

# IMPACT DES MARÉES ROUGES SUR LES ESPÈCES MARINES ET LA SANTÉ PUBLIQUE \*

**Mathilde VILCOT**

Vétérinaire, interne au Centre Hospitalier  
Vétérinaire (CHV) Languedocia  
à Montpellier (34)

Consultez les références bibliographiques de cet  
article sur le site internet de *La Dépêche Vétérinaire*  
à la rubrique des suppléments techniques :  
<https://www.depecheveterinaire.com>



Cet article est issu d'une thèse vétérinaire soutenue en 2020 sur les « Impacts sur la faune sauvage de la prolifération de l'algue *Karenia brevis* dans le golfe du Mexique entre 2015 et 2019 - Étude de cas à partir de données collectées dans le Centre de Soins « Clinic for the Rehabilitation of wildlife » à Sanibel Island (Floride, États-Unis) <sup>1</sup>.

**Directeur de thèse :** PASCAL ARNÉ enseignant chercheur, responsable du Centre de soins de la faune sauvage de l'école Nationale Vétérinaire d'Alfort

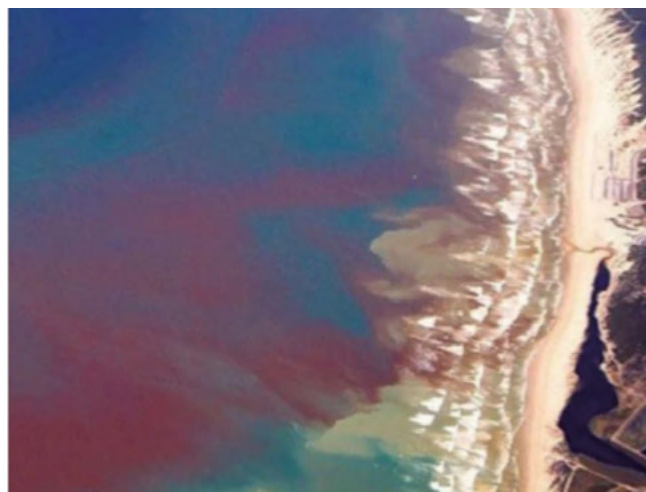
Parmi les milliers d'espèces phytoplanctoniques connues dans le monde, un petit nombre est à l'origine d'efflorescences d'algues nuisibles et/ou toxiques (ou Harmful algal bloom : HAB) lorsque leur prolifération excède quantitativement les pertes consécutives à la mortalité cellulaire ou que les conditions environnementales sont particulièrement favorables à leur croissance.

Ces HABs sont parfois responsables de phénomènes de « marées rouges », en raison de la coloration de l'eau que leur présence peut provoquer (cf. photo 1). Ces HABs apparaissent ponctuellement ou de façon récurrente dans certaines régions <sup>2</sup>. Leur caractère nuisible résulte de divers mécanismes : hypoxie locale de l'environnement par accumulation de biomasse, réduction de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau (limitant l'activité photosynthétique des autres espèces phytoplanctoniques), forme piquante des cellules pouvant entraîner des dommages mécaniques directs sur certains organismes (e.g. branchies des poissons) <sup>3</sup> ou encore production de composés toxiques libérés dans l'eau, dont les plus fréquemment retrouvés sont l'acide domoïque, les brevétoxines et ciguatoxines <sup>4,5</sup>. Ces phycotoxines peuvent être libérées dans l'eau, ou rester en position intracellulaire, gagnant alors le tractus digestif des organismes les ingérant. L'ensemble de ces mécanismes peut conduire à une mortalité importante chez une grande variété d'organismes marins.

Si la fréquence et l'intensité des efflorescences algales

semblent avoir augmenté au cours des dernières décennies <sup>6</sup>, leur impact est observé dans le golfe du Mexique depuis plusieurs siècles. La côte occidentale de la Floride subit ainsi des « marées rouges » annuellement, le plus souvent en été et au début de l'automne <sup>7,8</sup>.

L'espèce impliquée dans ces efflorescences, *Karenia brevis* (ex *Gymnodinium breve*) est un organisme unicellulaire appartenant au groupe des Dinoflagellés.



