

Objet : **Contamination significative  
historique en milieu marin**  
**Expertise de l'Ifremer**

Madame Ségolène ROYAL  
Ministre de l'Ecologie, du  
Développement Durable et de  
l'Energie  
Hôtel de Roquelaure  
246, boulevard Saint-Germain  
75007 Paris

Issy-les-Moulineaux, le 26 janvier 2015

n/réf. : PDG/2015-014  
*Dossier suivi par Luc DREVES (ODE-LITTORAL)*

v/réf. : votre courrier du 10 octobre 2014

Madame la Ministre,

le président directeur général

Votre courrier du 10 octobre dernier sollicite l'expertise de l'Ifremer sur "*une contamination significative historique en milieu marin, en particulier par des métaux toxiques tels que le mercure et l'arsenic, dont une partie peut être liée au rejet de "boues rouges" en mer*" par la société Altéo.

institut français de Recherche  
pour l'Exploitation de la Mer

Etablissement public à caractère  
industriel et commercial

Je vous prie de trouver ci-après, annexée à mon courrier, l'expertise demandée. J'attire votre attention sur les conclusions précisant, tant pour le mercure que pour l'arsenic, leur très faible implication dans le processus de contamination de la chaîne trophique en milieu marin. Des suggestions pour de futurs suivis sont émises.

Siège social

155, rue Jean-Jacques Rousseau  
92138 Issy-les-Moulineaux Cedex  
France

R.C.S. Nanterre B 330 715 368

APE 731 Z

SIRET 330 715 368 00297

TVA FR 46 330 715 368

Votre courrier nous demandait également de communiquer à l'ANSES les éléments en notre possession afin de l'aider à répondre à votre demande d'expertise des risques sanitaires occasionnés par cette contamination chimique du milieu marin. Dans ce but, deux types d'actions principales ont été menées en complément de nombreux échanges téléphoniques et par messagerie :

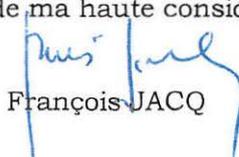
téléphone 33 (0)1 46 48 21 00

télécopie 33 (0)1 46 48 22 96

<http://www.ifremer.fr>

- Transmission de documents, données brutes ou traitées : résultats de mesures de contaminants chimiques dans l'eau pour la zone concernée (08/12/14) ; données halieutiques (09/12/14 et 19/12/14) ; données « échantillonneurs passifs » (11/12/14) ; données du programme RETROMED (07/01/15, de concert avec l'AERMC) ; expertise du modèle numérique de dispersion du rejet en mer (13/01/15)
- Participation, à la demande de l'ANSES, de deux de nos experts à une réunion organisée le 10 décembre 2014 à Marseille afin d'y rencontrer des représentants de la DREAL-PACA, de l'ARS, et de l'exploitant.

En souhaitant que ces éléments répondent à votre saisine, je vous prie d'agréer, Madame la Ministre, l'expression de ma haute considération.

  
François JACQ



**Objet : Expertise Ifremer sur la « Contamination significative historique en milieu marin en Méditerranée, en particulier par des métaux toxiques tels que le mercure et l'arsenic, dont une partie peut être liée au rejet de boues rouges en mer ».**

Isabelle AMOUROUX (coord.), Jean-Louis GONZALEZ, Joël KNOERY, Bruno ANDRAL, Jean-François CHIFFOLEAU, Christophe BRACH-PAPA, Didier CLAISSE, Thierry BURGEOT, Luc DREVES.

### **Contexte :**

Cette expertise est réalisée dans le cadre de la saisine, datée du 10 octobre 2014 auprès du PDG de l'Ifremer, de la Ministre de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, sur la demande de poursuite de rejet d'effluents industriels liquides en Méditerranée.

Cette note fait un point sur les niveaux de contamination de la Méditerranée occidentale, en particulier pour des métaux toxiques tels que le mercure ou l'arsenic, dont une partie peut être liée au rejet de boues rouges en mer provenant de l'usine Altéo.

Le plan proposé comprend trois points :

- 1. Le mercure : après une présentation de ses principales caractéristiques, un point sur le mercure en Méditerranée occidentale est fait en identifiant les sources d'apport, les niveaux de contamination dans les différents compartiments marins (colonne d'eau, sédiment, biote), et sa bioaccumulation au niveau de la chaîne trophique.
- 2. L'arsenic : le point est plus succinct, du fait de la toxicité moindre dans le milieu marin de ce métal, et de l'absence d'une surveillance réglementaire.
- 3. Recommandations

## **1. Le mercure**

### **1.1. Caractéristiques**

Le mercure (Hg) est reconnu par le programme des Nations-Unis pour l'Environnement comme un élément chimique toxique qui concerne l'environnement dans son ensemble, en raison de son transport à longue distance via l'atmosphère et de sa grande persistance dans l'environnement. Sa capacité à se bioaccumuler dans les écosystèmes en fait, de plus, un des éléments les plus dangereux pour la santé humaine, puisqu'il provoque des atteintes au système nerveux affectant principalement les fœtus et les enfants en bas âge. Le mercure est un hépto-, nephro, neuro-immunotoxique (Clarckson, 2006<sup>1</sup>).

La contamination par le mercure à l'échelle globale n'empêche pas des différences locales en raison de particularités géologiques, biologiques et anthropiques. Le bassin méditerranéen est considéré comme un environnement « sensible » depuis, qu'il y a trente ans, de fortes teneurs de ce métal ont été observées chez les poissons et des mammifères marins.

