

Maisons-Alfort, le 21 décembre 2015

## **NOTE**

### **d'appui scientifique et technique**

### **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,**

### **de l'environnement et du travail**

**relatif à l'état de contamination chimique des produits de la mer en Méditerranée en lien avec les activités de transformation de minerai de bauxite de l'usine d'Alteo**

#### **Sommaire**

1.	Contexte et objet de la demande.....	2
2.	Introduction .....	2
3.	Organisation des travaux.....	4
4.	Analyse des données issues des échantillons de poissons .....	4
4.1.	Données exploitées.....	4
4.2.	Etapas de traitement statistique.....	8
4.3.	Résultats des analyses statistiques.....	9
4.3.1.	Aluminium (traceur du rejet).....	13
4.3.2.	Arsenic .....	14
4.3.3.	Cadmium .....	15
4.3.4.	Cobalt .....	16
4.3.5.	Chrome.....	17
4.3.6.	Mercuré .....	18
4.3.7.	Manganèse.....	19
4.3.8.	Nickel.....	20
4.3.9.	Plomb .....	21
4.3.10.	Titane (traceur du rejet) .....	22
4.3.11.	Vanadium (traceur du rejet) .....	23
4.4.	Conclusion du volet « poissons ».....	24
	Annexe 1 : Protocole pour une nouvelle campagne de pêche (4 mai 2015), Anses et Ifremer .....	26
	Annexe 2 : Niveaux de contamination par espèce selon les zones pour les 11 éléments chimiques.....	38

L'Anses a été saisie le 15 mai 2015 par le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie pour la réalisation d'un appui scientifique et technique visant à établir l'état de contamination chimique des produits de la mer en Méditerranée en lien avec les activités de transformation de minerai de bauxite de l'usine d'Alteo.

## 1. CONTEXTE ET OBJET DE LA DEMANDE

La demande fait suite aux recommandations de l'Anses dans sa note du 2 février 2015 (saisine 2014-SA-0223) relative à l'impact potentiel sur la santé humaine du rejet en Méditerranée d'effluents issus des activités de transformation de minerai de bauxite de l'usine d'Alteo.

L'Anses avait été saisie le 15 octobre 2014 dans le cadre d'une demande d'autorisation au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) déposé en mai 2014 par la société Alteo pour la modification des conditions d'exploitation de son usine d'alumine de Gardanne. Cette modification consiste en l'arrêt, à la date du 31 décembre 2015, des rejets d'effluents qualifiés de « boues rouges » pour les remplacer par des rejets d'effluents liquides. Le point de rejet en mer restera inchangé et se situe au large de Cassis, dans le Parc national des Calanques créé en 2012. Le Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et de l'Énergie avait souhaité que soit menée une analyse critique indépendante des conclusions de l'interprétation de l'état des milieux et de l'évaluation des risques sanitaires réalisées par l'exploitant.

Concernant spécifiquement la question de la contamination potentielle des poissons, l'Anses avait constaté la faiblesse méthodologique du plan d'échantillonnage mis en œuvre par l'exploitant, du fait d'une part de lacunes potentielles dans la définition de la zone d'impact et, d'autre part, du fait du faible nombre de poissons prélevés pour chaque espèce dans les études fournies par l'exploitant. Selon la méthode d'interprétation de l'état des milieux (IEM), et pour les substances ne disposant pas de seuils réglementaires, l'exploitant aurait dû échantillonner et analyser des espèces de poissons prélevées dans une zone non impactée par ses rejets. Une démarche exhaustive d'IEM aurait alors consisté à comparer ces concentrations avec celles mesurées dans la zone d'influence du rejet de l'exploitant.

L'Anses recommandait que soit réalisée une nouvelle campagne de pêche afin de mieux objectiver le niveau de contamination du milieu.

En collaboration avec l'Ifremer, un protocole de pêche a été proposé au Ministère le 4 mai 2015 (présenté en annexe 1).

Par courrier du 15 mai 2015, il a été demandé à l'Ifremer de réaliser la campagne de pêche et à l'Anses de prendre en charge les analyses chimiques des échantillons.

## 2. INTRODUCTION

Dans le cadre de l'étude relative à l'état de contamination chimique des produits de la mer en Méditerranée en lien avec les activités de transformation de minerai de bauxite de l'usine d'Alteo, un total d'environ 1800 échantillons, provenant des deux zones de pêches : zone dite « impactée » et zone dite de « référence », c'est-à-dire qui n'est pas sous influence du rejet (figure 1) ont été analysés. Onze éléments chimiques (Al, As, Cd, Co, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Ti et V) ont été recherchés pour l'ensemble des espèces d'organismes marins considérées. Les résultats obtenus ont été organisés dans une base de données incluant les résultats numériques et les commémoratifs spécifiques à chaque prélèvement (figure 2).

Les 11 éléments chimiques ont été sélectionnés sur la base des travaux précédents (note du 2 février 2015, saisine 2014-SA-0223), l'aluminium, le vanadium et le titane étant les principaux traceurs du rejet.

Le traitement statistique des résultats a été réalisé en 2 parties :

1. Une partie réalisée par l'Anses portant sur l'exploitation des résultats obtenus à partir des échantillons de poissons.
2. Une partie réalisée par l'Ifremer portant sur les résultats obtenus sur les moules et les oursins.