**Photo 1 :** Photo aérienne d'une marée rouge en Floride en 2018.  
**Crédit :** <https://www.wmbfnews.com/story/38954977/everything-you-need-to-know-about-the-florida-red-tide/>

## DYNAMIQUE DES POPULATIONS DE *Karenia brevis* ET ÉMERGENCE DES MARÉES ROUGES

La compréhension de la dynamique des populations de *Karenia* est très incomplète, car la majorité des études sont initiées en réponse à des marées rouges sévères ayant des conséquences visibles sur la faune <sup>9,10</sup>.

De plus, la composition spécifique des populations lors d'efflorescence est très variable : de nombreuses marées rouges sont en réalité le fruit de la prolifération de plusieurs espèces de *Karenia*.

Le développement d'une biomasse importante de ces espèces implique de nombreux facteurs biologiques et environnementaux.

## Caractéristiques déterminantes des Dinoflagellés

### ► Motilité

Si les dinoflagellés comptent parmi les algues dont la multiplication est la plus lente (temps de génération d'une durée supérieure à 24 heures), ce sont, en revanche, celles qui se déplacent le plus rapidement. Les Kareniaceae effectuent ainsi une migration verticale selon un cycle nyctéméral, s'accumulant en surface au cours de la photopériode.

De plus, *K. brevis* est capable d'évoluer dans l'eau interstitielle des sédiments où la concentration en nutriments inorganiques est plus élevée <sup>11</sup>. Ces organismes peuvent ainsi accéder à des zones riches en nutriments, non accessibles à la plupart des algues concurrentes <sup>12</sup>.

### Encadré 1 : Les types trophiques

La caractérisation du type trophique d'un organisme pour son métabolisme se fait :

- selon la nature de la source en carbone (autotrophe si l'origine du carbone est minérale, hétérotrophe si la source de carbone est organique) ;
  - selon la nature de la source d'électrons pour la réduction du carbone en molécules organiques (organique : organotrophie - minéral : lithotrophie) ;
  - selon la source d'énergie (lumière : phototrophie - chimique : chimiotrophie).
- Ainsi les animaux sont chimio-organo-hétérotrophes et les végétaux chlorophylliens sont photo-litho-autotrophes.

La mixotrophie est la capacité d'un organisme à utiliser les différentes sources de carbone selon son environnement, autotrophes ou hétérotrophes en fonction des conditions extérieures.

#### ► Utilisation des nutriments inorganiques (cf. Encadré 1)

Les Kareniaceae sont des organismes mixotrophes, possédant une grande flexibilité physiologique, recourant à la photosynthèse et à l'hétérotrophie en fonction des conditions du milieu (utilisation de composés organiques, ingestion d'autres micro-organismes). Or, les eaux côtières contiennent souvent bien plus de nutriments organiques qu'inorganiques. Cela pourrait constituer un élément favorisant pour le développement de *Karenia* au détriment des algues moins flexibles physiologiquement, exclusivement photo-autotrophes par exemple.

#### ► Allélopathie et production de brevétocoxines (cf. Encadré 2)

*K. brevis* produit divers composés allélochimiques qui nuisent au développement de la majorité des autres micro-organismes (algues, virus, prédateurs protozoaires)<sup>13</sup>. La plupart de ces composés organiques actifs n'a pas été vraiment caractérisée, à l'exception de la gymnodimine, qui agit comme un inhibiteur neuromusculaire chez plusieurs espèces de vertébrés et d'invertébrés<sup>14</sup>.

Les brevétocoxines (PbTx), autres composés allélochimiques produits par *K. brevis*, sont, quant à elles, des polyéthers neurotoxiques existant sous différentes formes structurales (cf. fig. 1). Ces toxines se fixent sur les canaux sodiques voltage-dépendants des cellules excitables, qui jouent un rôle majeur dans la physiologie neuronale. La liaison des PbTx aux canaux a plusieurs conséquences<sup>15</sup> : une modification du seuil d'activation vers un potentiel de membrane plus bas, une inhibition de l'inactivation des canaux et une augmentation de leur temps moyen d'ouverture.

