère brûlure peu irritante Douleur variable selon les individus et les régions	Mariottini et al, 2010
Symptômes autres que cutanés	0	Pas de report dans la littérature	
Risque sanitaire alimentaire	0		
Exposition lors de la baignade ou activité apparentée			
Voie d'exposition			
Ingestion	0		
Inhalation	0		
Cutanée	2		Mariottini et al, 2010
Population exposée			
Existence d'une population vulnérable	0		
Usages immersion complète sans combinaison (baignade, PMT)	2	Contact cutané	
Usage à immersion complète avec port combinaison (plongée)	0		
Usages à immersion partielle (surf, windsurf, kitesurf, motonautisme)	1	Contact cutané lors de chutes	
Usages à immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	0		
Usage sans immersion (randonnée)	0		
Cas humains avérés			
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	X		
Nombre de cas humains en France > à 100 par an	X		
Cas humains reportés sur le pourtour méditerranéen	X		
Géographie			
Présence étendue	2	Toute la Mer Méditerranée, Mer Noire Océan Pacifique, Océan Atlantique	Mariottini et al, 2010
Eau de mer	2		
Eaux de transition	2	Etang de Berre	Com.pers D. Thibault
Apparition de l'espèce			

Pullulation dans les 10 dernières années sur le littoral méditerranéen français	2	Etang de Berre	Com. pers D. Thibault
IMPACT MILIEU			
Incidence sur la biodiversité signalée dans la littérature	2	Impact sur le stock de poisson	Hecq et al, 2009
IMPACT ECONOMIQUE			
Activités professionnelles non touristiques			
Incidence sur la pêche professionnelle	2		Purcell et al, 2007
Incidence sur l'aquaculture	2		Purcell et al, 2007
Activités touristiques			
Signalées dans la littérature	2	Diminution du tourisme due sa présence sur les côtes espagnoles	Pagès et al, 2001
GESTION DU RISQUE			
Facteurs environnementaux favorisant les apparitions		Vent, pollution, eaux eutrophes et faible salinité	Daly Yahia et al, 2003
Surveillance environnementale sanitaire visuelle ou analytique en France		Surveillance visuelle par les sauveteurs	
QUALITE DES DONNEES			
Sanitaire	C		
Environnementale	B		
Economique	C		
Nombre d'indicateurs non renseignés	4		
SCORE			
IMPACT SANITAIRE	14		
IMPACT MILIEU	2		
IMPACT ECONOMIQUE	6		
GESTION DU RISQUE	Facile		
QUALITE DES DONNEES	Moyenn e		

<i>Rhizostoma pulmo</i>			
Type 3			
	Score	Justification	Source
IMPACT SANITAIRE			
Ciravité			
Symptômes cutanés	2	Brûlures légères	Mariottini et al, 2010
Symptômes autres que cutanés	0		
Risque sanitaire alimentaire	0		
Exposition lors de la baignade ou activité apparentée			
Voie d'exposition			
Ingestion	0		
Inhalation	0		
Cutanée	2		Mariottini et al, 2010
Population exposée			
Existence d'une population vulnérable	X		
Usages à immersion complète sans combinaison (baignade, PMT)	2	Contact cutané	
Usage à immersion complète avec port combinaison (plongée)	0		
Usages à immersion partielle (surf, windsurf, kitesurf, motonautisme)	1	Contact cutané lors de chutes	
Usages à immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	0		
Usage sans immersion (randonnée)	0		
Cas humains avérés			
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	X		
Nombre de cas humains en France > à 100 par an	X		
Cas humains reportés sur le pourtour méditerranéen	2	Mer Adriatique	Mariottini et al, 2010
Géographie			
Présence étendue	2	Méditerranée ouest, Mer Adriatique, Mer Ionienne, Mer Ligurienne, Mer Noire	Mariottini et al, 2010
Eau de mer	2		
Eaux de transition	0		
Apparition de l'espèce			
Pullulation dans les 10 dernières années sur le littoral méditerranéen français	X		

IMPACT MILIEU			
Incidence sur la biodiversité signalée dans la littérature	X		
IMPACT ECONOMIQUE			
Activités professionnelles non touristiques			
Incidence sur la pêche professionnelle	2	Alourdit et casse les filets	Kogosvek et al, 2010, Mariottini et al, 2010
Incidence sur l'aquaculture	0		
Activités touristiques			
Signalées dans la littérature	2	Eau moins attractive, diminution en Espagne	Pagès et al, 2001
GESTION DU RISQUE			
Facteurs environnementaux favorisant les apparitions		-baies confinées - apport de nutriment et eutrophisation -apport d'eau douce	Kogosvek et al, 2010 Martinez et al, 2003
Surveillance environnementale sanitaire visuelle ou analytique en France		Surveillance visuelle par les sauveteurs	
QUALITE DES DONNEES			
Sanitaires	C		
Environnementales	B		
Economiques	B		
Nombre d'indicateurs non renseignés	5		
SCORE			
EVALUATION RISQUE SANITAIRE	13		
IMPACT MILIEU	0		
IMPACT ECONOMIQUE	4		
GESTION DU RISQUE	facile		
QUALITE DES DONNEES	moyenn e		

Rhopilema nomadica			
Type 3			
	Score	Justification	Source
IMPACT SANITAIRE			
Gravité			
Symptômes cutanés	1	Brûlures douloureuses Parois retard dans la réaction	Sioukou et al, 2006
Symptômes autres que cutanés	0		
Risque sanitaire alimentaire	0		
Exposition lors de la baignade ou activité apparentée			
Voie d'exposition			
Ingestion	0		
Inhalation	0		
Cutanée	2		
Population exposée			
Existence d'une population vulnérable	X		
Usages à immersion complète sans combinaison (baignade, PMT)	2	Contact cutané direct	
Usage à immersion complète avec port combinaison (plongée)	0		
Usages à immersion partielle (surf, windsurf, kitesurf, Motonautisme)	1		
Usages à immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	0		
Usage sans immersion (randonnée)	0		
Cas humains avérés			
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	0		
Nombre de cas humains en France > à 100 par an	0		
Cas humains reportés sur le pourtour méditerranéen	X		
Géographie			
Présence étendue	2	Mer Rouge,	

		Bassin Méditerranéen Est	
Eau de mer	2		
Eaux de transition	0		
Apparition de l'espèce			
Prolifération/pullulation dans les 10 dernières années sur le littoral méditerranéen français	0		
IMPACT MILIEU			
Incidence sur la biodiversité signalée dans la littérature	2	Déséquilibre écologique : remplacement de <i>R. pulmo</i>	Mariottini et al, 2010
IMPACT ECONOMIQUE			
Activités professionnelles non touristiques			
Incidence sur la pêche professionnelle	2		Mariottini et al, 2010
Incidence sur l'aquaculture	0		
Activités touristiques			
Signalées dans la littérature	2	En Israël	Mariottini et al, 2010
GESTION DU RISQUE			
Facteurs environnementaux favorisant les apparitions			Sioukou et al, 2006
Surveillance environnementale sanitaire visuelle ou analytique en France		Surveillance visuelle par les sauveteurs	
QUALITE DES DONNEES			
Sanitaires	C		
Environnementales	C		
Economiques	B		
Nombre d'indicateurs non renseignés	2		
SCORE			
IMPACT SANITAIRE	10		
IMPACT MILIEU	2		
IMPACT ECONOMIQUE	4		
GESTION DU RISQUE	Facile		
QUALITE DES DONNEES	Faible		

Chrysaora hysocella			
Type 3			
	Score	Justification	Source
IMPACT SANITAIRE			
Gravité			
Symptômes cutanés	1	Brûlures importantes	Mariottini et al, 2010
Symptômes autres que cutanés	0		
Risque sanitaire alimentaire	0		
Exposition lors de la baignade ou activité apparentée			
Voie d'exposition			
Ingestion	0		
Inhalation	0		
Cutanée	2		Mariottini et al, 2010
Population exposée			
Existence d'une population sensible	X		
Usages à immersion complète sans combinaison (baignade, PMT)	2	Contact cutané	
Usage à immersion complète avec port combinaison (plongée)	0		
Usages à immersion partielle (surf, windsurf, kitesurf, Motonautisme)	1	Contact cutané lors de chutes	
Usages à immersion rare (kayak, aviron, voile légère)	0		
Usage sans immersion (randonnée)	0		
Cas humains avérés			
Cas humains sur le littoral méditerranéen français existants	X		
Nombre de cas humains en France > à 100 par an	X		
Cas humains reportés sur le pourtour méditerranéen	2	90 cas de brûlure dans le golf de Trieste en mi-août 97	Mariottini et al, 2010
Géographie (sur le littoral méditerranéen (type 1 et 2) et hors littoral méditerranéen (type 3))			
Présence étendue	2	Mer Adriatique Mer Ionienne	Mariottini et al, 2010
Eau de mer	2		
Eaux de transition	0		
Apparition de l'espèce			
Pullulation dans les 10 dernières années sur le littoral méditerranéen français	0	Présence plutôt sporadique Observée régulièrement en mer Adriatique pendant les années	Kogosvek et al, 2010, Mariottini et al, 2010