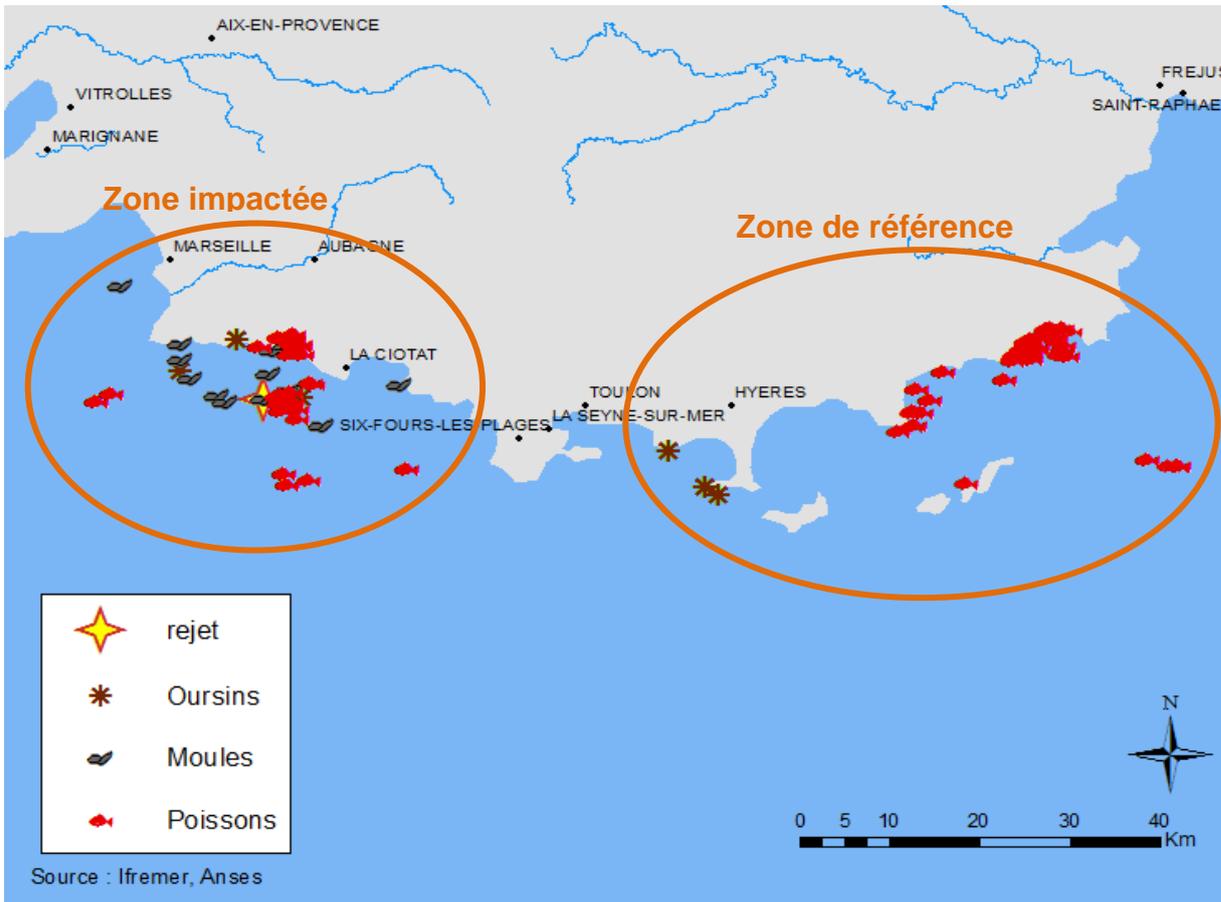


Figure 1 : Points de prélèvements des espèces étudiées

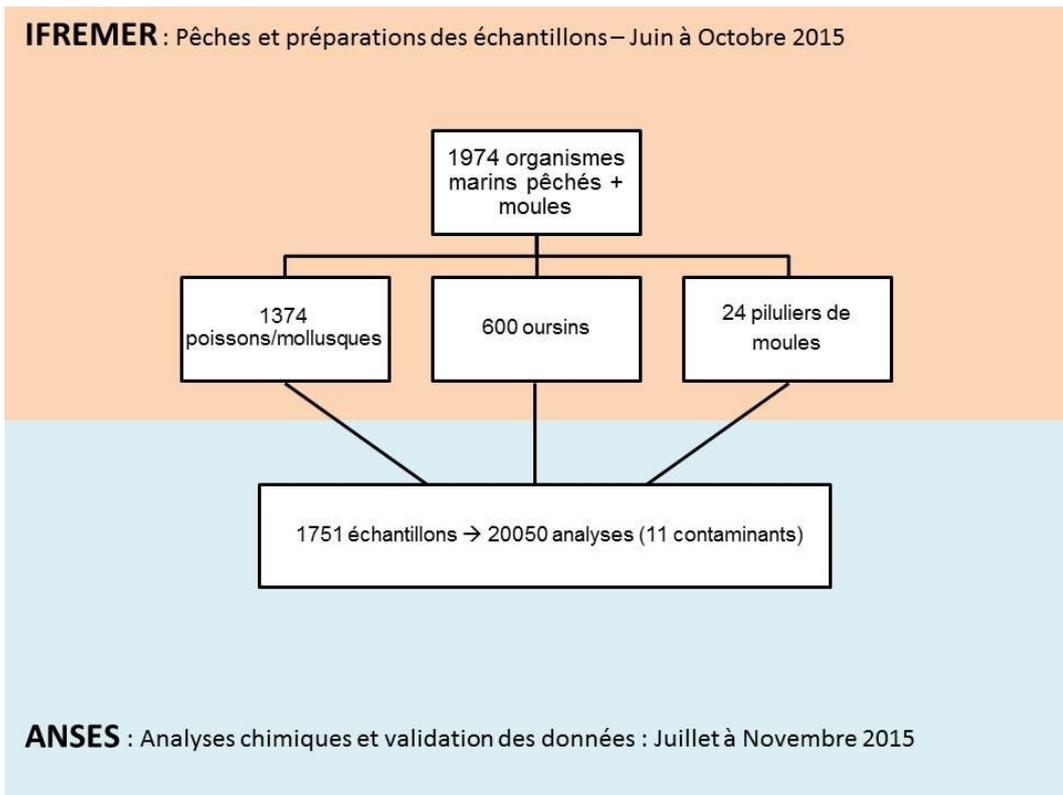


Figure 2 : Description des étapes de pêche et d'analyse

### 3. ORGANISATION DES TRAVAUX

Les travaux relèvent du domaine de compétences du Comité d'experts spécialisé « Évaluation des risques physico-chimiques dans les aliments » (CES ERCA).

La saisine a été présentée au CES ERCA lors des séances du 2 juillet 2015 (fin de mandature du CES) et du 28 septembre 2015 (début de la nouvelle mandature). Deux experts du CES ERCA ont été nommés rapporteurs en appui à l'examen du dossier qui a été réalisé en interne par l'Anses, au sein de la Direction de l'Évaluation des Risques.

L'expertise a été réalisée sous forme d'un appui scientifique et technique, présenté pour consultation au CES ERCA lors des séances du 28 septembre, 20 octobre, 25 novembre et 18 décembre 2015.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin de prévenir les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise. Les déclarations d'intérêts des experts sont rendues publiques via le site internet de l'Anses ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)).

### 4. ANALYSE DES DONNÉES ISSUES DES ÉCHANTILLONS DE POISSONS

#### 4.1. Données exploitées

La répartition des échantillons analysés en fonction des espèces/groupes d'espèces, de la zone de pêche (zone impactée et zone de référence, c'est-à-dire non sous impact du rejet) et de la matrice (foie/muscle) est présentée dans le tableau 1.

Une étape de validation des données (recherche des données aberrantes par les valeurs extrêmes, vérification de doublons, vérification des correspondances entre les fichiers d'analyse du laboratoire et les fichiers des commémoratifs de l'Ifremer) a été effectuée.

L'analyse statistique des résultats obtenus sur les matrices (muscle et foie) des poissons a été réalisée uniquement pour les espèces présentant un effectif minimum de 15 individus dans chaque zone (zone impactée et zone de référence).

Afin de préserver un maximum de résultats pour l'analyse statistique, certaines espèces jugées proches (sur la base de leur niveau trophique et en concertation avec les experts d'Ifremer) ont été regroupées.

Quatre groupes ont ainsi été définis :

- Chien espagnol, Roussette et raie bouclée
- Sar commun et sar à tête noire
- Chinchard commun et chinchard à queue jaune
- Rouget de vase et rouget de roche.

Les espèces/groupes d'espèces non pris en compte dans cette note pour cause d'effectif insuffisant sont : anchois/sardine, daurade royale, grondin, loup (bar), mullet, poulpe, Saint Pierre, sardinelle, pageot commun, rouget (pour les analyses sur le foie).

Par ailleurs, les analyses sur le foie dont la prise d'essai était inférieure à 0,3 g ont été exclues du traitement statistique car non accréditées Cofrac. Cela correspond à 54 échantillons (soit 594 analyses pour les 11 contaminants). Les analyses sur le foie prises en compte apparaissent en italique dans le tableau 1.