### Facteurs physiques favorisant

La turbulence est à l'origine d'une dilution des cellules. Afin qu'une efflorescence débute et se maintienne, ce taux de dilution doit être inférieur au taux de croissance de *K. brevis*. Ainsi, les trois zones où le brassage des eaux est le plus faible dans le golfe du Mexique sont situées le long des côtes du Mexique, des états nord-américains du Texas et de la Floride, et correspondent aux zones d'efflorescences de *Karenia*<sup>16</sup>.

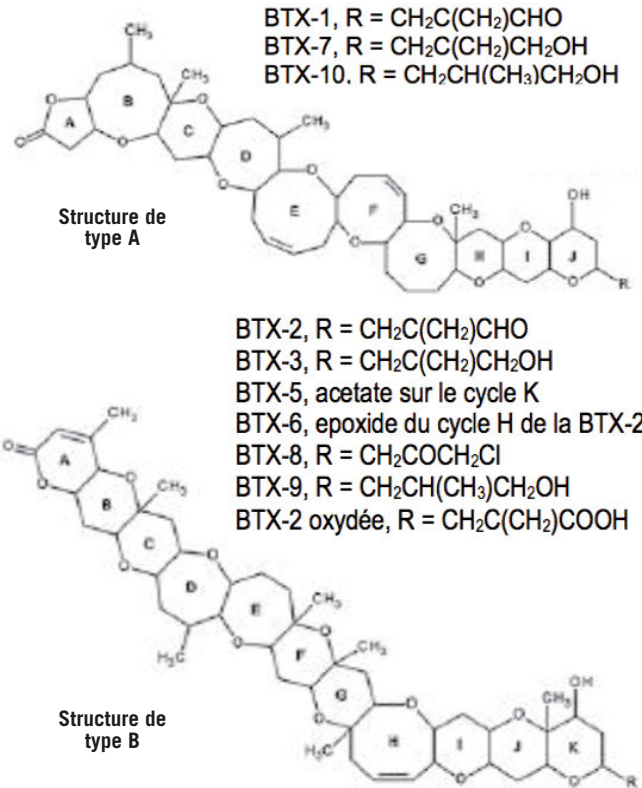
Dans quasiment tous les cas d'efflorescences rapportés, l'abondance des micro-algues augmente plus rapidement que ne le permet leur

### Encadré 2 : Qu'est-ce que l'allélopathie ?

L'allélopathie est la production par un organisme d'un ou de plusieurs composés biochimiques qui influencent la croissance, la reproduction et la survie d'autres organismes du même biotope.

- Dans un environnement aquatique : le potentiel est maximisé lorsque l'eau est soumise à peu de courants et que les organismes récepteurs sont proches des émetteurs.
- Il existe des effets synergiques avec des conditions environnementales restrictives (température, salinité, luminosité ...).

### Figure 1 : Structure chimique des différents types de brevétocoxines

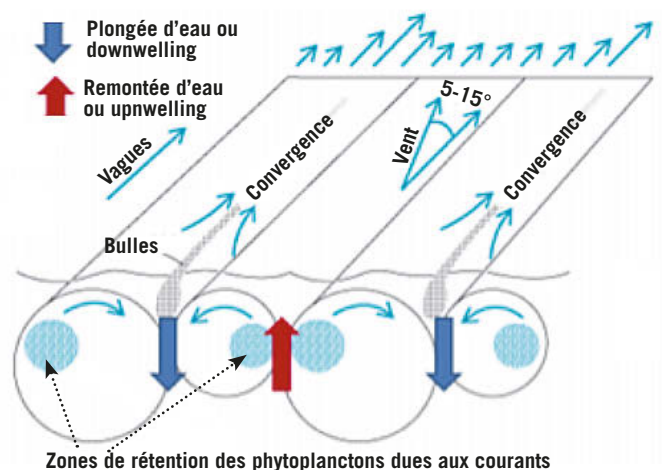


taux de croissance. Cela implique donc nécessairement un phénomène physique sous-jacent permettant une concentration des cellules.