Le mercure est un élément existant naturellement dans la croûte terrestre, dont l'activité humaine a accru la présence dans l'environnement. Deux caractéristiques sont à souligner :

- d'une part sa volatilité, qui explique qu'il puisse être transporté en grandes quantités par l'atmosphère,
- d'autre part, le fait que sa toxicité soit liée aux composés méthylés (mono et diméthyl mercure) qui se forment naturellement sous certaines conditions environnementales.

Les sources naturelles globales sont le dégazage de l'écorce terrestre, les feux de végétation, le volcanisme et le lessivage des sols. Les sources anthropiques sont constituées par les processus de combustion (charbon, pétrole, ordures ménagères, etc.), la production de métaux non-ferreux et ferreux, l'activité des cimenteries, la fabrication de la soude et du chlore, ainsi que de l'orpaillage

---

<sup>1</sup> Clarckson et al., 2006.- The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Crit Review Toxicology*,36: 609-662.

artisanal. Depuis le début des années 2000, les sources anthropiques sont responsables de 50 à 75 % de l'ensemble des émissions et rejets de ce métal. D'après les résultats du modèle global sur le mercure GEOS-Chem, les activités anthropiques ont enrichi les concentrations en mercure des eaux de surface océaniques d'environ un facteur deux par rapport à l'époque pré-industrielle (Mason *et al.*, 2012<sup>2</sup>).

Une des caractéristiques du mercure en milieu marin est sa bioaccumulation dans les réseaux trophiques. Ce phénomène est à l'origine des teneurs beaucoup plus élevées ( $10^7$  fois) dans certains organismes marins que dans l'eau du milieu qui les abrite. Une autre caractéristique est sa distribution en différentes espèces chimiques que l'on peut classer suivant leur valence, suivant les radicaux organiques, suivant les contre-ions etc. En simplifiant à l'extrême, **le mercure élémentaire (Hg(0)), le mercure II (Hg<sup>2+</sup>) et les formes organiques du mercure sont celles qui sont préoccupantes pour le milieu marin et la salubrité des produits de la mer, et pertinentes pour cette étude.**

Au niveau sanitaire, le mercure est un contaminant pris en compte dans la réglementation européenne visant la protection de la santé des consommateurs (le niveau maximum admis par exemple pour la consommation humaine de coquillages est de 0,5 mg/kg, poids humide, soit approximativement 2,5 mg/kg, poids sec). Des recommandations sont également formulées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Agence américaine de protection de l'Environnement (EPA) en termes de seuil limite de consommation.

Au niveau environnemental, le mercure est l'un des quatre métaux prioritaires retenus au titre de la surveillance chimique de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) et une Norme de Qualité Environnementale (NQE) est définie dans le biote (Mercure et ses composés : 20 µg/kg de poids humide). Rappelons que la NQE est définie comme la «concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement ».

## **1.2. Le mercure en Méditerranée Nord occidentale**

### **1.2.1. Les sources**

La méditerranée Nord-occidentale reçoit du mercure d'origine naturelle et anthropique de différentes sources qui sont (Cossa, 2012<sup>3</sup>) :

- les eaux de surface atlantiques qui pénètrent à Gibraltar (le flux est difficile à estimer précisément mais serait de l'ordre de  $5 \text{ à } 18 \times 10^3 \text{ kg/an}$ ) ;
- les eaux intermédiaires du bassin méditerranéen oriental qui pénètrent au détroit de Sicile ;
- le dépôt atmosphérique sec et humide (flux estimé, apport brut :  $20 \times 10^3 \text{ kg/an}$ ) ;
- les fleuves (essentiellement le Rhône).

S'ajoutent à cela les apports sous-marins par les infiltrations d'eaux continentales et les rejets directs en mer (eaux de stations d'épuration, effluents industriels, ...)

A l'échelle de la Méditerranée occidentale, l'atmosphère constitue une source d'apport majeur de mercure, et domine l'apport de mercure du Rhône d'un facteur quatre environ.

Les apports en mercure naturel et anthropiques par les fleuves du Golfe du Lion sont essentiellement associés à la matière en suspension, en particulier avec la matière organique particulaire. Les apports particuliers du Rhône en constituent plus de 80 %.

Une fois sédimentée, le Hg particulaire est néanmoins susceptible de se retrouver dans la colonne d'eau par solubilisation (liée à la dissolution de la matière organique particulaire). Néanmoins, les

---

<sup>2</sup> Mason *et al.*, 2012. Mercury biogeochemical cycling in the ocean and policy implications. Environ. Res. 119 : 101 – 117.  
Doi: 10.1016/j.envres.2012.03.013

<sup>3</sup> Cossa, 2012 : Le mercure en Méditerranée Nord occidentale. Ifremer, RST/ODE/LER-PAC/12-03. Convention AERMIC/Ifremer n°2010-035. 97p.

études de la colonne sédimentaire et les modèles diagénétiques indiquent que, dans la plupart des cas, plus de 90 % du mercure reste associé aux particules.