		2000 mais en faible nombre	
IMPACT MILIEU			
Incidence sur la biodiversité signalée dans la littérature	X		
IMPACT ECONOMIQUE			
Activités professionnelles non touristiques			
Incidence sur la pêche professionnelle	X		
Incidence sur l'aquaculture	X		
Activités touristiques			
Signalées dans la littérature	X		
GESTION DU RISQUE			
Facteurs environnementaux favorisant les apparitions inconnus		Pas d'information	
Surveillance environnementale sanitaire visuelle ou analytique inexistante en France		Surveillance visuelle par les sauveteurs	
QUALITE DES DONNEES/SCORE			
Sanitaire	D		
Environnementale	D		
Economique	D		
Nombre d'indicateurs non renseignés	8		
SCORE			
EVALUATION RISQUE SANITAIRE	12		
IMPACT MILIEU	0		
IMPACT ECONOMIQUE	0		
GESTION DU RISQUE	Facile		
QUALITE DES DONNEES	Faible		

ANNEXE 4

Eléments bibliographiques sur l'impact sanitaire écologique et économique des différents agents

Par ordre d'apparition :

- *Agents microbiologiques d'origine fécale*
- *Ostreopsis sp*
- *L. majuscula*
- *Pelagia noctiluca*
- *Planktothrix agardhii*
- *Karenia brevis*
- *Les méduses : Aurelia aurita, Rhizostoma pulmo, Rhopilema nomadica, Chrysaora hysoscella*
- *Les poissons*

Agents microbiologiques d'origine fécale

La présence de microorganismes dans l'eau de baignade tels que les bactéries ou les virus sont susceptibles, après ingestion ou contact direct avec la peau et les muqueuses, de provoquer des maladies comme la gastro-entérite, ou des affections respiratoires et cutanées. La gastroentérite, qui se caractérise par des vomissements et des diarrhées accompagnées potentiellement de fièvre, est prédominante (Afsse 2004).

La survie des pathogènes dans les eaux saumâtres ou salées dépend de leur adaptation à ce milieu. Quelques durées de vie ont été estimées par les scientifiques.

Les données de la table 1 ont été estimées ou rassemblées par Pommeppy 2004, Afsse 2004 et Ifremer 99.

	T90 en heures	Source
Escherichia coli	5-35 à 18-22°C	Pommeppy 2004
	18	Afssa 2004
Entérocoques intestinaux	47	Afssa 2004
Virus de l'hépatite A	72-672 à 18-22°C	Pommeppy 2004
Astrovirus	384-632 à 18-22°C	Pommeppy 2004
Poliovirus-1	10-72 à 18-22°C	Pommeppy 2004
	Temps nécessaire à la diminution du titre infectieux de 4 logarithmes décimaux en jours	
Rotavirus	22 jours à 25°C	Ifremer 99

Table 1 : Survie des virus dans le milieu marin

Le temps de survie est inversement proportionnel à la température puisque les valeurs des paramètres (T90-Temps de diminution du pouvoir infectieux) relatifs la durée de vie ou au pouvoir infectieux sont plus importants à 5°C (Pommeppy et al 2004, Ifremer 99). Les virus accumulés dans le sédiment conservent leur potentiel infectieux pendant plusieurs semaines voire mois alors qu'il n'est que de quelques jours dans l'eau de mer à 25°C. A leur arrivée en mer une partie des microorganismes contenus dans les eaux usées est diluée dans la colonne d'eau tandis qu'une autre partie fixée aux particules va sédimenter. Adsorbé sur les particules les microorganismes peuvent parfois être transportés sur de longues distances. D'une manière générale la charge microbienne de l'eau est plus faible que celle du sédiment sous-jacent (Ifremer 99). Des actions mécaniques (courant, tempête, vives-eaux) entraînent la remise en suspension des microorganismes qui vont de ce fait contaminer la masse d'eau.

Indicateurs

Lucie BIZZOZERO - Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique - 2010

Dans le cadre de la nouvelle directive eaux de baignade les indicateurs microbiologiques de contamination fécale qui ont été choisis sont des indicateurs bactériens : *Escherichia coli* (EC) et *Entérocoques intestinaux* (EI).

La différence de durée de vie dans le milieu marin entre bactéries et virus remet en cause l'efficacité de ces indicateurs. En effet les agents pathogènes responsables de la gastroentérite suite à une baignade seraient principalement des virus peu affectés par la salinité de l'eau. A l'inverse, en eau de mer, la durée de vie des EI et surtout des EC serait plus faible que celle des agents pathogènes. Les concentrations en EI et en EC ne rendraient alors plus compte correctement du potentiel pathogène de l'eau de baignade. L'indicateur EC apparaît peu pertinent pour le risque de gastroentérite en eau de mer et dans tous les cas moins pertinent que EI (Afsse 2004). **Les études concernant la recherche d'indicateurs de contamination fécale performante pour les virus et les bactéries doivent être poursuivies.**

Cellules viables mais non cultivables

Afin d'évaluer l'état de contamination microbiologique d'une eau de baignade, les techniques de détection nécessitent la mise en culture des bactéries. Ces méthodes sont basées sur le principe suivant : une bactérie pathogène est vivante, une bactérie vivante est cultivable. La mise en évidence du maintien de la viabilité cellulaire de certaines cellules dite viables mais non cultivables (VNC) a remis en cause le concept de la mort des bactéries non cultivables. De telles cellules VNC de bactéries sanitaires pourraient alors poser un problème de santé publique dans les milieux marins côtiers. En effet elles peuvent être présentes dans un échantillon alors que les méthodes traditionnelles ne permettent pas de les détecter. Certains travaux sur le maintien du pouvoir pathogène chez les bactéries pathogènes VNC montrent qu'il est possible que celui-ci persiste alors que le pouvoir de les cultiver est perdu. Le maintien ou non de cette virulence paraît être sous la dépendance de la nature des facteurs stressants (rayonnement solaire, UV, salinité, température, ...) et de la dose reçue.

Les résultats contradictoires sur cette question de la virulence des bactéries pathogènes VNC sont à moduler en fonction des espèces concernées. Pour des bactéries comme les *Vibrio*, l'état VNC pourrait être une réponse adaptative à la période hivernale défavorable à sa multiplication.

La présence de telles cellules pathogènes devrait être prises en considération et conduire à des sujets de réflexion en santé publique. (Montfort et al, 2006)

Ostreopsis sp

Première observation en Méditerranée :

Ostreopsis sp est connue de longue date en mer Tyrrhénienne (Kantin, 2007) et a été observée pour la première fois sur le littoral méditerranéen français à Villefranche sur Mer en 1972. L. Tognetto n'écarte pas l'hypothèse que cette microalgue soit une espèce indigène à la mer Méditerranée (INVS 2007).

Description

Ostreopsis sp est une algue microscopique unicellulaire (groupe des dinoflagellés), qui vit habituellement dans les eaux chaudes tropicales. C'est une microalgue benthique et épiphyte (qui croît à la surface d'autres plantes) (INVS 2007). *Ostreopsis Ovata* peut se développer entre 18 et 30°C. A 14°C elle ne croît pas et à 34°C elle meurt (Zingone et al, 2010). Les efflorescences de cette espèce peuvent durer plusieurs jours.

Localisation

On la rencontre habituellement dans les eaux chaudes tropicales, mais on l'observe depuis peu dans de nombreuses régions tempérées. On la trouve ainsi en Mer Méditerranée, Océan Pacifique, Océan Atlantique, Océan Indien.

Apparition

L'apparition des efflorescences en Méditerranée (Fig 1) et en France (Fig 2) est synthétisée ci-dessus.

1998-2001 Mer tyrrhénienne (côte toscane et ligurienne)	2003 Italie (Bari)	2004 Italie (Bari)- Espagne (Barcelone)	2005 Italie (Gêne)	2006 Italie (Gêne) France (Frioul)	2007 France (PACA)	2008 France (PACA)	2009 France (PACA)- Algérie
---	---------------------------------	---	---------------------------------	---	---------------------------------	---------------------------------	---

Fig 1 : Efflorescences en Méditerranée avec impact sanitaire ou dépassement du seuil d'alerte de 30 000cellules/L (en France) (Invs 2010 b, Kantin 2007)

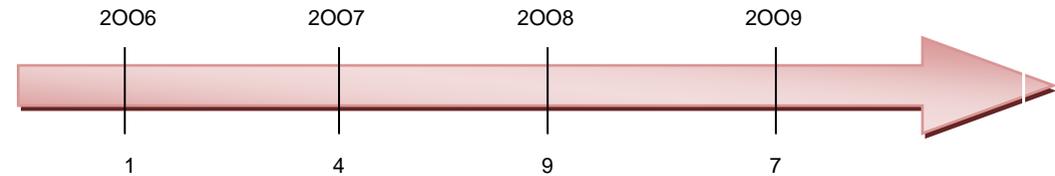


Fig 2 : Fréquence des blooms en France ayant occasionné des intoxications humaines ou des dépassements de seuils (Invs 2010 a)

Saisonnalité

Les efflorescences se produisent en été : de juin à octobre en mer Tyrrhénienne (Invs 2007), entre fin juillet et mi septembre en France. (Invs 2010 b)

Impact sanitaire

Toxicité

Les deux souches d'*Ostreopsis sp* (*ovata* et *siamensis*) produisent des toxines proches de la palytoxine (PTX) : ce sont des palytoxines-like (PTX-like). La PTX est parmi les toxines naturelles les plus toxiques avec la ciguatoxine. La PTX et ses analogues sont des neurotoxines agissant sur la pompe Na/K ATPase, assurant le maintien du potentiel de repos des cellules nerveuses, musculaires et cardiaques. La toxine génère le dérèglement de cette pompe (ouverture continue) qui conduit à un déséquilibre ionique entraînant la lyse cellulaire (AFSSA 2005). De plus la PTX a un très fort pouvoir vasoconstricteur (Invs 2007).