Tableau 1 : Effectifs totaux par espèce/groupe d'espèces, matrice et zone de prélèvement

Espèce	Matrice	Zone impactée	Zone de référence
<b>Espèces étudiées dans la présente note (N≥15 dans les deux zones)-Traitement Anses</b>			
<i>Chien espagnol/roussette/raie</i>	foie	80	86
Chien espagnol/roussette/raie	muscle	115	91
Chinchard	muscle	42	30
<i>Congre</i>	foie	30	21
Congre	muscle	31	23
Dorade rose	muscle	27	30
Girelle	muscle	32	31
<i>Merlu</i>	foie	48	23
Merlu	muscle	53	24
Rascasse	muscle	39	71
Rouget	muscle	145	73
Sar	muscle	32	92
Sébaste	muscle	37	46
<b>Espèces non étudiées (N&lt;15 dans l'une des zones)</b>			
Anchois/sardine	muscle	128	6
Daurade royale	muscle	24	4
Loup	muscle		1
Mulet	muscle	27	7
Murex*	muscle	36	15*
Pageot commun	muscle		6
Poulpe commun	muscle	8	7
<i>Rouget</i>	foie	10	10
<i>Saint Pierre</i>	foie	1	
Saint Pierre	muscle	36	1
Sardinelle	muscle		2
<b>Espèces étudiées par Ifremer</b>			
Moule	moule	24	
Oursin violet	gonades	30	30
<b>Total</b>		<b>1035</b>	<b>730</b>

\* non retenu car N<15 après prise en compte de l'âge

## Quelques informations générales sur les espèces pêchées retenues pour le traitement statistique

Chien espagnol	<i>Galeus melastomus</i>		Carnivore (poissons) démersal profondeur : 55 - 1873 m généralement 150-1200 m niveau trophique 4.2
Chinchard	<i>Trachurus spp.</i>		Carnivore (poissons) pélagique profondeur : eaux côtières - 1050 m généralement 100 - 200 m niveau trophique 3.7
Congre commun	<i>Conger conger</i>		Carnivore (poissons) démersal profondeur : eaux côtières - 1171m niveau trophique 4.3
Dorade rose	<i>Pagellus bogaraveo</i>		Carnivore (invertébrés, poissons) démersal profondeur : eaux côtières - 700 m généralement 150 - 300 m niveau trophique 3.5
Girelle	<i>Coris julis</i>		Carnivore (petits crustacés, vers, mollusques) démersal profondeur : eaux côtières - 120 m généralement 1-60 m niveau trophique 3.4
Merlu européen ou merlan	<i>Merluccius merluccius</i>		Carnivore (poissons) démersal profondeur : 30 - 1075 m généralement 70 - 400 m niveau trophique 4.4
Raie bouclée	<i>Raja clavata</i>		Carnivore (poissons, crustacés) benthique profondeur : 10 - 577 m niveau trophique 3.8
Rascasse	<i>Scorpaena porcus</i>		Carnivore (crustacés, petits poissons) benthique profondeur : zone côtière - 800 m niveau trophique 3.8

Rouget de roche	<i>Mullus surmuletus</i>		Carnivore (petits crustacés, vers) démersal profondeur : eaux côtières - 400 m niveau trophique 3.3
Rouget barbet de vase	<i>Mullus barbatus</i>		Carnivore (petits crustacés, vers) démersal profondeur : Eaux côtières - 350 m généralement 100 - 300 m niveau trophique 3.3
Roussette	<i>Scyliorhinus canicula</i>		Carnivore (invertébrés, poissons) démersal profondeur : 10 - 780 m généralement 80 - 100 m niveau trophique 3.8
Sar commun	<i>Diplodus sargus</i>		Omnivore/carnivore (petits invertébrés, crustacés, vers, algues) démersal profondeur : eaux côtières - 50 m généralement 0 - 50 m niveau trophique 3.2
Sar à tête noire	<i>Diplodus vulgaris</i>		Omnivore/carnivore (petits invertébrés, crustacés, vers, algues) démersal profondeur : zone côtière - 160 m, généralement 0- 30 m niveau trophique 3.3
Sébaste	<i>Helicolenus dactylopterus</i>		Carnivore (crustacés, poissons) bentho-démersal profondeur : 50 - 1100 m généralement 150 - 600 m niveau trophique 3.8

Source photos : [fishbase.org](http://fishbase.org)

**Benthique** : vivant fixés au sol ou qui se déplacent en rasant le fond. Ces espèces trouvent leur nourriture dans le sédiment et en dépendent donc pour leur subsistance. Beaucoup de poissons benthiques sont aplatis, soit sur le ventre comme la raie et la baudroie, soit sur le flanc comme la sole. La partie reposant sur le fond est alors décolorée. Certaines espèces benthiques s'enfouissent dans le sédiment afin de se protéger de leurs prédateurs.

**Démersal** : vivant au-dessus du fond. Ces espèces sont très mobiles mais très dépendantes du fond d'où elles tirent leur nourriture. Parmi elles on trouve la dorade, le merlu, le merlan, la morue.

**Pélagique** : vivant dans les eaux proches de la surface ou entre la surface et le fond, par exemple : le hareng, la sardine, l'anchois, le maquereau, le thon.

## 4.2. Etapes de traitement statistique

Les tests de comparaison des moyennes et les calculs d'intervalles de confiance de la moyenne font l'hypothèse que les données sont gaussiennes, ou que les échantillons sont suffisamment grands pour pouvoir appliquer le Théorème Limite Central. Dans la situation qui nous intéresse, plusieurs paramètres présentent une distribution fortement asymétrique alors qu'il n'y a que 10 échantillons pour estimer la moyenne pour une espèce et une zone de pêche donnée. Il convient alors de transformer les données afin qu'elles présentent une distribution la plus gaussienne possible. De nombreuses transformations sont envisageables. Pour la présente analyse statistique la transformation logarithmique base 10 a été choisie. Cette transformation s'adapte aux cas où l'asymétrie est positive.

Les concentrations en contaminants transformées en Log10 ont été analysées selon un modèle d'analyse de variance factorielle. Les facteurs inclus dans ce modèle sont :

- facteur zone (2 modalités : impactée/référence)
- facteur espèce (9 modalités : chien espagnol/roussette/raie, congre, dorade royale, girelle, merlu, rascasse, rouget, sar, sébaste)
- facteur âge (2 modalités : adultes, juvéniles)
- facteur matrice (2 modalités : muscle, foie).

Le modèle posé pour chaque contaminant :

$$Y = X\beta + \varepsilon(0, \sigma)$$

- Y représente un des contaminants analysés,
- X représente le codage des facteurs (zone, espèce, matrice et âge) ainsi que les interactions d'ordre 1,
- $\varepsilon$  représente l'écart au modèle. Les écarts sont supposés suivre indépendamment une loi gaussienne de moyenne nulle et d'écart-type  $\sigma$ .

En l'absence d'interaction entre les facteurs, les comparaisons d'intérêt sont les écarts entre les moyennes des deux zones. Cependant, dans la plupart des cas, les interactions « zone\*âge » et « zone\*espèce » étaient statistiquement significatives ( $p < 5\%$ ). La mise en évidence d'une interaction n'autorise pas de comparer globalement les deux zones. De ce fait, les zones sont comparées par espèce et par classe d'âge, ce qui entraîne un nombre élevé de tests (220 tests, soit 20 tests par contaminant).