Les concentrations en mercure des particules apportées par le Rhône au Golfe du Lion ont diminué d'environ un facteur 2 sur les 15 dernières années. **Malgré une diminution des concentrations en mercure des « boues rouges » rejetées ces dernières années, ce rejet industriel représente le second apport de mercure particulaire au Golfe du Lion (le Rhône en représente plus de 80 %).**

### 1.2.2. Les niveaux de contamination

Les niveaux de concentration en mercure total dans la **colonne d'eau** de Méditerranée Nord occidentale ne présentent aucun signe qui les distingue du reste des eaux océaniques. Les eaux méditerranéennes semblent contaminées par le mercure avec la même amplitude que le reste des océans. Cependant, les modèles prédisent que l'anthropisation aurait fait augmenter les concentrations en eaux de surface de la Méditerranée d'un facteur 1,65 par rapport à l'époque pré-industrielle, alors que ce facteur ne serait que de 1,25 pour le reste de l'océan mondial. Toutefois, les récents profils de mercure dans l'eau suggèrent qu'une diminution des concentrations en Hg de la colonne d'eau se soit produite au cours des 15 dernières années. **Les eaux côtières du Golfe du Lion ne présentent pas des concentrations en mercure total dissous significativement plus élevées que celles du large où les teneurs en matière en suspension sont faibles.**

La distribution du méthylmercure aux marges du Golfe du Lion est semblable à celle observée plus au large dans la gyre Nord.

**Les sédiments actuels du Golfe du Lion sont systématiquement contaminés par le mercure avec des enrichissements de l'ordre de 4 par rapport à la référence pré-industrielle. Cet enrichissement peut dépasser un facteur 100 dans certaines zones portuaires, telles que celles de Marseille, Nice et tout particulièrement celle de la Rade de Toulon où la contamination est, dans l'état actuel des connaissances, la plus élevée du littoral français.**

Les données de géochronologie convergent : l'examen des carottes sédimentaires du prodelta du Rhône, des canyons et des lagunes, indique que la période de contamination maximale en mercure s'est produite à la fin des années 60. Depuis, les concentrations ont été divisées approximativement par un facteur 4.

**Le canyon de la Cassidaigne qui reçoit des effluents industriels solides depuis 1966 présente des concentrations en mercure total (HgT) dans les dépôts ferrugineux « boues rouges » qui varient de 0,06 à 0,24 mg/kg, soit 2 à 8 fois la valeur de référence géologique.**

L'examen d'une carotte sédimentaire au milieu du Canyon indique que le changement de minéral et /ou de procédé industriel a permis une diminution des concentrations en mercure dans les particules rejetées. **En raison des tonnages déversés, l'effluent industriel de Cassidaigne représente, après le Rhône, le second apport unitaire de mercure particulaire au Golfe du Lion (Cossa, 2012).**

Les programmes RNO (Réseau National d'Observation) puis ROCCH (Réseau d'Observation de la Contamination Chimique) et RINBIO (Réseau Intégrateurs Biologiques), mis en œuvre par l'Ifremer, utilisent les **indicateurs biologiques quantitatifs** pour suivre géographiquement et temporellement l'évolution de la contamination chimique le long du littoral méditerranéen. Dans la pratique, c'est un mollusque filtreur, du genre *Mytilus*, qui est utilisé soit comme indicateur dit « passif » par la récolte de moules sauvages dans la zone des battures (Claisse, 1989<sup>4</sup>), soit comme indicateur dit « actif » par transplantation en mer ouverte de moules issues d'un même élevage (Andral *et al.*, 2004<sup>5</sup> ; 2010<sup>6</sup>).

---

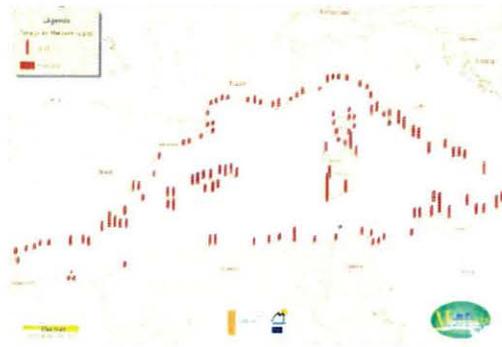
<sup>4</sup> Claisse D., 1989. Chemical contamination of French coast: the result of a ten year mussel watch. *Mar. Pollut. Bull.*, 20: 523-528.

<sup>5</sup> Andral B., *et al.*, 2004. Monitoring chemical contamination levels in the Mediterranean based on the use of mussel caging. *Mar. Pollut. Bull.*, 49:704-712.

<sup>6</sup> Andral B., *et al.*, 2010. Chemical contamination Baseline in the western basin of the Mediterranean Sea based on transplanted mussels. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, doi 10.1007/s00244-010-9599-x.

**Dossier ALTEO & rejet de "boues rouges" en mer :  
Expertise Ifremer sur la "contamination significative historique en milieu marin,  
en particulier par des métaux toxiques tels que le mercure et l'arsenic".**

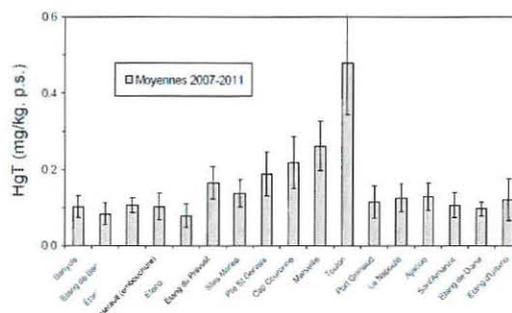
Menée à l'échelle de la côte méditerranéenne occidentale, le projet MYTILOS (Andral *et al.*, 2010) permet d'avoir une image globale de la contamination mercurielle des eaux de la Méditerranée occidentale, par acquisition de données sur des bivalves (moules *Mytilus galloprovincialis*) immergées (Fig. 1).