Du fait de sa migration verticale circadienne, *K. brevis* tend à s'accumuler en surface durant la journée. Par ailleurs, les courants de circulation de Langmuir, série de tourbillons lents à la surface de l'océan (cf. fig. 2), peuvent aussi concentrer les cellules dans une zone réduite.

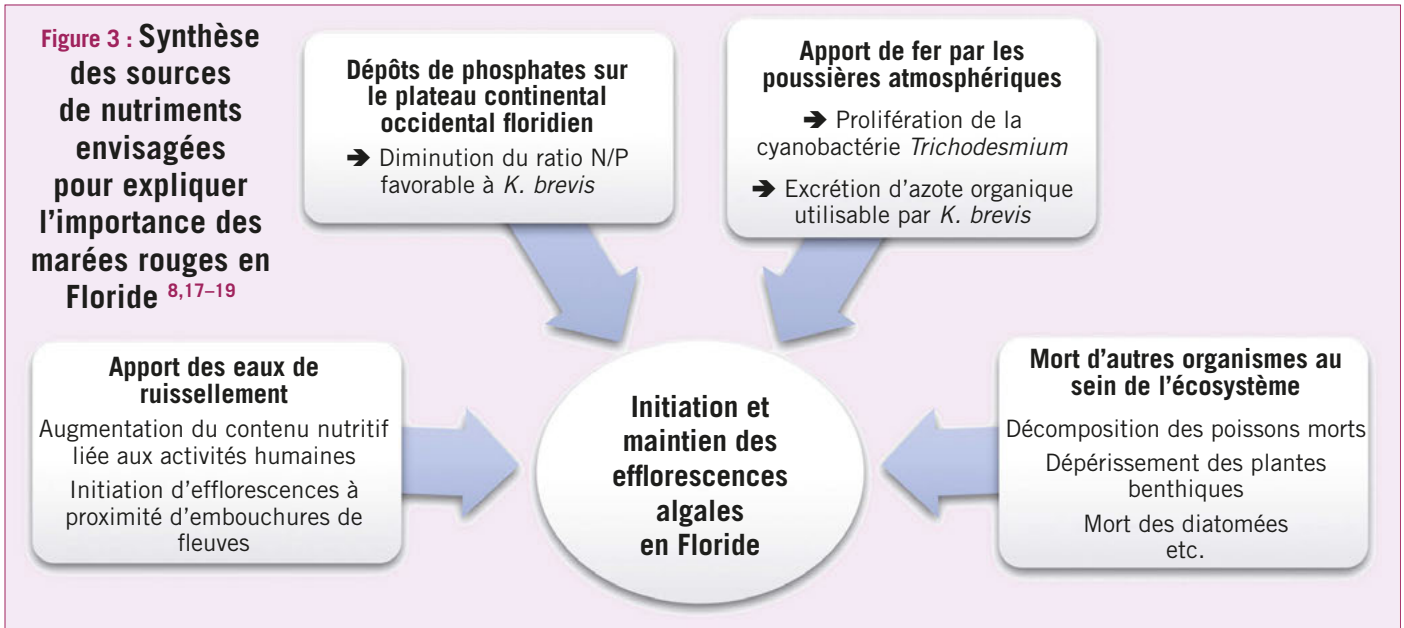
Les mouvements d'upwelling (remontée d'eau) et downwelling (plongée d'eau) associés peuvent, à long terme, concentrer les algues de façon bien plus significative et ainsi, accroître leur potentiel allélochimique.

### Figure 2 : Représentation schématique des courants de la circulation de Langmuir





**Figure 3 : Synthèse des sources de nutriments envisagées pour expliquer l'importance des marées rouges en Floride** <sup>8,17-19</sup>



### Cas particulier des marées rouges en Floride

En Floride, de nombreuses sources potentielles de nutriments ont été identifiées, mais on ignore si l'une d'entre elles est déterminante pour expliquer le développement initial et l'importance des marées rouges. L'ensemble de ces hypothèses est présenté dans la figure 3 (cf. fig. 3).