Les ostréocines (ensemble des PTX-like produite par les *Ostreopsis*), sont bioaccumulées au cours de leur transfert dans la chaîne trophique (Invs 2007).

Voies d'exposition

Inhalation d'aérosols contaminés,

Contact cutané avec l'algue

Ingestion d'eau contaminée probable mais non démontré

Symptômes

Par inhalation

Les symptômes correspondant à la définition de cas retenus par l'INVS et le CAP sont les suivants : fièvre $\geq 38^{\circ}\text{C}$, pharyngite (mal à la gorge), toux, troubles respiratoires (difficultés à respirer), céphalées, nausées (envie de vomir), rhume (nez bouché et/ou qui coule), conjonctivite (yeux qui piquent et qui coulent), vomissements (INVS 2010 b)

Par contact cutané

Rougeurs de la peau, irritations et démangeaisons

Par ingestion

Eau contaminée

L'intoxication par ingestion d'eau contaminée lors d'activités récréatives n'a pas été reportée en Europe et peu d'information est disponible à ce sujet. Toutefois, la sensation d'un goût métallique de l'eau a été signalée lors de différentes efflorescences (INVS 2007).

Voie alimentaire

Les palytoxines sont capables de bioaccumuler au cours de la chaîne trophique. Certains mollusques (patelle (Lemée, 2010), moules, praires (Aligizaki et al. 2008) ...), poissons, et oursins (com. pers H. Grossel) accumulent la toxine dans l'appareil digestif. La consommation de gonades d'oursins et de poissons éviscérés seuls ne devrait pas entraîner d'intoxication car la toxine ne s'accumule ni dans la chair de poisson, ni dans les gonades d'oursins. L'éviscération des bivalves (moules, praires...) étant plus délicate voire impossible, l'organisme en entier est ingurgité par le consommateur. Dans ce cas le risque de contamination lors d'efflorescences d'*Ostreopsis sp* est réel. D'après l'AFSSA 2008, les crabes et les gastéropodes ne semblent pas être affectés.

Il est important de noter que la toxine est thermostable, par conséquent la cuisson des aliments ne diminue pas le risque d'intoxication.

A ce jour aucune intoxication alimentaire n'a été déclarée en Europe suite à la présence d'*Ostreopsis sp*. Cependant quelques cas d'intoxications mortelles par voie alimentaire impliquant la palytoxine sont reportés dans la littérature : quelques cas aux Philippines (crabe) et un cas à Madagascar (sardines) (Deeds et al, 2009).

Le seuil sanitaire correspondant à la limite pour laquelle le coquillage est supposé comestible a été déterminé par l'EFSA. Il correspond à 30 μg de toxine par kg de chair de coquillages, alors qu'il était de 200-250 $\mu\text{g}/\text{kg}$ auparavant.

Données épidémiologiques

France

Entre 2006 et 2009, 47 patients ont été recensés par le CAP de Marseille concernant 16 enfants et 31 adultes lors de 5 épisodes d'efflorescences confondus (Frioul 2006-2009, Monaco 2008, Nice 2006, Villefranche sur Mer 2009). Les symptômes étaient : irritation ORL, irritation de la peau, mal de tête, vertige. Ces épisodes ont concernés : 7 plongeurs, 38 baigneurs et 2 riverains.

Reste du bassin Méditerranéen

1998-2001 : irritations de la peau, problèmes respiratoires et fièvres chez des baigneurs (côtes toscanes et liguriennes) (Kantin 2007)

2004 : 200 personnes touchées (Espagne) (Invs 2010 b)

2006 : 200 personnes touchées (Italie) et parmi elles 20 personnes ont été hospitalisées.

2009 : nombre de cas inconnus (Algérie)

Traitement

Les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) peuvent diminuer la durée des symptômes. La durée des symptômes est de 12 à 72h sans prise d'AINS et de 4 à 12 h avec prise d'AINS.

Conditions environnementales favorables

Les facteurs principaux influençant survenue des blooms sont : une température élevée, des eaux peu profondes et exposées au soleil, une mer calme, l'absence de vent (Invs 2007, Shears et al, 2009), et une eau stratifiée (Shears et al, 2009).

Conditions météorologiques

D'après le travail de Sghezzi et al (2009), on peut découper le bassin méditerranéen Ouest en 2 zones en fonction de la température de l'eau et du vent : la zone ouest Provence et la zone est Ligurie. La zone ouest Provence est une zone ventée avec d'importantes baisses de température (max 26°C en 2007-2008). La zone est-Ligurie est une zone calme beaucoup moins ventée, nettement plus chaude avec des températures maximales de $27-28^{\circ}\text{C}$ (2007-2008) sur une période plus longue que pour la zone précédente.

D'après ces observations, J. Sghezzi suggère des scénarios environnementaux propices à *Ostreopsis sp* bien différents entre les deux zones :

-zone Ouest-Provence où les proliférations d'*Ostreopsis sp* correspondent à une baisse (coup de vent) et une remontée (temps calme) rapide de température. Le vent décrocherait les cellules et la remontée de température entraînerait la prolifération.

-zone Est Ligurie où l'augmentation régulière et importante de la température, le temps calme avec peu de vent entraînerait une prolifération massive du stock benthique. Ce dernier se décrocherait une fois la saturation du stock benthique atteinte.

Concentration en nutriment, eutrophisation et température

D'après les connaissances actuelles la concentration en nutriments et le processus d'eutrophisation influent peu la prolifération d'*Ostreopsis sp*. En effet d'après Shears et al (2009), le processus d'eutrophisation n'apparaît pas comme un facteur majeur dans l'apparition des blooms d'*Ostreopsis siamensis* en Nouvelle Zélande. Ces blooms sont localisés dans une zone non approvisionnée nutriments. De plus d'après Zingone et al (2010), les données actuelles ne permettent pas de relier forte densité d'*Ostreopsis sp* et concentration élevée en nutriments.

D'après les travaux expérimentaux de Vidyaratna et al (2010), une température basse (20°C) et un déficit en azote augmente la toxicité de *O. ovata*, la température jouant un rôle plus important que les nutriments. Un changement de température et du rapport N/P pourrait avoir un rôle important dans la formation des blooms.

Impact milieu

D'après Lemée (2010) de forte concentration d'*Ostreopsis sp* ont un impact sur *Patella coerulea* (mollusque, gasteropode). De plus ce travail suggère un effet reprotoxique des palytoxines sur les copépodes benthiques. Enfin les travaux de Shears et al (2010) montrent que les efflorescences d'*Ostreopsis siamensis* peuvent avoir un effet négatif sur les oursins. De même une forte mortalité d'oursins avaient été observées suite au bloom d'*Ostreopsis sp* à Gêne en 2005 et à Pomègues (Frioul, Marseille) en 2009.

Impact économique :

Impact sur le tourisme :

D'après l'enquête SIRUS-CCINCA (Lemée, 2010) durant l'été 2009 menée auprès de 380 personnes et concernant 6 plages propices au développement d'*Ostreopsis sp*, une minorité d'usagers de la plage connaissait *Ostreopsis sp* et il

Lucie BIZZOZERO - Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique - 2010

s'agissait essentiellement d'usagers locaux. La connaissance du problème *Ostreopsis* n'est pas toujours très claire et est associée à un faible niveau d'inquiétude.

Actuellement, malgré la mise en difficulté possible de quelques entreprises, *Ostreopsis sp* n'a pas d'impact significatif sur l'économie régionale. D'après le scénario optimiste -plusieurs blooms dans la région, aucun établissement fermé, quelques personnes légèrement intoxiquées, algue mal connue du public- la perte économique serait de 38Keuros sans impact régional. D'après le scénario le plus pessimiste -blooms d'*Ostreopsis sp* graves et récurrents, médiatisation alarmiste fortes pertes pour la région se chiffrent à 55 millions d'euros(Lemée, 2010).

Enfin un événement à fort retentissement médiatique en pleine saison estivale pourrait avoir une incidence négative sur l'image du territoire. Une répétition et amplification de bloom d'*Ostreopsis sp* médiatisée pourraient entraîner une baisse de la fréquentation touristique. Afin d'anticiper cette baisse, Lemée (2010) insiste sur l'importance de la prévention et l'information du public, d'un plan médias et d'une promotion de l'offre alternative à la baignade.