**Figure 1 : Concentrations en mercure de moules transplantées pendant 3 – 4 mois (Projet Mytilos)**

Dans la zone littorale, la moyenne des concentrations en mercure total des moules se situe dans la même gamme de concentrations que celles d'autres régions océaniques ; **l'empreinte mercurielle de la Méditerranée occidentale ne se distingue pas de celle de l'Atlantique.**

Les données du ROCCH en Méditerranée sont présentées figure 2 pour les moyennes 2007-2011. La médiane nationale évolue peu sur les 30 ans de suivi et se situe en février 2014 à 0,15 mg/kg poids sec pour les moules et 0,19 mg/kg poids sec pour les huîtres. Les contaminations les plus importantes sont localisées dans la baie du Lazaret en rade de Toulon (4,2 fois la médiane nationale), dans le Pays de Caux, et en Rade de Marseille (x 2,03 à 2,4). Partout ailleurs, les rapports à la médiane nationale sont compris entre 0,4 et 1,7. A noter qu'au niveau international, le littoral français ne présente pas de problème majeur en ce qui concerne le mercure (Amouroux *et al.*, 2013<sup>7</sup>). Les résultats ROCCH acquis sur la période 1979-2010 sur les points de suivi Méditerranéen, permettent d'observer une tendance à la diminution des concentrations en mercure total, sensible partout depuis le début des années 2000, sauf en Rade de Toulon. **A noter que le ROCCH ne dispose pas de point de suivi à proximité du rejet dans le canyon de la Cassidaigne.**



**Figure 2 : Concentrations en mercure dans des moules sauvages du littoral des régions PACA et Corse (données ROCCH)**

Les données de surveillance du RINBIO sont présentées figure 3. Parmi les résultats des 96 points de suivi en mer et 22 points de suivi en lagunes, figurent deux points situés à Cassidaigne. **Les résultats ne mettent pas en évidence de contamination particulière sur ces deux points par rapport au niveau moyen de contamination rencontré sur la façade maritime.**

Située à proximité du rejet de l'effluent industriel de Cassidaigne, une expérimentation visant à étudier la faisabilité d'immerger des bivalves (cagging de moules) en eau profonde a été réalisée en 2004 et a permis d'acquérir via la mesure dans les bivalves des informations sur la contamination de la colonne

<sup>7</sup> Amouroux I., C. Belin, D. Claisse, A. Daniel, E. Fleury, C. Galland-Henaff, P. Le Mao, L. Miossec, 2013. Qualité du Milieu Marin Littoral. Synthèse nationale de la surveillance 2012. Ifremer, ODE/DYNECO/VIGIES/13.13, 80 p.

d'eau en chrome, nickel et mercure (Galgani, *et al.*,<sup>8</sup>2005). Bien que les données de concentration mesurées dans les moules ne puissent être comparées à celles acquises dans les programmes de surveillance réglementaires du fait d'un protocole très différent (temps d'immersion, profondeur), elles permettent de montrer qu'à la profondeur du rejet les niveaux en mercure et nickel sont peu différents de celui des niveaux de référence de l'expérience alors que les niveaux de chrome explosent (multipliés par plus de 100) après une exposition de seulement deux mois.

La quasi-totalité des sites présentent des tendances à la décontamination depuis 15 ans. Il faut toutefois distinguer la frange littorale (de quelques kilomètres de large et incluant les lagunes) de la zone du large. La première, directement soumise à l'influence des fleuves côtiers, des agglomérations et des interactions avec les sédiments, dispose en plus d'un stock de mercure anthropique important du fait de son stockage sédimentaire, et l'autre qui est dominée par les apports (atmosphériques) diffus. Les sites littoraux qui ont accumulé le plus de mercure anthropique, ne correspondent pas systématiquement aux sites où les concentrations en méthylmercure (forme la plus bioaccumulable) sont les plus importantes. Les conditions du milieu qui favorisent la méthylation sont rencontrées en Méditerranée à proximité des zones de transition oxic/anoxique (sédiments), et dans les zones de minimum d'oxygène (colonne d'eau). Dans les zones oligotrophes (milieu pauvre en éléments nutritifs) recyclant plus la matière organique, la bioaccumulation des formes méthylées du mercure y est proportionnellement plus importante que dans les zones plus eutrophes (ici, littorales voire lagunaires). Ainsi les écosystèmes du large sont soumis à des expositions au mercure qui peuvent être plus importantes que celles auxquelles sont soumis les écosystèmes littoraux.

### **1.3. Bioaccumulation dans la chaîne trophique**

L'impact majeur du mercure en milieu marin concerne les prédateurs (incluant les consommateurs humains) via les chaînes trophiques et se fait via le méthylmercure. **C'est le méthylmercure qui est bioaccumulé et bioamplifié dans les réseaux trophiques marins**, et non le mercure inorganique. Il est maintenant évident qu'un facteur de bioconcentration du méthylmercure supérieur à  $10^7$  existe de l'élément liquide au haut de la chaîne trophique : en effet, le méthylmercure de la colonne d'eau est compris entre 10 et 40% du mercure total.

L'importance des facteurs biologiques (qui interviennent dans la méthylation du mercure, et la bioaccumulation) est fondamentale dans l'évaluation du risque que représente le mercure en milieu marin.

#### **1.3.1. Niveau de contamination dans la chair de poisson**

L'étude des chaînes alimentaires du merlu a montré que les poissons vivants le long du littoral méditerranéen étaient moins riches en mercure que ceux vivants au large, pour des niveaux trophiques équivalents.

D'autre part, l'étude du merlu et de sa chaîne trophique a permis de confirmer qu'à âge égal, la moyenne de concentration en Hg du tissu musculaire de ce poisson carnivore est 1,6 fois plus élevée chez les merlus du Golfe de Lion que chez ceux du Golfe de Gascogne. Ceci s'explique en partie par la différence de croissance du merlu et de ses proies entre les deux milieux, et par le fait que la biodisponibilité du mercure semble plus élevée dans l'habitat du merlu du Golfe de Lion que dans celui du Golfe de Gascogne.