La réalisation d'un nombre élevé de tests statistiques pose le problème du contrôle du risque d'erreur de 1<sup>ère</sup> espèce globalement sur l'ensemble de tous les tests réalisés. Ce risque d'erreur global ne doit pas être confondu avec le risque d'erreur individuel, c'est-à-dire celui encouru au niveau d'un test particulier. Différents types de risques globaux peuvent être utilisés. Pour cette analyse, le FDR (False Discovery Rate) a été utilisé. Le FDR correspond à la proportion des tests individuels faussement significatifs (c'est-à-dire conclure à une différence significative entre les deux zones alors que la différence n'existe pas en réalité). La procédure de calcul suit la méthode décrite par Storey (2002a, b<sup>1</sup>) et aboutit au calcul d'une valeur dite q-value qui peut être interprétée pour une comparaison donnée comme la plus faible valeur de FDR pour laquelle la comparaison est déclarée significative. L'espérance de la q-value est ainsi calculée et les tests pour lesquels l'espérance est inférieure à 1 sont alors considérés comme significatifs.

---

<sup>1</sup>Storey, J.D.(2002a) A direct approach to false discovery rates. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B: Statistical Methodology* 64, 479-498.

Storey, J.D. (2002b) False discovery rates: Theory and applications to DNA microarrays. *Ph.D. dissertation Dept. Statistics, Stanford Univ.*

Afin de faciliter l'interprétation des résultats des tests statistiques, des intervalles de confiance des différences entre les moyennes des deux zones sont présentés. Ces intervalles permettent d'illustrer l'incertitude sur la moyenne des différences et de les interpréter au regard de leur intérêt biologique.

### **4.3. Résultats des analyses statistiques**

Globalement, l'analyse de la variance factorielle incluant les quatre facteurs (zone, âge, matrice et espèce) ainsi que leurs interactions a montré un effet significatif de la zone, de l'espèce, de la matrice et de leurs interactions et de l'âge en interaction avec les autres facteurs.

Les niveaux de contamination sont présentés en annexe 2, pour chaque zone, par contaminant, espèce/groupe d'espèces et matrice.

Comme le montrent les tableaux 2 et 3, le calcul des effectifs par espèce/groupe d'espèces montre un déséquilibre des classes d'âge entre les deux zones.

Appui scientifique et technique de l'Anses

Saisine n° 2015-SA-0107

Saisine liée n° 2014-SA-0223

Tableau 2 : Effectifs et comparaison des niveaux de contamination des deux zones par espèce/groupe d'espèces, matrice et contaminant pour la population des poissons adultes

Groupe espèce	matrice	Taille adulte	Zone Impactée (ZI)		Zone de référence (ZR)		Al	As	Cd	Co	Cr	Hg	Mn	Ni	Pb	Ti	V
			N	Nb adultes	N	Nb adultes											
<b>Chien/roussette/raie</b>	<b>foie</b>	<b>34/40/48</b>	<b>81</b>	<b>57</b>	<b>86</b>	<b>32</b>	ZI<ZR		ZI<ZR	ZI<ZR		ZI>ZR	ZI<ZR				ZI<ZR
Chien/roussette/raie	muscle	34/40/49	116	86	91	35			ZI>ZR		ZI<ZR	ZI>ZR			ZI<ZR		
<b>Congre</b>	<b>foie</b>	<b>75</b>	<b>30</b>	<b>11</b>	<b>21</b>	<b>9</b>											
Congre	muscle	75	31	12	23	11	ZI>ZR										
Dorade rose	muscle	20	27	22	30	30										ZI>ZR	ZI>ZR
Girelle	muscle	9	32	32	31	30									ZI>ZR		
<b>Merlu</b>	<b>foie</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>13</b>	<b>23</b>	<b>10</b>	ZI>ZR				ZI>ZR	ZI>ZR				ZI>ZR	ZI>ZR
Merlu	muscle	40	53	13	24	10											
Rascasse	muscle	15	39	29	71	43				ZI<ZR							
Rouget	muscle	15/18	145	89	73	32	ZI>ZR	ZI>ZR				ZI>ZR					ZI>ZR
Sar	muscle	20	32	29	92	73	ZI>ZR	ZI<ZR	ZI<ZR	ZI<ZR			ZI>ZR				ZI>ZR
ZR + contaminée	ZI + contaminée																

Appui scientifique et technique de l'Anses

Saisine n° 2015-SA-0107

Saisine liée n° 2014-SA-0223

Tableau 3: Effectifs et comparaison des niveaux de contamination des deux zones par espèce/groupe d'espèces, matrice et contaminant pour la population des poissons juvéniles

Groupe espèce	matrice	Taille adulte	Zone Impactée (ZI)		Zone de référence (ZR)		Al	As	Cd	Co	Cr	Hg	Mn	Ni	Pb	Ti	V	
			N	Nb jeunes	N	Nb jeunes												
<b>Chien/roussette/raie</b>	<b>foie</b>	<b>34/40/48</b>	<b>81</b>	<b>24</b>	<b>86</b>	<b>54</b>							ZI<ZR					
Chien/roussette/raie	muscle	34/40/49	116	29	91	56			ZI>ZR						ZI<ZR			
<b>Congre</b>	<b>foie</b>	<b>75</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	<b>12</b>							ZI<ZR	ZI>ZR				
Congre	muscle	75	31	19	23	12				ZI>ZR								
<b>Merlu</b>	<b>foie</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>35</b>	<b>23</b>	<b>13</b>		ZI>ZR										
Merlu	muscle	40	53	40	24	14	ZI>ZR	ZI>ZR					ZI>ZR		ZI<ZR			ZI>ZR
Rascasse	muscle	15	39	10	71	28				ZI<ZR								
Rouget	muscle	15/18	145	53	73	38	ZI>ZR	ZI>ZR		ZI>ZR		ZI>ZR	ZI>ZR	ZI>ZR	ZI<ZR	ZI>ZR	ZI>ZR	ZI>ZR
Sébaste	muscle	26	37	36	46	39	ZI>ZR	ZI<ZR		ZI<ZR					ZI>ZR	ZI>ZR	ZI>ZR	ZI>ZR

ZR + contaminée	ZI + contaminée
-----------------	-----------------

La description des comparaisons qui suit est effectuée par contaminant, pour les espèces et matrices analysées, sur la base des tableaux 2 et 3 et de l'analyse FDR.

Les tests significatifs sont présentés, pour chaque contaminant (avec les valeurs des p-value et q-value) par matrice, zone, espèce et âge, soit 48 tests au total.