Par ailleurs les situations d'alerte et pré-alerte à *Ostreopsis sp* en France entre 2006 et 2009 ont conduites à 5 interdictions de baignade. La Ville de Marseille (2010) rappelle que la fermeture d'une plage peut avoir un fort impact social, économique et touristique.

Impact sur les activités professionnelles

Puisque les palytoxines sont bioaccumulées dans les poissons, mollusques et oursins, les blooms d'*Ostreopsis sp* pourraient avoir un impact négatif sur les différentes activités professionnelles liées à ces espèces. La surmortalité des oursins pourraient avoir un impact sur le ramassage professionnel d'oursins. De même, l'éviscération des mollusques étant difficile, le secteur conchylicole pourrait être touché.

Indicateurs

Le vent pourrait être un indicateur partiel pour prévenir le risque de contamination par inhalation. D'après l'INVS (Invs 2010 a) des rafales de force 5 ou plus semblent associées à quelques heures près au début des épisodes d'irritations des voies respiratoires (Barcelonne 2004, Gêne 2005). Il doit bien sûr être dirigé de la mer vers le littoral.

Les données de surveillances environnementales (analyse ARS, collectivités territoriales) associée à la force et direction du vent seraient de bons indicateurs du risque de contamination par inhalation.

Surveillance sanitaire et environnementale d'*Ostreopsis sp* en France

Suite à l'interdiction de baignade et la consommation de coquillage dans la calanque du Morgiret (Frioul, Marseille) liée au bloom d'*Ostreopsis sp* en 2006 la Direction générale de la Santé (DGS) à mis en œuvre un dispositif de surveillance épidémiologique, environnemental et de gestion préventive du risque lors des saisons balnéaires en 2007 et 2008. En 2009, ce protocole de surveillance a été allégé et les seuils de gestion redéfinis selon l'expérience des saisons balnéaire 2007-2008. Les efflorescences étant restées limitées dans le temps et dans l'espace et l'absence de situation conduisant à l'exposition à des embruns en 2009, ont conduit à alléger le dispositif 2010.

Ce dispositif prévoit :

- 1) une surveillance environnementale visuelle et selon la méthode des lames de Sedgewick-Rafter (élaborée par l'Ifremer). Les résultats devront être intégrés dans la base de données « Sise-baignade ».
- 3) Recueil de cas humains suspects par le Centre Anti-Poison (CAP) de Marseille et la centralisation des données environnementales et épidémiologique par l'ARS concernée.
- 4) Des recommandations pour limiter le risque alimentaire rappelant l'interdiction du ramassage des oursins en été ainsi que l'éviscération des poissons issus de la pêche de loisir.

Surveillance environnementale complémentaire dans le cadre du réseau Rephy et d'autres projets de recherche :

Rephy

Un suivi environnemental *Ostreopsis sp* est assuré par l'Ifremer dans le cadre de son réseau Rephy. Le réseau Rephy a deux objectifs : un suivi environnemental des espèces de phytoplancton ainsi que la surveillance des espèces produisant des toxines dangereuses pour les consommateurs de coquillages. Ainsi les points de suivi sont localisés sur le littoral essentiellement en fonction de l'activité aquacole et non des zones de baignade. Ils peuvent donc apporter un complément d'information sur la surveillance environnementale d'*Ostreopsis sp* mais ne peuvent remplacer un suivi sanitaire environnementale. Par exemple un point situé dans une zone conchylicole sableuse n'est pas représentatif d'une eau de baignade en zone rocheuse plus propice au développement d'*Ostreopsis sp*.

Lyngbya majuscula

Première détection

Identifiée pour la première fois en 1912 à Hawaï

Localisation

Sa distribution est mondiale. On la trouve dans le Pacifique, les Caraïbes, l'Océan Indien et la mer Méditerranée (Afsset 2010 ; Mesguich et al 1999)

Description

C'est une cyanobactérie filamenteuse benthique rencontrée dans les mers tropicales et subtropicales au niveau des régions côtières (baies, estuaires, lagons, platiers) jusqu'à une profondeur d'environ 30 m. Elle s'accroche et croît sur des substrats solides tel que les coraux morts ou les herbes marines, les rochers ou le sable. Les cyanobactéries forment des filaments qui ressemblent à de longs cheveux (10-30 cm), dont la couleur variée entre le rouge, le blanc et le marron.

Lyngbya majuscula utilise l'azote sous toutes ses formes (atmosphérique, inorganique et organique) pour son métabolisme énergétique qui requiert également une grande quantité de fer (Afsset 2010, AESN 2009).

On la trouve dans les baies, estuaires, lagons.

Apparition

Dans certaines régions du globe (Floride, côtes australiennes, Hawaï) ses développements importants sont devenus problématiques depuis quelques années (voir table 1). Depuis la fin des années 1990, l'apparition récurrente d'efflorescences de *Lyngbya majuscula* dans plusieurs baies australiennes a conduit à des situations sanitaires préoccupantes.

On peut noter que la France est elle aussi concernée : une prolifération de *L. majuscula* associés à des phanérogames toxiques s'est produite en avril 2010 à Mayotte (N'Gouja).

Impact sanitaire

Toxicité

L. majuscula est capable de synthétiser près de 70 substances chimiques. Parmi elles les toxines les plus communément associées aux effets irritatifs de cette cyanobactérie, chez l'homme, sont la lyngbyatoxine A, l'aplysiatoxine et la

débromoaplysiatoxine. In vitro, ces trois toxines sont des promoteurs de tumeur (Afsset 2010).

D'après Burke et al 2002, les sécrétions de toxines s'accumulent dans le maillot de bain. Lorsque le baigneur sort de l'eau, l'eau s'évapore puis la toxine se concentre sur la peau et provoque des irritations cutanées.

Plusieurs espèces de vibrio (*V. cholerae*, *V. alginolyticus*, *V. parahaemolyticus*) connues pour provoquer des lésions inflammatoires sont souvent associées à *L. majuscula* (Ostborne et al, 2001).

La toxicité de *L. majuscula* est variable mais cette variabilité n'est pas expliquée (Ostborne et al, 2001).

Quelques épisodes sanitaires (irritations de la peau, des yeux et des voies respiratoires) américains, australiens et japonais liés à *L. majuscula* sont reportés ci-dessous (Table 1), d'après Ostborne et al (2001 et 2008)

Date	Localisation	Nombre de cas
1958	Hawaï	123
1959	Hawaï	
1960	Hawaï	
1968	Japon	242
1973	Japon	
1976	Hawaï	
1980	Hawaï	86
1983	Hawaï	31
1986	Hawaï	
1996-1997	Australie	
1998	Australie	21

Table 1 : Quelques épisodes sanitaires liés à *Lyngbya majuscula* dans le monde

Voies d'exposition

Contact cutané

Inhalation (Ostborne et al, 2001)

Ingestion d'eau contaminée probable mais non reportée dans la littérature.

Symptômes

Contact cutané et inhalation

Les symptômes initiaux se traduisent par un érythème de la peau associé à une sensation de brûlure apparaissant 3 à 8h (Ostborne et al, 2001) après l'exposition. Des

vésicules inflammatoire peuvent apparaître et évoluer vers une profonde desquamation pouvant perdurer plusieurs jours. Des atteintes des parties génitales et des lèvres (Ostborne et al, 2001) et des cas de conjonctivites ont également été reportés (Burke et al 2002). L'inhalation d'embruns contaminés peut provoquer une irritation des voies respiratoires.

Traitement

Il n'existe à ce jour aucun traitement efficace contre les irritations dues aux cyanobactéries toxiques. Cependant des crèmes antihistaminiques et stéroïdiennes peuvent être appliquées. La meilleure des préventions est probablement le retrait rapide du maillot et le rinçage de la peau. Enfin lors d'irritations oculaires, les yeux doivent être rincés à l'eau du robinet et une consultation chez l'ophtalmologiste est recommandée (Burke et al, 2002).

Population vulnérable

Les enfants de moins de 6 mois seraient plus vulnérables que les autres tranches d'âge d'après un test clinique réalisé par Banner en 1959 (Ostborne et al, 2001). En effet les réactions cutanées seraient plus sévères chez cette tranche d'âge.

Voie alimentaire

Plusieurs cas d'intoxications alimentaires ont été reportés suite à la consommation de poissons, de tortues (Afsset 2010) et d'algues contaminées par *Lyngbya majuscula* ou l'une de ses toxines (Ostborne et al, 2001). Après ingestion d'aliments contaminés par cette cyanobactérie, il apparaît rapidement une sensation de brûlure de la langue et de la gorge. Les symptômes disparaissent au bout de quelques jours à quelques semaines. Des vomissements et des diarrhées ont également été rapportés dans la littérature (Afsset 2010).

Impact milieu

D'après la littérature, *L. majuscula* aurait un impact sur les reptiles marins (Ostborne et al, 2001), sur les poissons et les macroalgues (Afsset 2010).