---

<sup>8</sup> Galgani *et al.*, 2005. Deep-sea caging of the mussel *Mytilus galloprovincialis*: Potential application in ecotoxicological studies. *Chemistry And Ecology*, 21(2), 133-141.



Chez la sole, dont le réseau trophique est inféodé aux sédiments, les teneurs en mercure total sont plus élevées dans le secteur littoral de Marseille qu'ailleurs dans le Golfe.

Ce phénomène est amplifié pour des raisons trophiques chez les top prédateurs, en particulier ceux dont la durée de vie est longue et permet ainsi une bioaccumulation prolongée qui peut finir par les rendre impropres à la consommation humaine. Ainsi les requins, raies, thons et dauphins présentent des concentrations en mercure dans leurs tissus musculaires pouvant atteindre des niveaux particulièrement élevés, variant de 70 à 95% par exemple pour le requin paliona commun (données du projet européen ADIOS visant l'Evaluation des niveaux de pollution dans la mer Méditerranée).

#### **1.4. Conclusion**

Sur la base de la synthèse réalisé par Daniel Cossa (Cossa, 2012), des données issues des différentes études, réseau d'observation (ROCCH et RINBIO) et programmes de recherche menés en méditerranée occidentale, plusieurs éléments peuvent être soulignés quant aux niveaux de contaminations du mercure et leur évolutions.

Les eaux méditerranéennes semblent contaminées par le mercure avec la même amplitude que le reste des océans. D'après les résultats des modèles, l'anthropisation aurait fait augmenter les concentrations des eaux de surface par rapport à l'époque pré-industrielle d'un facteur 1,65 pour la Méditerranée, contre 1,25 pour le reste de l'océan mondial. Les récents profils de mercure dans l'eau suggèrent une diminution des concentrations de mercure de la colonne d'eau de Méditerranée occidentale au cours des 15 dernières années. Les eaux côtières du Golfe du Lion ne présentent pas des concentrations en mercure total dissous significativement plus élevées que celles du large où les teneurs en matière en suspension sont faibles.

Les sédiments sont quant à eux systématiquement contaminés par le mercure avec des enrichissements de l'ordre de 4 par rapport à la référence pré-industrielle mais qui peuvent aller jusqu'à un facteur 100 dans certaines zones portuaires.

Dans la zone littorale, la moyenne des concentrations en mercure total des moules se situe dans la même gamme de concentration que celle d'autres régions océaniques. Néanmoins certaines zones se distinguent par des imprégnations mercurielles plus fortes (Fos, Marseille, Toulon). Une tendance à la diminution de ces concentrations est observée depuis le début des années 2000 (exception faite de la rade de Toulon).

Ce qui est particulièrement notable en Méditerranée s'observe au niveau de la bioaccumulation. Il faut noter, en effet, que les concentrations en mercure dans le muscle du merlu sont, à âge égal, 1,6 fois plus élevées que celles des merlus du Golfe de Gascogne.

Il faut également souligner que les mesures environnementales du mercure sont difficiles à mettre en œuvre et ne sont maîtrisées que depuis une trentaine d'années environ. Il est impossible par mesure directe sur des échantillons d'air, d'eau ou de biote de comparer les périodes historiques et actuelles. Seules les carottes sédimentaires peuvent permettre d'accéder au niveau de contamination historique. Néanmoins les carottes sédimentaires sont « bruitées » par les mélanges sédimentaires et la diagenèse. Leur interprétation est complexe.

Sur la base des données disponibles, le rejet de l'effluent en milieu marin participe à l'apport de mercure au milieu. Selon toute vraisemblance, le mercure rejeté est inorganique. Si cela est exact, il n'apparaît pas à ce stade comme *directement* impliqué dans le processus de contamination de la chaîne trophique. En effet, c'est le mercure organique (méthylé) qui est bioaccumulé dans la chaîne trophique. Toutefois, les effluents participent indirectement à la contamination de la chaîne trophique en proportion de leurs apports de mercure inorganique dans la zone de rejet, puisque ce mercure est le *précurseur* du mercure organique.

Reste à souligner que peu de données de mesure de contaminants sont disponibles sur la zone de rejet d'Altéo, aussi nous recommandons l'acquisition de connaissances ou données complémentaires.

## 2. L'arsenic

L'arsenic est un métalloïde naturellement présent dans les sols à l'état de traces (concentration moyenne de 2 mg/kg, pouvant atteindre 200 mg/kg dans certains endroits). Il est associé sous forme de sulfures à de nombreux minerais (fer, cuivre, plomb, zinc, ...) dont l'extraction, le transport et le traitement métallurgique contribuent à sa dissémination dans le milieu environnant. L'arsenic se retrouve dans des alliages, des produits de traitement du bois, des semi-conducteurs, des pigments, ou encore des pesticides. Sa production mondiale a culminé à 30 000 t/an au milieu des années 80, et diminue depuis (Lachambre, 2007<sup>9</sup>). C'est un sous-produit peu valorisable que l'on retrouve dans les rejets liquides ou solides et dans les émissions atmosphériques.