### CONSÉQUENCES DES MARÉES ROUGES SUR LES ORGANISMES MARINS

Depuis leur première description dans le golfe du Mexique en 1648 <sup>20</sup>, les « marées rouges » liées à *K. brevis* ont été incriminées dans la mortalité de centaines d'animaux de niveaux trophiques divers, tels des lamantins <sup>21-23</sup>, dauphins <sup>24-26</sup>, tortues marines <sup>27-29</sup>, poissons <sup>30-32</sup> et oiseaux marins <sup>2,33</sup>.

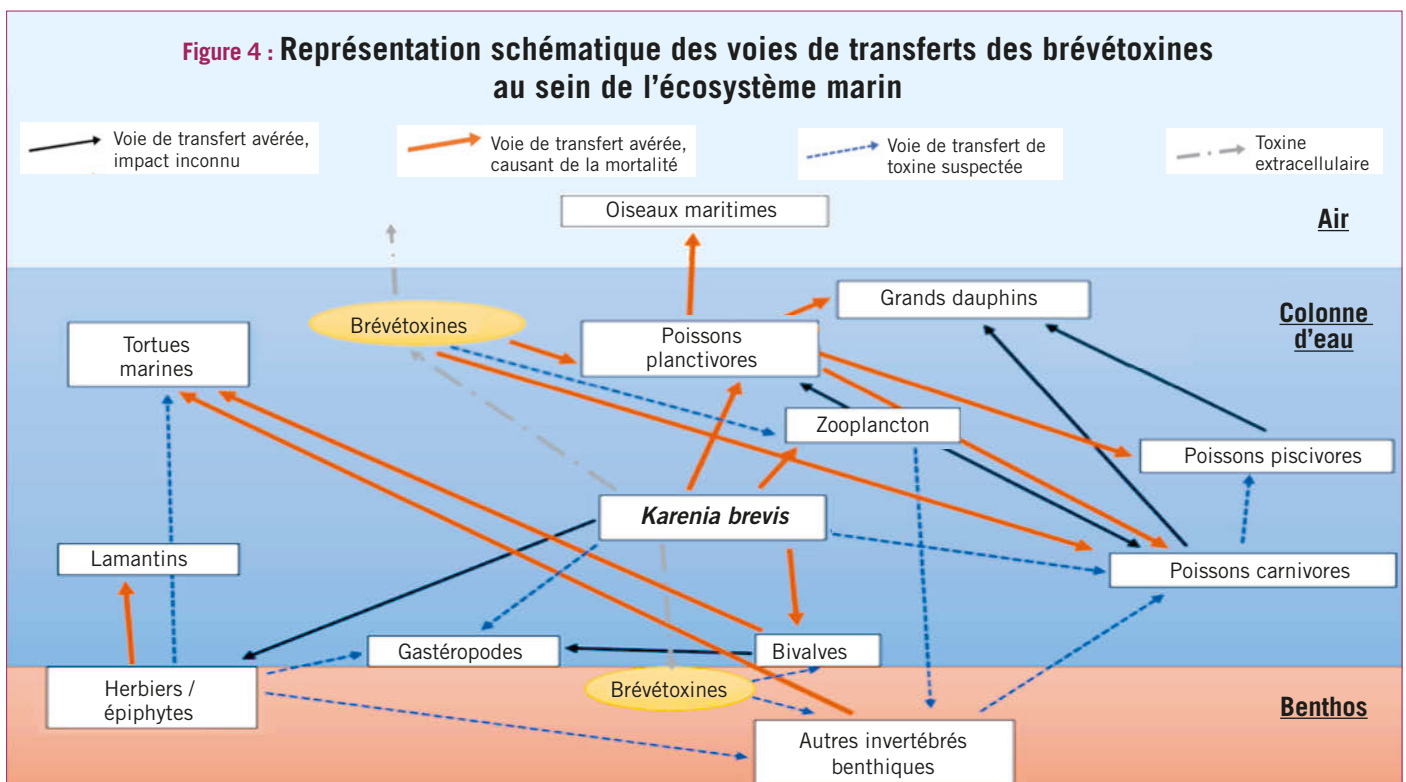
### Cheminement des toxines au sein de l'écosystème

La transmission des brévétoxines depuis les cellules de *K. brevis* jusqu'aux animaux et humains affectés est aujourd'hui assez bien comprise et correspond à une consommation directe ou indirecte (via transfert trophique) comme cela est résumé sur la figure 4 <sup>34</sup>.