Impact économique

Il n'y a pas d'information dans la littérature.

Facteurs environnementaux

D'une manière générale ces cyanobactéries se développent lorsque les conditions de température, d'ensoleillement, de salinité et d'apports de nutriments (azote,

Lucie BIZZOZERO - Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique - 2010

phosphore, fer, substances organiques, etc.) sont favorables. Elles se développent aussi lors d'évènements climatiques anormaux tels que les sécheresses, les tempêtes tropicales, les pluies importantes etc., (Osborne et al, 2001).

Plusieurs facteurs environnementaux favorisent les proliférations de *L. majuscula* : les nutriments et les conditions météorologiques.

Nutriments

Cette cyanobactérie est probablement présente dans la plupart des écosystèmes côtiers, ses phases de prolifération semblent favorisées par des apports trop importants en fer, en phosphate, en azote et en substances organiques dissoutes (Afsset 2010, Burke et al 2002). Toutefois son métabolisme nécessite du fer. *L. majuscula* étant capable de fixer l'azote atmosphérique, l'influence du phosphore et du fer pourrait être plus importante que celle de l'azote dans son développement actuel (AESN 2009).

Ensoleillement, température de l'air et de l'eau, vent

Plusieurs épisodes sanitaires combinant certaines conditions de luminosité, température de l'eau ou de l'air et du vent se sont produits. A plusieurs reprises, *L. majuscula* s'est fortement développée dans le fond sur les macroalgues, le sable ou un substrat rocheux en présence d'une lumière intense et de températures de l'eau et de l'air élevées. Les forts vents dirigés vers la côte peuvent casser les filaments et faire entrer *Lyngbya majuscula* dans la colonne d'eau. (Ostborne et al, 2008).

Pelagia Noctiluca

la plus étudiée et venimeuse des méduses en Méditerranée.

Premier enregistrement en Méditerranée

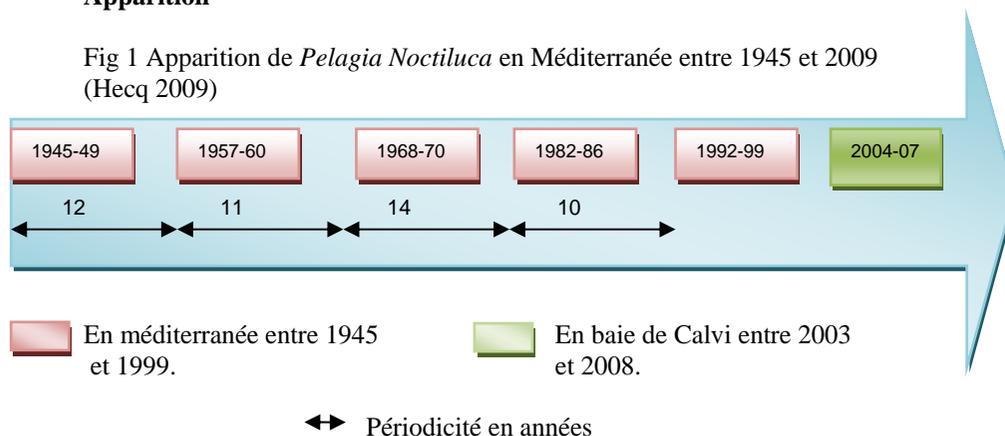
1790 en mer Adriatique (Kogovsek et al, 2010)

Localisation

Largement distribuée des eaux côtières aux eaux océaniques (Licandro et al, 2010), *P. noctiluca* est présente dans presque toutes les eaux chaudes et tempérées d'Atlantique et du Pacifique nord (Hecq et al, 2009). Elle peut entrer dans les eaux froides à cause du courant (Mariottini et al, 2008). En méditerranée sa distribution débord le plateau continental (Hecq et al 2009). On la trouve en Mer Méditerranée (toute la mer Méditerranée), Océan Atlantique, Mer du Nord, Océan Pacifique (côte ouest californienne).

Apparition

Fig 1 Apparition de *Pelagia Noctiluca* en Méditerranée entre 1945 et 2009 (Hecq 2009)



Périodicité

Temps qui espace deux apparitions successives. Une apparition peut durer plusieurs années.

La périodicité de *P. noctiluca* est de 12 ans en Méditerranée (Hecq et al, 2009). Cette périodicité a été confirmée par une modélisation (wavelet spectrum analysis) de Kogovsek et al (2010), par l'étude de Hecq et al (2009) en Corse et par les travaux de

Daly yahia (2005) sur les côtes tunisiennes. Les années à *P. noctiluca* représentent ainsi des cycles de 4 à 5 années consécutives (Hecq et al, 2009)

Description

Pelagia noctiluca (Forskål, 1775) est une méduse scyphozoaire pélagique, ce qui explique sa présence aux larges des côtes. Elle possède une ombrelle mesurant de 3 à 12 cm de diamètre chez les adultes, généralement violette, bioluminescente et entourée de tentacules. Cette méduse est redoutée des baigneurs en raison de la douloureuse action de son venin émis par ses cnidocytes (cellules urticantes renfermant une capsule appelée nématocyste qui sert à se défendre et à capturer les proies) (Hecq et al, 2009).

En modifiant son métabolisme *P. noctiluca* peut s'acclimater à des températures variant de 8 à 22 °C (Licandro et al, 2010).

Les organismes sont répartis sous forme d'essaim actif et passif. Les essaims actifs se trouvent aux larges et sont capables de migrations verticales et horizontales actives. Les essaims passifs sont composés d'individus moribonds, mais urticants, se laissant dériver vers les côtes en fonction du mouvement des masses d'eaux et du courant (migration horizontal seulement). En baie de Calvi : les essaims actifs apparaissent en quelques heures et disparaissent en quelques jours (Hecq et al, 2009)

Régime alimentaire :

Carnivores, elles se nourrissent de mésozooplancton herbivore (cladocère et copépode), de méduses et de larves de poissons. Les larves se nourrissent de microzooplancton et jeunes adultes de petites méduses. C'est un régime opportuniste, avec une prédation plutôt gouvernée par la disponibilité de la nourriture que par la préférence alimentaire (Hecq et al, 2009).

Impact sanitaire

Symptômes généraux :

- Cas général : généralement la brûlure est instantanée et est suivie de l'apparition d'un érythème. Peu grave mais incommodante, la brûlure dure au moins une heure (Hecq et al, 2009). La douleur locale peut parfois persister pendant 1 à 2 semaines (Mariottini et al, 2008).
- Cas d'envenimation massive : les cicatrices peuvent durer plusieurs mois. Certaines personnes peuvent être victime de mal de tête, vertige, syncope, vomissement, faiblesse, fièvre, ulcération, et hématurie, 2 à 4h après la piqure. Des cas de chocs anaphylactiques ont été reportés (Hecq et al 2009, Mariottini et al, 2008).

- Cas rare : des manifestations neurologiques et respiratoires ont été décrits. Un cas très rare de syndrome du Guillain Barré résultant probablement d'une réaction aberrante du système immunitaire a été signalée (Mariottini et al, 2008).

Population vulnérable

- La sévérité des réactions dépend des personnes : âges, antécédents personnels, antécédents piqûres, étendue de la surface cutanée touchée, allergie, traitement initial négligé ou mal conduit (Hecq et al, 2009). *P. noctiluca* peut laisser des cicatrices dans certains cas (Mariottini et al, 2008).

Traitement

En cas de piqûres, il est recommandé de ne pas frotter pour éviter de décharger les nématocystes mais de rincer abondamment avec de l'eau de mer afin d'éliminer les nématocystes non déchargés. Il ne faut surtout pas utiliser d'eau douce qui en raison du changement osmotique les activerait. On peut ensuite appliquer de l'acide acétique ou des crèmes antiseptiques et anti-inflammatoires (Hecq et al, 2009)

Données épidémiologiques

Le nombre de personne touchées a été estimé à 3000 en 2009 autour d'Antibes d'après les pompiers (Envoyé spécial, 2010). Le nombre de cas reportés en Espagne et à Monaco serait supérieur à 10 000 les années à méduses. (Purcell et al, 2007).

Impact milieu

Impact sur le système pélagique :

- zooplancton : les pullulations de *P. noctiluca* peuvent influencer la production de zooplancton (Mariottini et al, 2008 ; Licandro et al, 2010). Par exemple lors de la pullulation des années 80 en mer Adriatique une modification de la composition du zooplancton a été observée. Le zooplancton gélatineux était plus nombreux et le ratio cladocéranes/copepodes avait augmenté (Kogosvek et al, 2010).
- stock de poissons : les pullulations de *P. noctiluca* peuvent influencer le stock de poissons en diminuant le nombre de larves par leur prédation (Licandro et al, 2010). D'après Hecq (2009), cette hypothèse reste à démontrer car *P. noctiluca* se nourrit de larve de poissons de manière passive et en compétition avec d'autres poissons.

Impact économique

Tourisme : Les pullulations de *P. noctiluca* rendent désagréable la baignade et conduisent à une diminution du nombre de baigneurs (Hecq et al, 2009, Mariottini et al, 2008).