L'arsenic est naturellement présent :

- dans le corps humain, à raison de 0,005 à 0,15 mg/kg, les concentrations les plus élevées étant retrouvées dans les cheveux et les ongles.
- dans le milieu marin à des concentrations 100 à 1000 fois supérieures à celles du cadmium ou du mercure. Il y est assimilé par le phytoplancton et toute la chaîne trophique. **Les espèces marines accumulent l'arsenic jusqu'à des niveaux très importants, parfois supérieurs à 100 mg/kg. Mais, fort heureusement, les formes organiques de l'arsenic qui prédominent dans ces organismes ne présentent pas de toxicité pour l'homme en fin de cycle alimentaire. Sa toxicité dépend surtout de la forme chimique sous laquelle celui-ci se présente.**

En milieu marin, la toxicité pour l'homme consommateur de produits marins n'est pas démontrée. En effet, seules les formes inorganiques de l'arsenic sont toxiques, or ces formes sont peu abondantes dans les algues, mollusques, crustacés et poissons qui entrent dans l'alimentation humaine. **L'arsénobétaïne, qui constitue près de 99% de l'arsenic présent chez les poissons, n'est pas toxique. Il en est de même pour les arsénosucres qui entrent dans la composition des algues et des mollusques. L'excrétion rapide, par voie urinaire, de l'arsenic chez les consommateurs de produits marins a été démontrée (46 à 63 % éliminés dans les 4 à 5 jours, 30 % après une semaine).**

Le phytoplancton métabolise l'arsenic d'autant plus facilement que le milieu est oligotrophe (pauvre en éléments nutritifs) avec un déficit en phosphate. **L'introduction de l'arsenic dans le métabolisme des microalgues se traduit alors par des effets toxiques à des concentrations relativement faibles.**

Les effets directs sur le zooplancton sont considérés comme négligeables pour des concentrations en arsénates inférieures à 100 mg/kg. Toutefois (Sanders, 1986<sup>10</sup>), **les effets indirects liés aux modifications spécifiques du phytoplancton ne peuvent être négligés.** La capacité alimentaire, le taux de survie et la capacité de reproduction du zooplancton s'en trouvent affectés.

Pour les poissons, la sensibilité à l'arsenic semble beaucoup moins critique. Des effets négatifs au niveau de 300 mg/kg ont été notés chez les juvéniles de saumon.

**La toxicité de l'arsenic, liée à sa forme chimique, entraîne des effets sur la production primaire.**

A noter toutefois, qu'une Valeur Guide Environnementale est en cours de validation au niveau de l'Ineris et devrait paraître en 2015.

---

<sup>9</sup> Lachambre M., Fisson C, 2007.- La contamination chimique : quel risque en estuaire de Seine ? in Groupement d'intérêt public Seine-Aval, octobre 2007, 10 p.

<sup>10</sup> Sanders J.G., 1986.- Direct and indirect effects of arsenic on the survival and fecundity of estuarine zooplankton. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 43 : 694-699

## 2.1. Niveau de contamination en Méditerranée

La teneur en arsenic total dissous dans les eaux océaniques semble peu variable, en particulier lorsqu'on est au-dessous de la couche euphotique. Elle se situe le plus souvent entre 0,5 et 2 mg/kg. En méditerranée occidentale, Seyler et Martin (1990)<sup>11</sup> en mesurent de 1,29 à 1,44 mg/kg. Pour les eaux estuariennes et côtières, les variations enregistrées sont beaucoup plus importantes ; elles sont en relation avec la variabilité des apports, mais aussi de l'activité phytoplanctonique saisonnière.

Dans les **sédiments marins**, la teneur habituelle varie entre 5 et 20 mg/kg. Des teneurs beaucoup plus élevées peuvent être rencontrées dans certaines zones estuariennes ou côtières soumises à des apports. La teneur en arsenic dans les sédiments dépend très largement de leur nature et de leur granulométrie.

Les rapports As/Fe en Méditerranée sont tout à fait comparables à ceux de l'Atlantique Nord lorsque l'on distingue les sédiments côtiers et les sédiments profonds (Neal *et al.*, 1979)<sup>12</sup>.

**L'arsenic n'étant pas considéré comme une substance particulièrement toxique, celle-ci ne fait pas l'objet de surveillance au niveau national (ROCCH).** Néanmoins des données ont été acquises en 1988 sur 84 points de suivi du littoral français à une fréquence trimestrielle. Globalement les teneurs en arsenic des mollusques du littoral français sont comparables aux données provenant d'autres pays (Australie, Japon, Groenland, Etats-Unis). Au plan national, il est à noter que la moule a des teneurs généralement plus fortes en Méditerranée que sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique.

Toutefois, il faut souligner que ces données doivent être prises avec précaution, l'analyse des moules du littoral représente très mal l'état des teneurs en arsenic total dans le milieu marin. En effet, l'arsenic est présent dans le milieu sous de nombreuses formes organiques ou inorganiques en relation avec l'activité biologique de ce milieu. Plus d'une quinzaine d'entre elles sont d'ores et déjà identifiées (Claisse, 1994<sup>13</sup>).

Des données sont néanmoins disponibles, acquises via le RINBIO, à fréquence triennale depuis 2000 sur 96 points de suivi mer et 22 points de suivi lagunaires. Les résultats acquis en 2012, sont assez homogènes à l'échelle de la méditerranée occidentale de l'ordre de 21 mg/kg et sont relativement stables par rapport aux campagnes de mesure précédentes (Sargian, 2012<sup>14</sup>). Des disparités locales sont identifiées, néanmoins les résultats aux points de suivi situés à proximité du rejet de l'effluent d'Altéo dans le canyon de la Cassidaigne se situent dans cette moyenne (Figure 4).

## 2.2. Conclusion

L'Ifremer ne dispose que de très peu de données sur l'arsenic dans le milieu marin, et n'a pas de programme de recherche sur cette thématique. Cela est vraisemblablement imputable au fait que cette substance n'est pas identifiée comme problématique par les experts de biogéochimie des contaminants métalliques, d'écotoxicologie et de la surveillance environnementale et sanitaire.