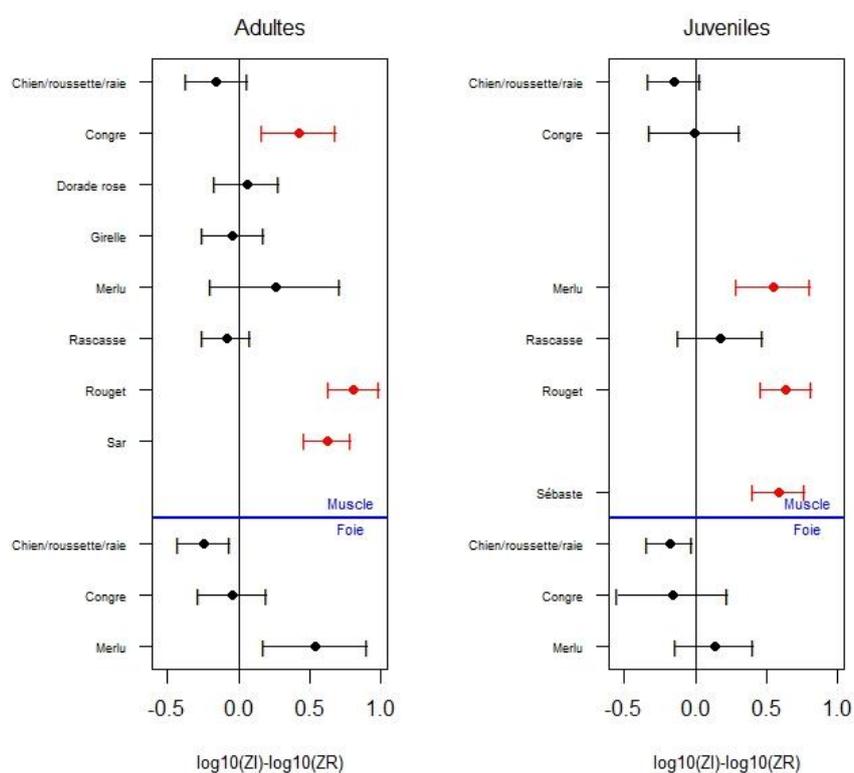
**Les graphiques montrent les différences des moyennes de contamination entre les deux zones et leurs intervalles de confiance.** Chaque graphique est partagé en 2 parties (une partie positive et une partie négative séparées par la ligne zéro) : la partie positive indique que la zone impactée est supérieure à la zone de référence ( $ZI > ZR$ ), tandis que la partie négative indique que la zone de référence est supérieure à la zone impactée ( $ZI < ZR$ ). Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif.

Légendes des tableaux : N = nombre d'échantillons, Moy = moyenne, ET = écart-type, Min = valeur minimale, Max = valeur maximale.

### 4.3.1. Aluminium (traceur du rejet)

Sur les 20 tests réalisés, 6 sont significatifs après l'analyse FDR. Pour les 6 tests, la zone impactée apparait plus contaminée.

Muscle	
<b>Zone impactée (ZI) &gt; Zone de référence (ZR) pour :</b>	
Merlu : juvéniles	(p-value<0.0001 ;q-value=0.019)
Rouget	(p-value<0.0001 ;q-value=0.019)
Congre : adultes	(p-value=0.004 ;q-value=0.02)
Sar : adultes	(p-value<0.0001 ;q-value=0.019)
Sébaste : juvéniles	(p-value<0.0001 ;q-value=0.019)



ZI < ZR ← → ZI > ZR

Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif après analyse FDR.

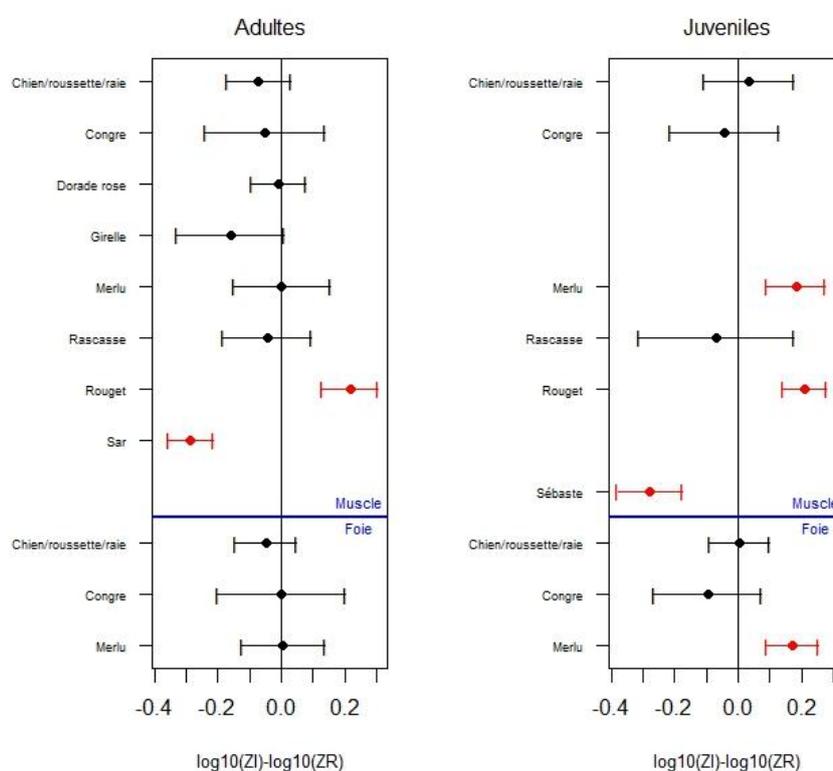
Tableau 4 : Niveaux de contamination en Al dans le muscle des poissons pour lesquels les différences sont significatives (en mg/kg PF)

Age	Groupe espèce	Zone impactée (ZI)					Zone de référence (ZR)				
		N	Moy	ET	Min	Max	N	Moy	ET	Min	Max
Adultes	Congre	12	<b>0,081</b>	0,062	0,021	0,173	11	<b>0,021</b>	0,000	0,021	0,021
	Rouget	89	<b>1,143</b>	1,374	0,042	9,152	33	<b>0,260</b>	0,528	0,021	2,320
	Sar	29	<b>0,226</b>	0,160	0,021	0,683	73	<b>0,053</b>	0,058	0,021	0,292
Juvéniles	Merlu	40	<b>0,531</b>	0,496	0,042	2,139	14	<b>0,178</b>	0,167	0,021	0,487
	Rouget	53	<b>1,425</b>	3,368	0,122	24,632	38	<b>0,274</b>	0,354	0,021	2,054
	Sébaste	36	<b>0,657</b>	0,654	0,137	3,364	39	<b>0,228</b>	0,320	0,021	1,839

### 4.3.2. Arsenic

Sur les 20 tests réalisés, 6 tests sont significatifs, pour 4 d'entre eux, la zone impactée est la plus contaminée.

Muscle	Foie
<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>	<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>
Merlu : juvéniles (p-value=0,0002 ; q-value=0,019) Rouget (p-value<0,0001 ; q-value=0,019)	Merlu : juvéniles ((p-value<0,0001 ; q-value=0,019)
<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>	<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>
Sar : adultes (p-value<0,0001 ; q-value=0,019) Sébaste : juvéniles, (p-value<0,0001 ; q-value=0,019)	



ZI < ZR ↔ ZI > ZR

Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif après analyse FDR.