Pêche, Aquaculture : Les efflorescences de *P. noctiluca* peuvent nuire aux installations aquacoles (Hecq et al, 2009). En effet elles peuvent entraîner une surmortalité des poissons d'élevage (Mariottini et al, 2008) et un colmatage des filets de pêche (Hecq et al, 2009). Parfois au printemps, le poids de méduses piégées dans les filets est supérieur à celui des poissons ce qui rend le tri difficile des poissons pour les pêcheurs. (Mariottini et al, 2008).

Enfin les efflorescences de *P. noctiluca* ne causent pas de fatalités humaines mais peuvent avoir un fort impact économique local. (Mariottini et al, 2008)

Facteurs environnementaux :

Les facteurs environnementaux présentés dans la fiche concernant les autres méduses sont valables pour cette espèce. Quelques précisions concernant cette espèce très étudiée sont apportées ci-dessous.

Facteurs physico-chimiques

Température

La température aurait une influence sur le cycle de vie de *Pelagia noctiluca* et sa reproduction (Licandro et al, 2010) en favorisant la prolifération du zooplancton (copépodes, larves de poisson) leur servant de proie (Hecq et al, 2009). De plus l'augmentation de la température de l'eau serait à l'origine d'un accroissement du taux de natation (Mariottini et al, 2008), favorisant une meilleure recherche de nourriture (Hecq et al, 2009). Enfin l'apparition de méduses semblent être associés à des hivers chauds (Hecq et al, 2009) et les années à *Pelagia* correspondent à des amplitudes thermiques fortes sur la côte nord Tunisienne (>16°C) (Daly Yahia et al, 2005).

Salinité

L'influence de la salinité sur la présence de pullulations de méduses est évoquée par Kogosvek et al (2010). Les plus hautes densités de *P. noctiluca* dans la mer Adriatique entre 76-83 sont associées à une salinité élevée (Mariottini et al, 2008).

Hydrodynamisme

Certains facteurs hydrologiques peuvent faciliter la concentration des *P. noctiluca* à certains endroits : le vent, la turbulence, le courant, le mouvement des masses d'eau et la marée (Licandro et al, 2010 ; Kogosvek et al, 2010, Hecq et al, 2009, Mariottini et al, 2008).

En Méditerranée Ouest, *P. noctiluca* suit le courant de surface de l'Atlantique (Licandro et al, 2010). Le front Liguro-provençal, lui, est le siège d'accumulation massive de plancton et de *P. noctiluca*. Les oscillations sur ce front pourraient être responsables d'invasions sur le plateau continental. Le littoral méditerranéen français ouest est épargné par les méduses qui suivent le courant liguro provençal.

Les essaims passifs de surface, formant les « blooms côtiers » sont générés par certaines conditions hydrodynamiques (vent, tourbillon, turbulence, micro-courant) (Hecq et al, 2009).

Facteurs biologiques

Proie

La prolifération de *Pelagia noctiluca* en 2006 succède à des biomasses particulièrement élevées de mésozooplancton en 2005 en baie de Calvi. On peut émettre l'hypothèse que l'abondance exceptionnelle des proies pourrait être une des causes de la prolifération. (Hecq et al, 2009).

Compétiteurs

Comme pour les autres espèces de méduses, la diminution massive des compétiteurs de *P. noctiluca* augmenterait les ressources en nourriture de cette dernière. La disponibilité en nourriture faciliterait le développement de *P. noctiluca* (com. Pers, D. Thibault).

Prédateurs

Le lien entre diminution du stock de poissons pélagiques suite à la pêche industrielle et l'augmentation des méduses reste à démontrer (Hecq et al, 2009).

Concentration en nutriments

L'élévation de la concentration en nutriments, comme en baie de Mersin (Turquie) ou dans le Golf de Trieste par exemple favoriserait une meilleure productivité du zooplancton herbivore, source de nourriture potentielle pour les méduses. Par exemple une augmentation d'azote et une diminution du rapport silicates/azote favorisent la croissance des nano-flagellés. Il se mettrait alors en place une chaîne alimentaire du

type flagellé / petit zooplancton / méduses. (Hecq et al, 2009). Cependant entre 76-83, les densités les plus élevées de méduses correspondaient à des concentrations faibles en nutriments en Mer Adriatique. De plus, en Méditerranée occidentale la plupart des pullulations de *Pelagia* sont observées dans les eaux du large non polluées et dans des eaux côtières oligotrophes (Mariottini et al, 2008).

Le lien augmentation de la concentration en nutriments et pullulation des méduses est donc incertain.

Indicateurs de prévention

Deux indicateurs pourraient permettre de prévenir l'apparition d'essaim de méduses sur la côte :

- le suivi des oscillations du front liguro provençale par image satellite et
- le manque général de précipitations, une température et une pression atmosphérique élevée de mai à août qui apparaît comme étant le meilleur prédicteur des années à *Pelagia noctiluca* (Hecq et al, 2009)

Action de prévention

Il n'est pas possible de lutter contre les méduses qui sont un élément essentiel de l'écosystème pélagique. Cependant certaines collectivités françaises ont mis en place des filets de protection pour limiter l'introduction de méduses dans la zone de baignade. Cette mesure n'élimine pas le danger puisque les tentacules urticants des méduses sont arrachés et impact la biodiversité et la pêche en piégeant les poissons. Enfin ce dispositif est très coûteux : 15 000 euros/100 m (Envoyé spécial 2010).

Il existe aussi des crèmes anti-méduses empêchant les filaments d'adhérer à la peau, leur efficacité est à prouver !

Conclusion :

Les apparitions massives de *Pelagia noctiluca* semblent être influencées par certaines conditions trophiques, hydrologique, courantologie et météorologique. Cependant une explication claire et satisfaisante de ces pullulations n'existe pas. La relation entre changements environnementaux et prolifération de méduses est encore mal connue et l'hypothèse d'une augmentation des ces apparitions à cause d'un cycle naturel n'est pas écartée.

Planktothrix agardhii, ex-*Oscillatoria agardhii*

Localisation

P agardhii est présente dans les eaux de transition et les eaux douces, avec une répartition plutôt septentrionale (Afssa 2006). Cette espèce est présente dans plusieurs plans d'eau en France, notamment dans les étangs de Bolmon (en déclin) et de l'Olivier sur le littoral méditerranéen.

Description

Cyanobactérie typiquement planctonique, le genre *Planktothrix* est souvent cité dans des milieux assez riches du point de vue trophique.

P. agardhii a une très large répartition. *P agardhii* prolifère dans de nombreux sites d'eau douce de l'ouest de la France, lorsque les nutriments sont abondants (azote et phosphore). Elle supporte assez bien la turbulence et est très efficace dans les conditions limitantes en lumière. Cette espèce peut produire des biomasses importantes de couleur verdâtre (Leitao 2005). Les filaments en quiescence peuvent être stockés dans les sédiments (com. pers S. Fayolle). On peut noter que *Planktothrix agardhii* peut produire de grandes quantités de toxines sans former d'écume (Afssa 2006).

Apparition

La base de données numérique cyanobactérie mise en place à l'Afssa rassemble des résultats de prélèvements effectués dans différentes zones aquatiques en France métropolitaine et en Corse. Dans cette base de donnée le genre *Planktothrix* est un des genres les plus fréquents. Une efflorescence de *P. agardhii* a été détectée par les scientifiques dans l'étang de l'Olivier en 2009. L'arrêté du 28 avril 2000 par la préfecture de la région PACA, interdisait la pêche dans l'étang de Bolmon pour mortalité importante de la faune. Cette surmortalité pourrait résulter d'une efflorescence de *P. agardhii* (Com. pers S. Fayolle).

Toxicité

P. agardhii produit des microcystines. Il existe plus de 70 variants de microcystines produites par plusieurs espèces de cyanobactéries. Leur toxicité est variable mais d'une manière générale elles sont hépatotoxiques. Parmi les hépatotoxines de structure cyclique, les microcystines sont les cyanotoxines les plus fréquemment répertoriées dans les phénomènes d'intoxications animales et humaines (Afssa 2006). La toxicité

Lucie BIZZOZERO - Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique - 2010

de *P. agardhii* n'est probablement pas due uniquement à la microcystine et d'autres toxines inconnues à ce jour pourraient être impliquées (Keil et al, 2002).

La présence de toxine dans l'eau est due à une production extracellulaire mais aussi intracellulaire. En effet la lyse de la cellule en fin de vie libère la toxine intracellulaire (com pers, S. Fayolle). La toxicité d'une efflorescence est plus forte en fin d'efflorescence lorsque que les cellules sénescents libèrent la toxine intracellulaire. Dans cette situation, la concentration en toxine de l'eau peut atteindre environ 7 à 8 g/L (com pers S. Fayolle).