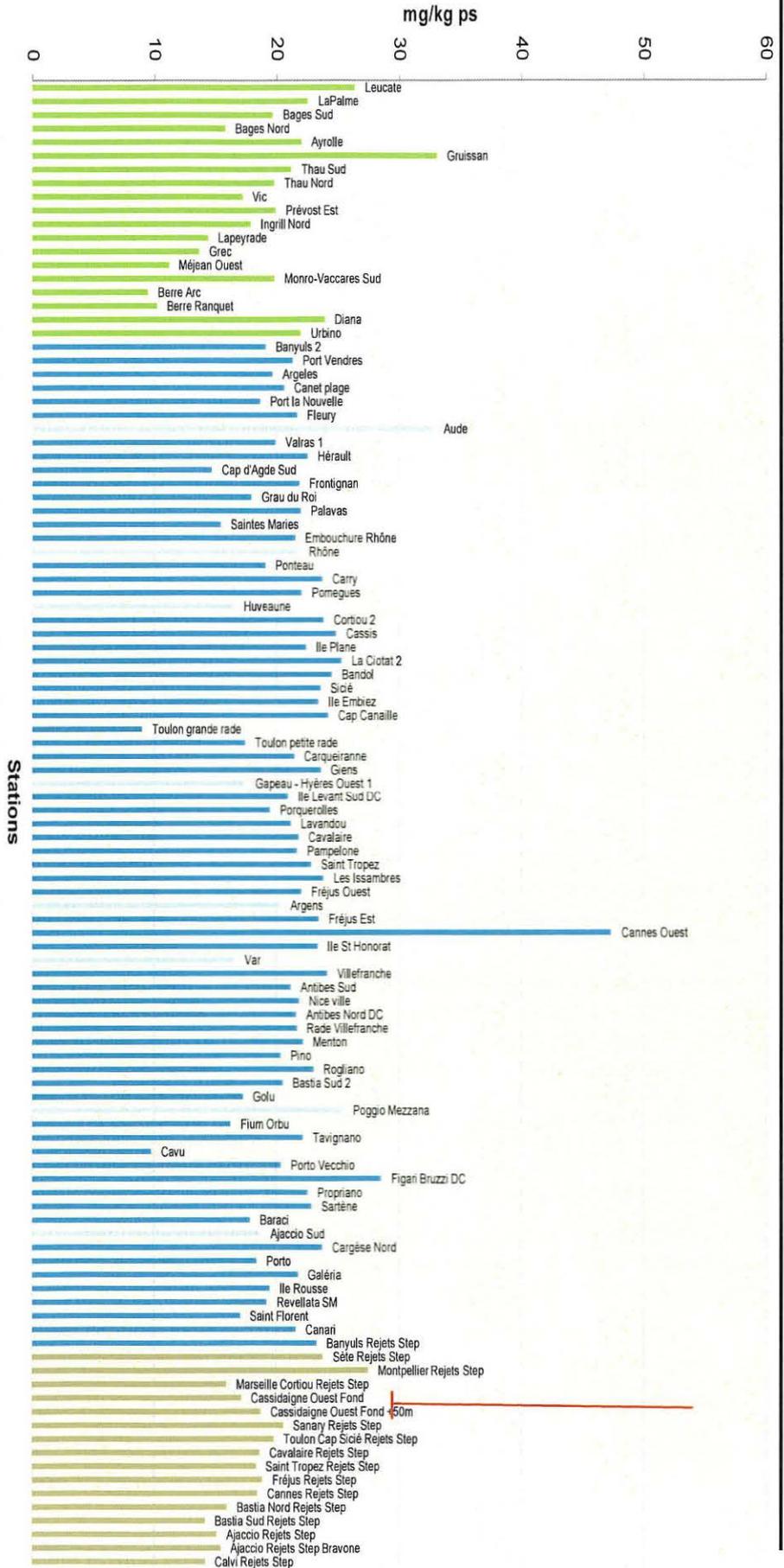
---

<sup>11</sup> Seyler et al, 1990. Distribution of arsenite and total dissolved arsenic in major French estuaries: dependance on biogeochemical processes and anthropogenic inputs. *Mar. Chem.*, 29 : 277-294.

<sup>12</sup> Neal et al, 1979. Arsenic in sediments of the north Atlantic ocean and the eastern Mediterranean sea. *Mar. Chem.* 7:207-219.

<sup>13</sup> Claisse D. 1994. Surveillance du milieu marin. Travaux du Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin. Edition 1994. Ifremer, 35p.

<sup>14</sup> Sargian Peggy, Andral Bruno (2013). RINBIO 2012 - Evaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2012. Ifremer, RST.ODE/UL/LER-PAC/13-25, décembre 2013, 92 p.



**Figure 4 : Réseau RINBIO – Méditerranée Occidentale – Campagne 2012. Concentrations ajustées en Arsenic. Les points de suivi proches du rejet de l'effluent sont repérés par une flèche rouge : « Cassidaigne Ouest fond » et « Cassidaigne Ouest fond + 50 m »**

### **3. Recommandations**

Sur la base des données disponibles, le rejet d'effluents en milieu marin participe à l'apport au milieu de contaminants, mais n'apparaît pas à ce stade comme majeur dans le processus de contamination de la chaîne trophique concernant le mercure.