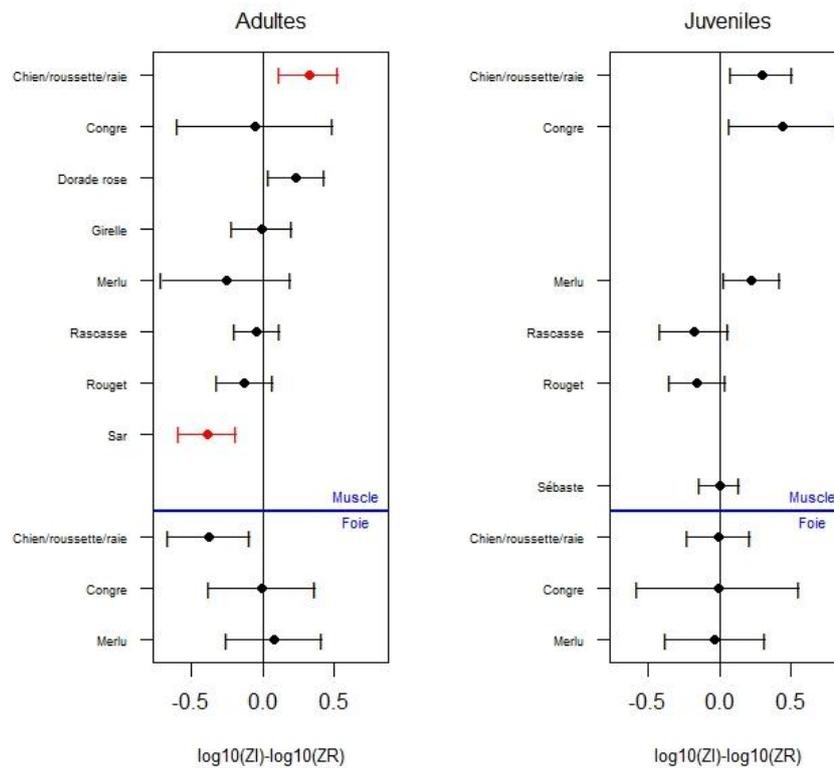
Tableau 5 : Niveaux de contamination en As dans le muscle des poissons pour lesquels les différences sont significatives (en mg/kg PF)

Age	Groupe espèce	Zone impactée (ZI)					Zone de référence (ZR)				
		N	Moy	ET	Min	Max	N	Moy	ET	Min	Max
Adultes	Rouget	89	21,830	8,674	1,430	50,586	33	13,758	6,492	3,090	28,257
	Sar	29	4,644	1,393	2,203	9,221	73	9,833	5,199	2,730	24,651
Juvéniles	Merlu	40	6,662	2,754	3,353	18,323	14	4,331	1,416	2,405	7,148
	Rouget	53	17,285	7,158	4,009	34,549	38	10,069	2,950	6,240	18,500
	Sébaste	36	5,356	2,433	2,111	12,100	39	10,561	5,399	2,690	25,008

### 4.3.3. Cadmium

Sur les 20 tests réalisés, 2 tests sont significatifs.

Muscle	
<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>	
Chien espagnol/roussette/raie : adultes (p-value=0,002 ; q-value=0,02)	
<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>	
Sar : adultes (p-value=0,0002 ; q-value=0,019)	



ZI < ZR ← → ZI > ZR

Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif après analyse FDR.

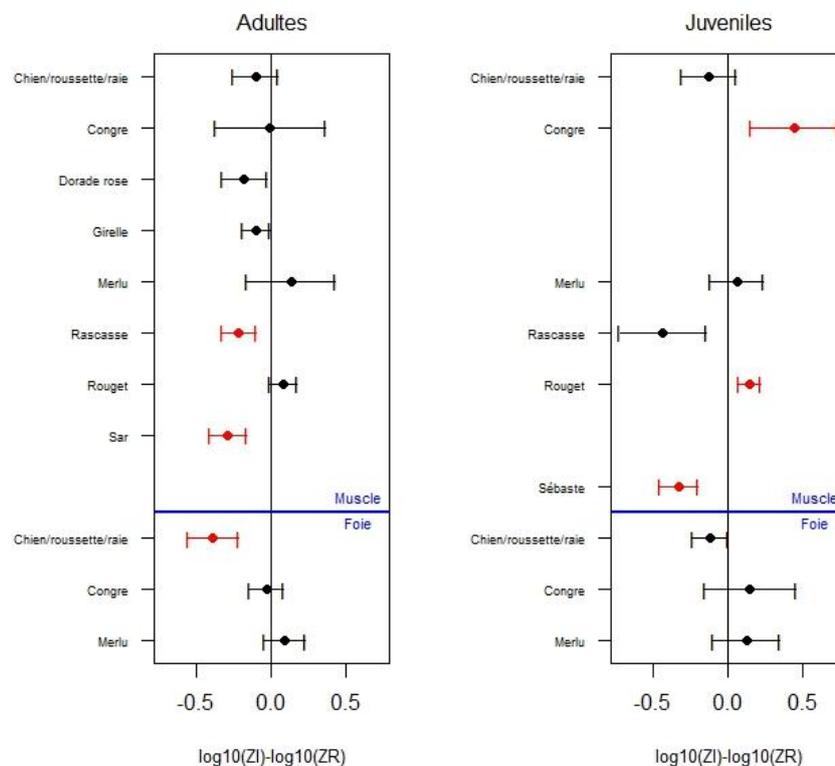
Tableau 6 : Niveaux de contamination en Cd dans le muscle des poissons pour lesquels les différences sont significatives (en mg/kg PF)

Age	Groupe espèce	Zone impactée (ZI)					Zone de référence (ZR)				
		N	Moy	ET	Min	Max	N	Moy	ET	Min	Max
Adultes	Chien espagnol/roussette/raie	86	0,068	0,238	0,000	1,541	35	0,002	0,001	0,001	0,007
	Sar	29	0,001	0,004	0,000	0,024	73	0,001	0,001	0,000	0,005

#### 4.3.4. Cobalt

Sur les 20 tests réalisés, 6 tests sont significatifs, Pour 2 d'entre eux, la zone impactée est la plus contaminée.

Muscle	Foie
<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>	<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>
Rouget : juvéniles (p-value<0,0001 ;q-value=0,019) Congre : juvéniles(p-value=0,004 ;q-value=0,02)	
<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>	<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>
Rascasse : adultes (p-value=0,0004 ;q-value=0,019) Sar : adultes (p-value<0,0001 ;q-value=0,019) Sébaste : juvéniles (p-value<0,0001 ;q-value=0,019)	Chien espagnol/roussette/raie : adultes (p-value<0,0001 ;q-value=0,019)



ZI < ZR ← → ZI > ZR

Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif après analyse FDR.

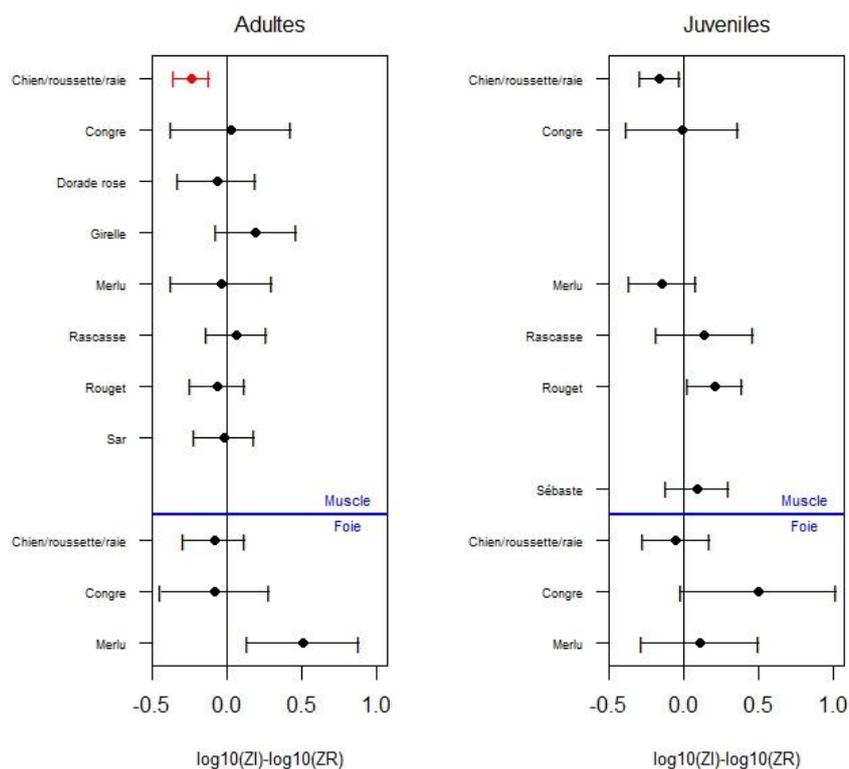
Tableau 7 : Niveaux de contamination en Co dans le muscle des poissons pour lesquels les différences sont significatives (en mg/kg PF)