Impact sanitaire

Voies d'exposition :

Inhalation (Afssa 2006)

Contact cutané (Afssa 2006)

Ingestion (Afssa 2006)

Données épidémiologiques

Contact cutané

D'après les données des CAP français, sept personnes ont présenté des signes cutanés suite à la baignade dans un plan d'eau en haute vienne (De Haro, 2008). Les analyses, faites suite à la déclaration de ces cas humains, ont révélé la présence de plusieurs espèces de cyanobactéries dont *Aphanizomemon flosaquae* et surtout *Planktothrix agardhii*(CCT, 2008). Aucune autre donnée épidémiologique n'était disponible.

Ingestion

Dans les cas les plus récents, l'ingestion de cyanobactéries et les lésions caractéristiques du foie ont pu être mises en évidence. *P. agardhii* était parmi les espèces les plus fréquemment impliquées dans ces épisodes (Afssa 2006).

Traitement :

Corticoïde local (CCT, 2008)

Population vulnérable

Enfants de 2 à 7 ans (Afssa 2006)

Voie alimentaire

Les moules, crustacés et poissons accumulent la microcystine (Afssa 2006). La consommation de ces animaux peut donc être à l'origine d'une intoxication.

Impact milieu

Les proliférations de cyanobactéries perturbent le réseau trophique. Elles entraînent une surmortalité chez les poissons et les oiseaux (Afssa2006).

Impact économique

Aucune donnée

Facteurs environnementaux

D'après les travaux de S. Fayolle concernant l'écologie de *Planktothrix agardhii* dans les étangs de Bolmon et de l'Olivier, la présence ou non de cette espèce semble être liée à la salinité. En effet une augmentation de la salinité a entraîné le déclin de *P. agardhii* dans l'étang de Bolmon, alors que cette espèce est toujours présente dans l'étang de l'Olivier. La déstratification de l'eau peut aussi, dans certaines conditions, favoriser certaines espèces de cyanobactéries comme *Planktothrix agardhii* qui semble peu sensible à ce facteur. (Afssa 2006)

Les variants de microcystines produits par les cyanobactéries sont extrêmement divers selon la souche impliquée, le site, les paramètres environnementaux (composition physico-chimique de l'eau, intensité lumineuse, température...), la période de l'année ou tout autre facteur influant sur la croissance cellulaire (Afssa 2006). Un des facteurs potentiels de la toxicité d'une souche de *P. agardhii* pourrait être la protection contre le prédateur ou les compétiteurs. (com pers S.Fayolle).

Karenia brevis, Gymnodinium breve

Premier enregistrement

Les premières eaux rouges à *Gymnodinium breve* ont été décrites en Floride en 1947 par Davis.

Localisation

On trouve cette espèce dans le Pacifique (Nouvelle Zélande), l'Atlantique (Floride, Golf du Mexique) et en Méditerranée (littoral PACA et Corse (données quadriges))

Description

C'est un dinoflagellé marin. Les efflorescences peuvent varier du marron au vert foncé.

Efflorescences

Jusqu'en 1993 les proliférations massives étaient limitées à la Floride et au Golf du Mexique (com. pers P. Lassus). Des eaux rouges ont lieu presque toutes les années en Floride (Cheng et al, 2010) et régulièrement le long de la côte du Texas et de Mexico (Tomlinson et al, 2003).

Impact sanitaire

Toxicité

K. brevis peut produire 9 brevetoxines polyether (designated PbTx-1 à PbTx-9) (Backer 2003). Les brevetoxines ont des effets irritants ou inflammatoires lorsqu'elles sont inhalées et des troubles gastro-intestinaux et neurologiques lorsqu'elles sont ingérées (Backer et al, 2003). Ces brevetoxines sont bioaccumulées dans la chaîne alimentaire et incorporées aux aérosols marins (Neely et al, 2005).

Voie d'exposition :

Inhalation

Symptômes :

Les efflorescences de *Karenia Brevis* peuvent conduire à des irritations et des inflammations des voies respiratoires supérieures et inférieures (Backer et al, 2003 ; Cheng et al, 2003) ainsi qu'à des brûlures des yeux, du nez, et de la gorge (Baker et al, 2003)

D'après les travaux expérimentaux de Backer et al 2005, l'exposition à des aérosols contaminés par de la brevetoxine est associée à un inconfort (irritation des voies respiratoires).

Population vulnérable

La population vulnérable concerne les asthmatiques et les sujets touchés par une maladie pulmonaire chronique. (Backer et al, 2003)

Voie alimentaire

L'empoisonnement neurologique humain par les fruits de mer (NSP (Neurotoxic shellfish poisoning), contaminés par les toxines libérées par *K brevis*, est possible (Neely et al, 2005).

Impact milieu

Les efflorescences de *K. brevis* peuvent conduire à des mortalités massives des poissons (ichtyotoxicité), de mammifères marins (dauphins), d'oiseaux ainsi qu'à la contamination de coquillages (Neely et al, 2005)

Impact économique

Pas de données

Facteurs environnementaux

La concentration en brevetoxine de l'aérosol dépend de la direction du vent. A Siesta Beach (Floride), la concentration de l'aérosol est maximal quand le vent est perpendiculaire à la côte et dirigé vers la côte.

Les mécanismes environnementaux à l'origine des proliférations massives de *Karenia Brevis* n'ont pas été bien déterminés mais les hypothèses actuelles sur les facteurs influençant la formation de ces blooms sont les suivantes :

- la concentration en nutriments de l'eau
- les changements de salinités
- la vitesse du vent et du courant
- l'arrivée de poussières du Sahara
- l'interaction avec certaines bactéries
- les pressions anthropogéniques telles que les traces de métaux et la littoralisation.

Les méduses

Cette fiche concerne *Aurélia aurita*, *Chrysaora hysoscella*, *Rhizostoma pulmo* et *Rhopilema nomadica*

Premier enregistrement en Méditerranée (Kogosvek et al, 2010)

<i>Aurélia aurita</i>	1837-1838 (Kogosvek et al, 2010)
<i>Chrysaora hysoscella</i>	Pas de donnée
<i>Rhizostoma pulmo</i>	1875 en Mer Adriatique (Kogosvek et al, 2010)
<i>Rhopilema nomadica</i>	1977 sur les côtes Israélienne (Mariottini et al, 2010)

Localisation (FFESSM ; Mariottini et al, 2010 ; Siokou et al, 2006)

<i>Aurélia aurita</i>	Toutes les mers du globe et eaux de transition méditerranéennes (Etang de Berre)
<i>Chrysaora hysoscella</i>	Mer du Nord, Atlantique, Baltique Méditerranée : principalement Mer Adriatique, Ionienne et Ligurienne
<i>Rhizostoma pulmo</i>	Répartition mondiale, Méditerranée : Mer Adriatique, Ionienne, Ligurienne, Bassin ouest
<i>Rhopilema nomadica</i>	Mer Rouge Méditerranée : Mer Ionienne, Egée, du Levant

Remarque : Le littoral méditerranéen français ouest (Languedoc Roussillon) est épargné par les méduses qui suivent le courant liguro provençal. Ce dernier passe au large des côtes.

Reproduction

Pour la plupart des méduses la reproduction des méduses s'effectue en deux phases successives : sexuée puis asexuée. Lors de la phase de reproduction sexuée des spermatozoïdes et des ovules se rencontrent pour former un œuf évoluant en une larve munie de cils. Celle-ci mènera une vie libre en pleine eau avant de se fixer. Une fois la larve fixée la phase asexuée débute. La larve se fixe pour se développer en polype,

Lucie BIZZOZERO - Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique - 2010

sorte de petite anémone de quelques millimètres d'où bourgeonneront des petites méduses.

Particularités

Aurelia aurita vie dans les eaux tempérées et froides, avec des températures variant entre -0.5 à 30°C. C'est un fort prédateur de copépodes et de larves de poisson. *A. aurita* se reproduit rapidement (Mariottini et al, 2010).

Chrysaora hysoscella

On peut la trouver dans les eaux tempérées et froides variant de 4°C à 28°C

Rhizostoma pulmo

Sur les côtes libanaises, elle apparaît habituellement à la fin du printemps quand la température atteint 25°C, et y reste jusque mi-août (Mariottini et al, 2010)

Rhopilema nomadica

Cette espèce est considérée comme une des pires espèces invasives de méditerranée (Siokou et al, 2006)

Apparition

D'une manière générale les apparitions plus fréquentes et plus massives de méduses sur le littoral méditerranéen sont encore une hypothèse au sein de la communauté scientifique.

D'après l'étude de Kogosvek et al (2010) sur une série de données de 200 ans environ (1790-2009) en mer Adriatique, on peut noter les informations suivantes.

Observée régulièrement depuis 1978 le nombre d'apparitions massives de *A. aurita* a augmenté les 20 dernières années en Mer Adriatique nord et l'on observe des pullulations chaque année depuis 2004.

En mer Adriatique, *Rhizostoma pulmo* est régulièrement observée depuis 1875 sauf entre (1930-1960). On peut noter une augmentation des pullulations les 20 dernières années avec un pic en 2003-2004 suivis d'une importante diminution (Kogosvek et al, 2010).

Des pullulations de *C. hysoscella* se sont produites dans le passé en mer Adriatique, mais ces dernières sont peu documentées..