Afin de pouvoir disposer d'éléments toutefois plus précis sur ce qui est rejeté, et sur ce qui sera rejeté, dans le canyon de la Cassidaigne, les recommandations ou suggestions de l'Ifremer portent :

- Sur la réalisation d'un suivi sur le mercure, non seulement total mais également si possible méthylé, au niveau tant des sédiments que des moules (cagging), permettant ainsi de préciser les niveaux de contamination et de suivre leur évolution dans le temps ;
- Sur la réalisation d'un suivi plus large que les seuls mercure et arsenic. D'autres métaux, composés des résidus de bauxite (chrome, titane, par exemple) et susceptibles de poser problème, mériteraient un tel suivi (Fontanier *et al.*, 2012<sup>15</sup>) ;
- Sur la mise en place d'un programme de suivi (surveillance chimique et biologique) de la zone concernée par l'impact du rejet, cela permettrait de pouvoir disposer de données d'exposition nécessaires à une analyse de risque chimique ;
- Sur les interrogations à se poser sur le devenir à moyen et long terme des dépôts existants et de leur environnement marin immédiat suite à l'arrêt du rejet de matières solides : conditions de remobilisation des contaminants piégés (hydrodynamique, diagenèse précoce), recolonisation des substrats durs et meubles par les organismes biologiques. Cette action devrait permettre de faire la part, sur la situation à venir, de la nouvelle forme de rejet par rapport à la situation existante ;
- Sur la mise en place d'un contrôle en continu au niveau du rejet (sonde pour l'acquisition de différents paramètres).

---

<sup>15</sup> Fontanier *et al.*, 2012 : Deep-sea foraminifera from the Cassidaigne Canyon (NW Mediterranean) : Assessing the environmental impact of bauxite red mud disposal. *Mar. Pollut. Bull.*, 64: 1898-1910

#### **4. Documents de référence utilisés**

Pour le **MERCURE** : le présent document reprend essentiellement les éléments du document de synthèse réalisé par Daniel Cossa en 2012.

- Amouroux I., C. Belin, D. Claisse, A. Daniel, E. Fleury, C. Galland-Henaff, P. Le Mao, L. Miossec, 2013. Qualité du Milieu Marin Littoral. Synthèse nationale de la surveillance 2012. Ifremer, ODE/DYNECO/VIGIES/13.13, 80 p.
- Andral, B., F. Galgani, C. Tomasino, C. Blottiere, A. Scarpato, J. Benedicto, S. Deudero, M. Calvo, A. Cento, S. Benbrahim, M. Bouhaldid et C. Sammari. 2010. Chemical contamination Baseline in the western basin of the Mediterranean Sea based on transplanted mussels. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, doi 10.1007/s00244-010-9599-x.
- Andral B., Stanisière J.-Y., Sauzade D., Damier E., Thebault H., Galgani F. et Boissery P., 2004. Monitoring chemical contamination levels in the Mediterranean based on the use of mussel caging. *Mar. Pollut. Bull.*, 49:704-712.
- Claisse D., 1989: Chemical contamination of French coast: the result of a ten year mussel watch. *Mar. Pollut. Bull.*, 20: 523-528.
- Clarkson T. W., Magos L., 2006.- The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Crit Review Toxicology* ; 36: 609-662.
- Cossa Daniel (2012). Le mercure en Méditerranée nord occidentale. Mercure naturel et anthropique dans l'écosystème du Golfe du Lion et de ses marges : niveaux, apports et tendances dans l'atmosphère, les eaux, les sédiments et les organismes vivants. Ifremer, RST/ODE/LER-PAC/12-03, 97 p.
- Fontanier C., M.C. Fabri, R. Buscaïl, L. Biscara, K. Koho, G.J. Reichart, D. Cossa, S. Galaup, G. Chabaud, L. Pigot, 2012. Deep-sea foraminifera from the Cassidaigne Canyon (NW Mediterranean) : Assessing the environmental impact of bauxite red mud disposal. *Mar. Pollut. Bull.*, 64: 1898-1910.
- Galgani Francois, Chiffolleau Jean-Francois, Le Gall Patrik, Pichot Yves, Andral Bruno, Martin Christophe (2005). Deep-sea caging of the mussel *Mytilus galloprovincialis*: Potential application in ecotoxicological studies. *Chemistry And Ecology*, 21(2), 133-141. <http://dx.doi.org/10.1080/02757540500093048>
- Mason R.P., A.L. Choi, W.F. Fitzgerald, C.R. Hammerschmidt, C.H. Lamborg, E. Sunderland. 2012. Mercury biogeochemical cycling in the ocean and policy implications. *Environ. Res.* 119 : 101 – 117. Doi: 10.1016/j.envres.2012.03.013
- Sargian Peggy, Andral Bruno (2013). RINBIO 2012 - Evaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2012. Ifremer, RST.ODE/UL/LER-PAC/13-25, décembre 2013, 92 p.

Pour l'**ARSENIC** :

- Didier Claisse, 1994. Surveillance du milieu marin. Travaux du Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin. Edition 1994. Ifremer, 35p.
- Pierre Michel, 1993. L'arsenic en milieu marin, Biogéochimie et écotoxicologie. Ifremer, Repères Océan n°4, 1993, 62 p.
- Neal, C., Elderfield, H., Chester, R., 1979. Arsenic in sediments of the north Atlantic ocean and the eastern Mediterranean sea. *Mar. Chem.*, 7:207-219.
- Sargian Peggy, Andral Bruno (2013). RINBIO 2012 - Evaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2012. Ifremer, RST.ODE/UL/LER-PAC/13-25, décembre 2013, 92 p.
- Seyler P., Martin J.M., 1990. Distribution of arsenite and total dissolved arsenic in major French estuaries: dependence on biogeochemical processes and anthropogenic inputs. *Mar. Chem.*, 29 : 277-294.