Age	Groupe espèce	Zone impactée (ZI)					Zone de référence (ZR)				
		N	Moy	ET	Min	Max	N	Moy	ET	Min	Max
Adultes	Rascasse	29	0,002	0,001	0,000	0,005	42	0,004	0,003	0,002	0,013
	Sar	29	0,003	0,002	0,000	0,010	73	0,006	0,006	0,000	0,047
Juvéniles	Congre	19	0,003	0,003	0,000	0,015	12	0,001	0,001	0,000	0,002
	Rouget	53	0,005	0,002	0,002	0,013	38	0,004	0,001	0,002	0,006
	Sébaste	36	0,002	0,001	0,000	0,005	39	0,004	0,002	0,002	0,010

### 4.3.5. Chrome

Sur les 20 tests réalisés, 1 seul test est significatif.

Muscle
<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>
Chien espagnol/roussette/raie : adultes (p-value < 0,0001 ; q-value = 0,019)



ZI < ZR ← → ZI > ZR

Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif après analyse FDR.

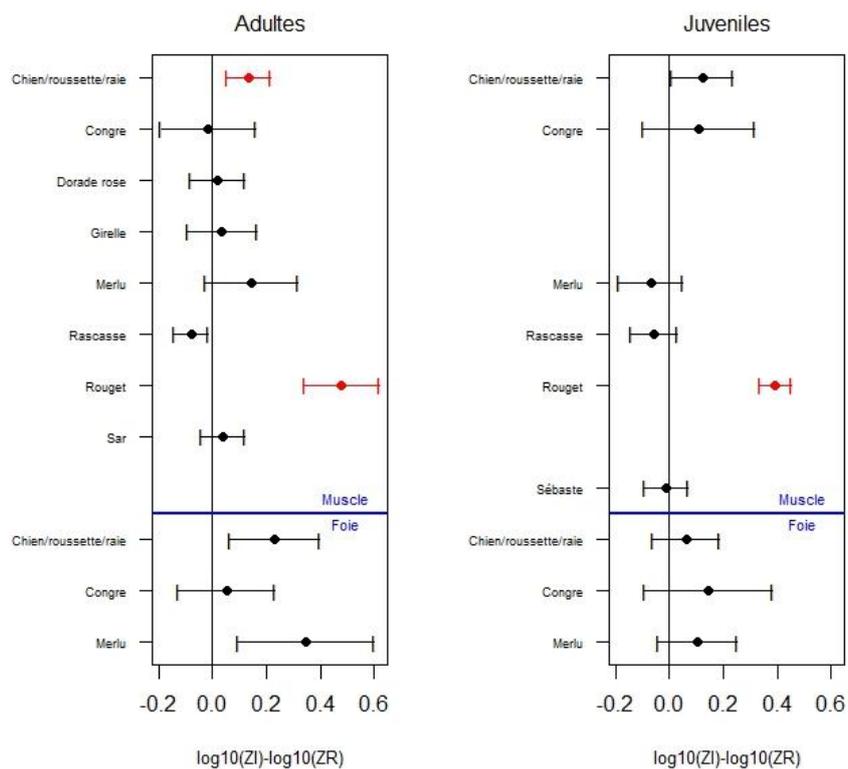
Tableau 8 : Niveaux de contamination en Cr dans le muscle des poissons pour lesquels les différences sont significatives (en mg/kg PF)

Age	Groupe espèce	Zone impactée (ZI)					Zone de référence (ZR)				
		N	Moy	ET	Min	Max	N	Moy	ET	Min	Max
Adultes	Chien espagnol/roussette/raie	86	0,021	0,023	0,003	0,144	35	0,028	0,012	0,005	0,056

### 4.3.6. Mercure

Sur les 20 tests réalisés, 3 tests montrent que la zone impactée est significativement plus contaminée.

Muscle	
<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>	
Chien espagnol/roussette/raie : adultes (p-value=0,002 ; q-value=0,019)	
Rouget (p-value<0,0001 ; q-value=0,019)	



ZI < ZR ↔ ZI > ZR

Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif après analyse FDR.

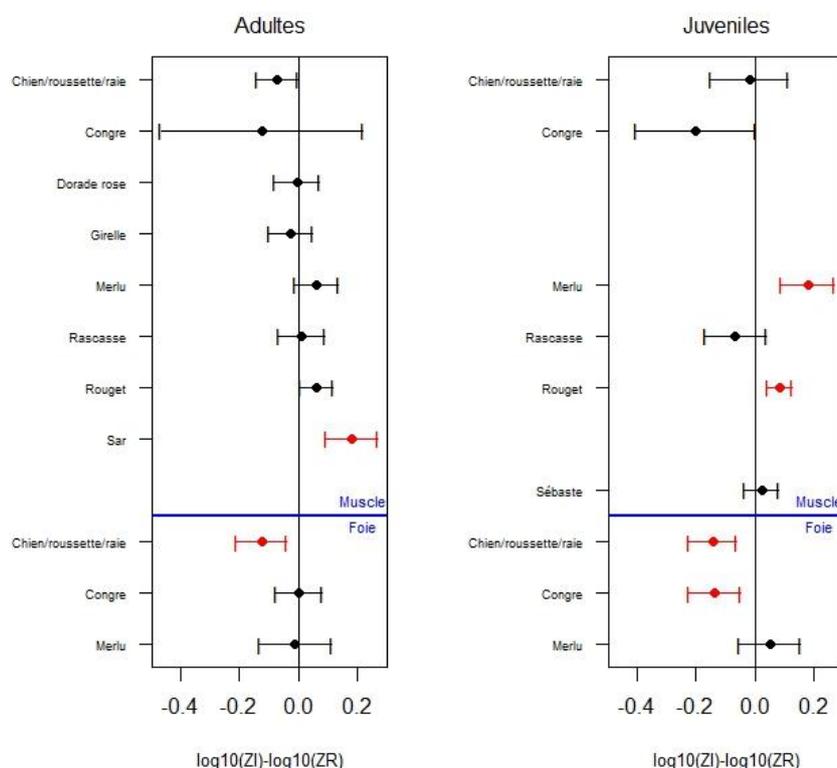
Tableau 9 : Niveaux de contamination en Hg dans le muscle des poissons pour lesquels les différences sont significatives (en mg/kg PF)

Age	Groupe espèce	Zone impactée (ZI)					Zone de référence (ZR)				
		N	Moy	ET	Min	Max	N	Moy	ET	Min	Max
Adultes	Chien espagnol/roussette/raie	86	1,695	1,237	0,156	8,955	35	1,082	0,424	0,435	2,323
	Rouget	89	0,588	0,490	0,060	2,585	32	0,190	0,124	0,022	0,403
Juveniles	Rouget	53	0,212	0,071	0,068	0,413	38	0,085	0,029	0,055	0,191

### 4.3.7. Manganèse

Sur les 20 tests réalisés, 6 tests sont significatifs, Pour 3 d'entre eux, la zone impactée est la plus contaminée.