#### ► Libération de toxines dissoutes «libres»

En présence de fortes conditions de turbulence, en surface comme le long du littoral, les cellules de *Karenia* sont lysées et libèrent directement les brévétoxines, particulièrement toxiques pour les poissons, dans le milieu marin. Une fraction des toxines libérées se concentre fortement dans la microcouche de surface de l'océan (premier millimètre de la colonne d'eau), qui est le lieu d'échanges importants entre l'océan et l'atmosphère. Les toxines peuvent alors former des aérosols <sup>35</sup>, qui sont transportées par le vent sur des dis-

**Figure 4 : Représentation schématique des voies de transferts des brévétoxines au sein de l'écosystème marin**



tances importantes et jusqu'à 1,6 km à l'intérieur des terres <sup>36</sup>. On comprend alors que des animaux, même non aquatiques, puissent développer des signes cliniques suite à l'inhalation des toxines.

#### ► Transmission au sein de la chaîne trophique et persistance des brevéttoxines dans l'écosystème

Une abondance très importante de *K. brevis* peut entraîner très rapidement des épisodes de mortalité massive de la faune marine. Dans ce contexte, les toxines gagnent le réseau trophique détritique et peuvent être retrouvées dans les sédiments <sup>37</sup>. En revanche, ces toxines n'ont pas un effet létal immédiat à faible concentration. Les cellules intactes de *K. brevis* peuvent être concentrées et ingérées par différents organismes filtreurs planctoniques, lesquels peuvent ensuite être consommés par certains poissons planctivores, rendant possible une transmission « vectorielle » des brevéttoxines. Par bioaccumulation (phénomène d'accumulation tissulaire), la toxicité associée à la brevéttoxine finit par concerner l'ensemble des composants de la chaîne alimentaire jusqu'à atteindre chez les prédateurs supérieurs des concentrations létales.

En conséquence, les marées rouges sévères peuvent avoir des effets immédiats (mortalité directe par exposition aux brevéttoxines) et différés (par le biais de la bioaccumulation) sur les organismes du milieu pélagique. Il en résulte un possible décalage spatial et temporel entre l'efflorescence observée et la mortalité animale occasionnée <sup>38</sup>.

L'impact des efflorescences de *K. brevis* ne se limite pas aux communautés pélagiques. Ainsi, de fortes concentrations en brevéttoxines ont été mises en évidence dans la fraction épiphytique des herbiers en Floride, ces composants benthiques constituant également un réservoir de toxines dans l'écosystème marin. Cette influence sur le compartiment benthique est particulièrement importante dès lors que les herbiers de phanérogames tout comme les macro-algues sont les ressources trophiques principales des lamantins <sup>38</sup>.

#### Effets des brevéttoxines sur la faune marine

Au cours des dernières années, plusieurs événements de mortalité chez des vertébrés ont fourni davantage de données épidémiologiques de terrain. Cela a permis de mettre en évidence des signes cliniques aigus (neurologiques, digestifs, respiratoires) et chro-

niques (stress oxydatif, altération du système immunitaire, troubles de la reproduction) chez les animaux exposés aux brevéttoxines. L'impact des marées rouges sur la faune maritime est majeur dès lors qu'elle représente 96 % de la mortalité rapportée chez les poissons depuis 1996. Les principales données cliniques et paracliniques connues sont résumées dans le [tableau 1](#) <sup>21-32</sup>.