La fluctuation, à long terme de ces espèces en Mer Adriatique a été modélisée. Il en ressort que la périodicité largement a diminué ces dernières années,

tout comme la fréquence d'apparition massive pour *Aurelia aurita* et *Rhizostoma pulmo*.

Impact sanitaire

Aurelia aurita : brûlure faible à modérée

Communément considérée comme inoffensive, elle peut présenter un trouble pour les baigneurs lorsqu'elle est présente en forte densité.

Cas général : En Méditerranée, elle provoque de légères brûlures souvent non irritantes. Cependant elle peut irriter les peaux fines et sensibles, les yeux, les lèvres et produire de légères démangeaisons. (Mariottini et al, 2010)

Cas grave : Le potentiel de brûlure est très variable selon les régions du monde. Des brûlures intenses ont été reportées dans le Golf du Mexique, en Australie, sur la côte sud de Floride (Radwan et al, 2001) et en Israël (Mariottini et al, 2010). Cependant la classification de cette espèce est actuellement revue par la communauté scientifique car elle pourrait comprendre plusieurs espèces (com. pers D.Thibault). Ceci expliquerait la variabilité du potentiel de brûlure.

Chrysaora hysoscella : brûlure douloureuse

C. hysoscella est une méduse très dangereuse, principalement à cause sa large surface urticante. Avant 1990 seule un cas de lésions cutanées causées par cette méduse en eau subtropicale a été reporté. Entre mai-août 97, 90 cas de brûlures de méduses ont été reportés dans le golf de Trieste, en Italie et seul *C. hysoscella* était présente (Mariottini et al, 2010)

Rhopilema nomadica : Brûlure douloureuse

Cas général:

Brûlure très douloureuse (Siokou et al, 2006)

En Israël, la grande méduse *Rhopilema nomadica*, qui occasionne de très graves brûlures, et qui peut constituer des amas de 40 km de longueur, oblige à fermer certaines plages (données issues du site internet du Centre Océanographique de Marseille).

Cas rare: réaction systémique, avec parfois un retard dans la réaction cutanée (Mariottini et al, 2010). Par exemple, deux jours après un contact avec la méduse, un patient souffrait de graves brûlures douloureuses et urticantes (érythème et urticaire). Ce type de réaction peut aussi être observé une semaine après le contact (Mariottini 2010).

Rhizostoma pulmo : brûlure faible à modérée

Lucie BIZZOZERO - Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique - 2010

Moins nocif que *P. noctiluca*, les brûlures de *R. pulmo* sont modérées. Considérée comme peu nuisible, des cas de brûlures chez les pêcheurs en mer Adriatique ainsi que chez les pêcheurs et nageurs en mer libanaise sont reportés.

Cas général : *R pulmo* provoque des érythèmes et des ulcères cutanés disparaissant spontanément en quelques heures. Récemment des cas de dermatites ont été reportées suite au contact avec *R. pulmo* : une douleur cutanée immédiate suivie de l'apparition d'un érythème et de vésicule. Après un traitement local aux corticoïdes, la douleur a disparu en 36 heures (Mariottini et al, 2010).

Facteurs environnementaux

Généralités

Au niveau de la communauté scientifique mondiale deux éléments ont été reconnu comme pouvant avoir un impact sur les apparitions de méduses : la diminution des compétiteurs et l'augmentation de surfaces favorables au développement des polypes.

La diminution des compétiteurs

Deux espèces sont en compétition lorsque leur niche écologique se chevauche. La diminution de l'une des deux espèces permettra donc à l'autre de se développer. Les compétiteurs des méduses sont le thon, la sardine les anchois qui sont des poissons de grande consommation. La diminution de ces compétiteurs est liée d'une part à la surpêche par l'homme mais aussi au régime alimentaire des méduses qui se nourrissent des larves de ces poissons. Ceci entraîne la diminution du stock de ces poissons.

Il est important de noter que la pullulation des méduses ne seraient pas liée à la surpêche de ses prédateurs (tortues), trop peut nombreux pour que leur diminution engendre un déséquilibre du cycle naturel des méduses.

Le développement des polypes

Certaines activités comme le chalutage, mettent à nue des zones qui deviennent favorables au développement des polypes. Ceci permettrait la prolifération des espèces de méduses présentant un cycle de vie asexué (*P. noctulica* est donc exclu).

D'autres facteurs environnementaux, comme l'eutrophisation ou l'augmentation de la température de l'eau sont suggérés pour expliquer la pullulation des méduses, mais il reste à le démontrer. De même l'aménagement du littoral (avancée d'aéroport dans l'eau par exemple) créerait de nouvelles surfaces nues favorables au développement

des polypes. L'augmentation des pullulations de méduses liées à l'augmentation des sels nutritifs n'est pas claire. Dans les lagunes, souvent sous l'influence d'eau douce, la modification de la salinité (augmentation) permettrait l'apparition ou réapparition de certaines méduses (Ex : *Aurelia aurita* dans l'étang de Berre, PACA).

Enfin la pollution n'est pas un facteur explicatif de la pullulation des méduses qui semble simplement s'y adapter du fait de leur capacité d'adaptation (com. pers. D. Thibault)

D'autres facteurs pourraient être associés à la pullulation des différentes espèces.

Les pullulations d'*Aurelia aurita* sur la côte tunisienne seraient associées à des eaux ayant une faible salinité et une capacité d'adaptation importante (Mariottini et al, 2010). Celle de *R. nomadica* sur la côte Israélienne seraient associées sa forte capacité de reproduction.(Siokou et al, 2006). Enfin les pullulations de *R. pulmo* dans la lagune de Mar Menor au sud est de l'Espagne (Martinez et al, 2003) seraient associées à une forte concentration en nutriments. D'après Kogosvek et al (2010), les pullulations de *R. pulmo* se produisent souvent dans des baies confinées où il y a un apport d'eau douce et de nutriment

Impact milieu

Du fait du régime alimentaire (larves de poissons) les méduses semblent être responsables de la diminution du stock de poisson. Möller (1984) note que l'abondance des larves de harengs dans le Fjord de Kiel, en période de reproduction, décroît brusquement lorsque la biomasse d'*Aurelia aurita* s'élève au-dessus d'une certaine limite (Hecq et al, 2009).

La prolifération de *R. nomadica* en Méditerranée Est perturbe l'équilibre écologique en remplaçant *Rhizostoma pulmo* durant la dernière décennie.

Impact économique

Les pullulations de méduses peuvent avoir un fort impact économique. Elles peuvent rendre le bain non attractif et impacté ainsi le tourisme. C'est le cas pour *A. aurita* en Espagne, *R. pulmo* en Espagne et au Liban et *R. nomadica* en Israël (Mariottini et al, 2010).

Elles peuvent alourdir et casser les filets de pêche, ce qui diminue la prise. C'est le cas pour *A. aurita* (Purcell et al, 2007), *R. pulmo* en Espagne et au Liban (Kogosvek et al, 2010, Mariottini et al, 2010) par exemple et *R. nomadica* (Mariottini et al, 2010).

Enfin *A. aurita* peut perturber l'activité aquacole (Purcell et al, 2007)

Poissons

Trois espèces lessepsiennes venimeuses sont présentes sur les côtes méditerranéennes : deux espèces de poisson lapin venimeux lessepsiens (*Siganus luridus* et *Siganus rivulatus*) et une espèce de poissons chat *Plotosus lineatus*. Ces poissons possèdent des épines dorsales contenant un venin très douloureux pour l'homme. Aujourd'hui *seul* *Siganus luridus* est présent en Méditerranéen occidentale.

Siganus luridus : on observe ce poisson en eaux peu profondes dans son biotope d'origine (10 à 20m) et en eau plus profonde sur les côtes libanaises (40-60 m). Il est arrivé en 1956 sur les côtes méditerranéennes d'Israël. On le retrouve sur les côtes libanaises et turques, où il peut être présent en banc importants (5000 individus/ banc en 2008 en Turquie). Il est aujourd'hui présent en Méditerranéen occidentale : observé en 2005 en Sicile et en 2008 dans le Parc marin de la côte bleu, près de Marseille (2 spécimens). Il reste cependant très isolé en Méditerranée orientale. (Ffessm) Herbivore, ce poisson peut parfois être hallucinogène par voie alimentaire.

Siganus rivulatus : ce poisson vit dans des fonds plutôt rocheux entre 20 et 60 m. Arrivé en 1927 en Méditerranée, il a été aperçu en 2000 en Mer Adriatique. Il n'est pas encore parvenu sur les côtes françaises (Ffessm).

Plotosus lineatus (poisson chat) : ce poisson très venimeux enregistré pour la première fois en Méditerranée en 2001 sur la côte israélienne. Dix sept spécimens ont été capturés dans un filet à 20 m de profondeur. C'est un poisson plutôt côtier, vivant dans les lagons, le sable et les récifs coralliens. La piqûre est d'ordinaire extrêmement douloureuse, et peut provoquer une syncope chez le plongeur, et donc la noyade. Elle n'est que rarement mortelle, mais la douleur persiste plusieurs jours (Ffessm).