## IMPACTS ÉCONOMIQUES ET SANTÉ PUBLIQUE

Les mollusques bivalves tels les moules (*Mercuraria* sp.), huitres creuses (*Crassostrea gigas*) et palourdes stockent de fortes concentrations de brevéttoxines dans leurs tissus adipeux suite à l'ingestion de *K. brevis*. Le métabolisme et l'élimination complète des toxines (processus de detoxification) peut durer de deux à huit semaines <sup>34</sup>. L'exposition de l'homme aux brevéttoxines résulte de l'ingestion de mollusques contaminés. Il en résulte une neurotoxicité (NSP : neurotoxic shellfish poisoning) qui se manifeste par des vertiges, des douleurs musculaires, une incoordination motrice et des signes gastro-intestinaux <sup>39</sup>. En conséquence, la pêche et la consommation de ces mollusques sont interdites en Floride dès lors que l'abondance en *K. brevis* dépasse 5000 cellules par litre. Des effets respiratoires sont également décrits suite à l'inhalation de toxines transportées dans l'air <sup>36,40</sup>.

On peut dès lors aisément imaginer l'impact de telles marées rouges sur les activités de pêche et de tourisme dans les zones affectées. La prolifération de *K. brevis* constitue aujourd'hui un enjeu majeur en Floride, sur les plans écologique, économique et de santé publique.

La présence de brevéttoxines n'a jusqu'à présent jamais été rapportée en France métropolitaine, et ne fait l'objet d'aucune réglementation en Europe. Elles sont produites par *Karenia brevis* et *K. papilionacea*. Cette dernière espèce est parfois présente sur certaines parties du littoral français, en particulier en Bretagne Ouest et Sud, à des concentrations faibles (moins de 1 000 cellules par litre) et en Méditerranée à des concentrations plus importantes, en particulier dans les étangs corses. Aucun effet nuisible relatif à ces toxines n'a été rapporté en France jusqu'à maintenant <sup>41</sup>.

**TABLEAU 1 : Effets des brevéttoxines sur la faune sauvage lors de marées rouges.**

| EFFETS DES BRÉVÉTOXINES SUR LA FAUNE SAUVAGE LORS DE MARÉES ROUGES  |   |
|---|---|
| <b>PRINCIPALES ESPÈCES AFFECTÉES</b>                                | <p><b>Mammifères marins</b> : lamantins des Caraïbes (<i>Trichechus manatus</i>), grands dauphins (<i>Tursiops truncatus</i>)</p> <p><b>Oiseaux marins</b> : cormorans à aigrettes (<i>Phalacrocorax auritus</i>), pélicans bruns (<i>Pelecanus occidentalis</i>) etc.</p> <p><b>Tortues</b> : caouannes (<i>Caretta caretta</i>), tortues de Kemp (<i>Lepidochelys kempii</i>), tortues vertes (<i>Chelonia mydas</i>)</p> <p><b>Poissons</b> : très grande diversité d'espèces endémiques, raies, requins</p> |
| <b>SIGNES CLINIQUES ET BIOLOGIQUES RAPPORTÉS</b>                    | <p><b>Neurologiques</b> : ataxie cérébelleuse, fasciculations musculaires, hypovigilance, marche/nage en cercle, convulsions, paralysie</p> <p><b>Digestifs</b> : diarrhée, méléna, régurgitations, amaigrissement</p> <p><b>Altération du système immunitaire</b> : prolifération lymphocytaire réduite, augmentation du stress oxydatif et de l'activité lysosomale</p> <p><b>Paramètres biologiques</b> : anémie, hypoprotéïnémie</p>  |
| <b>LÉSIONS MACROSCOPIQUES ET HISTOLOGIQUES</b>                      | <p><b>Mammifères marins</b> : congestion sévère des tissus naso-pharyngés, poumons, foie, reins, méninge. Hémosidérose multiorganique (84 %). leptoméningite multifocale du cervelet (48 %)</p> <p><b>Poissons</b> : splénomégalie, hémosidérose hépatique, cyanose, hyperviscosité sanguine</p> <p><b>Oiseaux</b> : aucune lésion mise en évidence</p>   |
| <b>MISE EN ÉVIDENCE DE BRÉVÉTOXINES (IMMUNO-HISTOCHEMIE, ELISA)</b> | <p><b>Concentrations maximales</b> : contenu digestif, foie, bile</p> <p><b>Toxine détectée dans</b> : sang, muscles, rate, reins, poumons, méninges</p>  |
| <b>VOIES D'EXPOSITION AUX TOXINES</b>                               | <b>Alimentaire, respiratoire, transplacentaire</b>  |