Muscle	Foie
<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>	<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>
Merlu : juvéniles (p-value=0,0003 ; q-value=0,019) Rouget : juvéniles (p-value=0,0002 ; q-value=0,019) Sar : adultes (p-value<0,0001 ; q-value=0,019)	
<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>	<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>
	Chien espagnol/roussette/raie : adultes (p-value=0,004 ; q-value=0,02) ; juvéniles (p-value=0,0007 ; q-value=0,019) Congre : juvéniles (p-value=0,003 ; q-value=0,02)



ZI < ZR ← → ZI > ZR

Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif après analyse FDR.

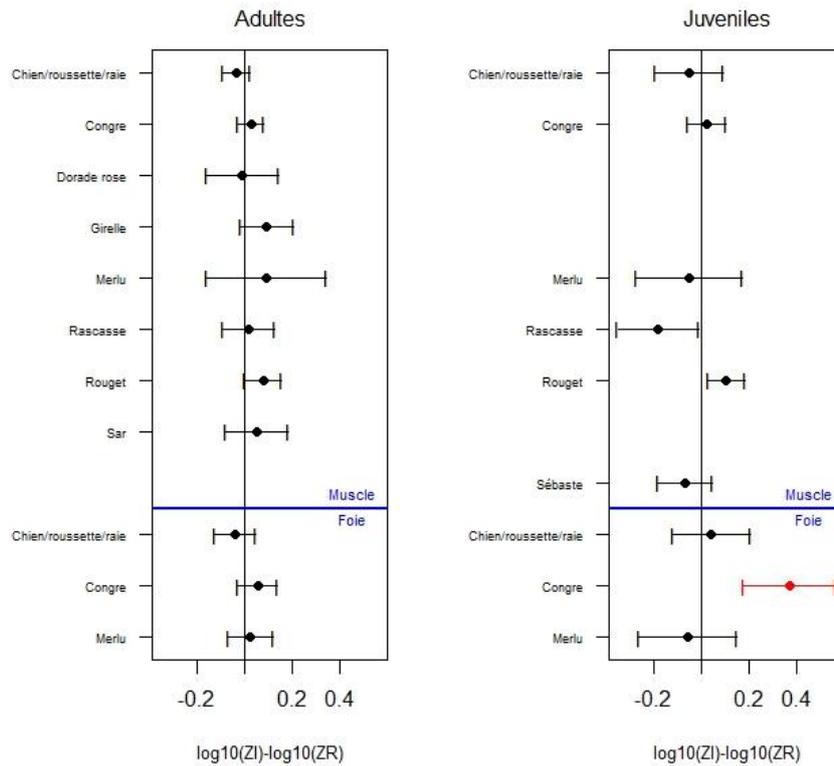
Tableau 10 : Niveaux de contamination en Hg dans le muscle des poissons pour lesquels les différences sont significatives (en mg/kg PF)

Age	Groupe espèce	Zone impactée (ZI)					Zone de référence (ZR)				
		N	Moy	ET	Min	Max	N	Moy	ET	Min	Max
Adultes	Sar	29	<b>0,108</b>	0,053	0,056	0,266	73	0,077	0,067	0,032	0,475
Juvéniles	Merlu	40	<b>0,162</b>	0,221	0,073	1,151	14	0,083	0,018	0,062	0,120
	Rouget	53	<b>0,160</b>	0,045	0,093	0,332	38	0,130	0,025	0,083	0,185

### 4.3.8. Nickel

Sur les 20 tests réalisés, 1 seul test est significatif,

Foie	
Zone impactée > Zone de référence pour :	
Congre : juvéniles (p-value=0,0007 ; q-value=0,019)	



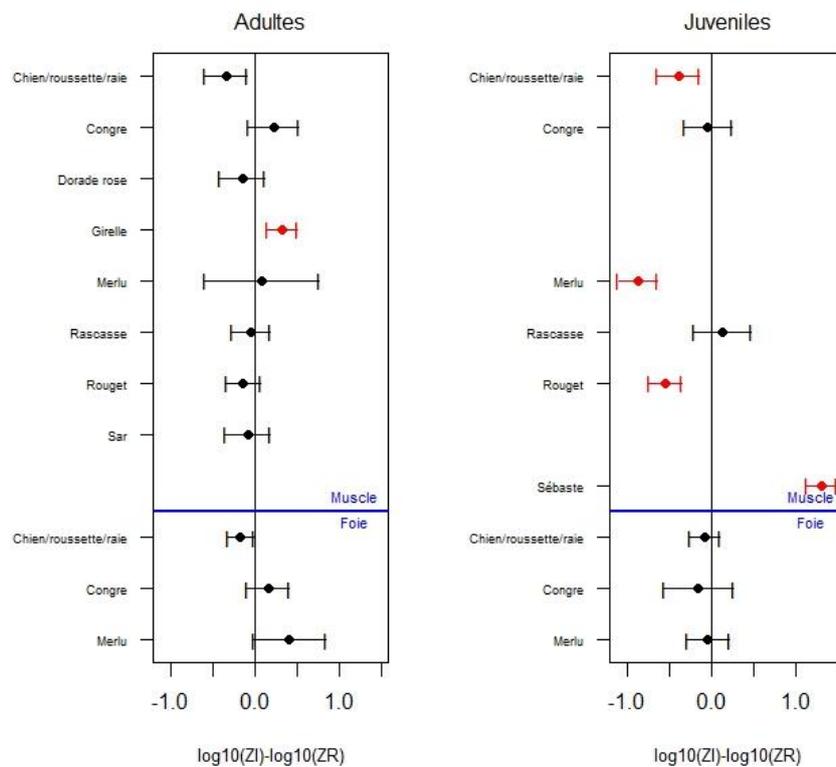
ZI < ZR ← → ZI > ZR

Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif après analyse FDR.

### 4.3.9. Plomb

Sur les 20 tests réalisés, 5 tests sont significatifs, Pour 2 d'entre eux, la zone impactée est la plus contaminée,

Muscle	
<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>	
Girelle : adultes (p-value=0,0009 ;q-value=0,019)	
Sébaste : juvéniles (p-value<0,0001 ;q-value=0,019)	
<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>	
Chien espagnol/roussette/raie : juvéniles (p-value=0,003 ;q-value=0,02)	
Merlu : juvéniles (p-value<0,0001 ;q-value=0,019)	
Rouget : juvéniles (p-value<0,0001 ;q-value=0,019)	



ZI < ZR ↔ ZI > ZR

Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif après analyse FDR.

Tableau 11 : Niveaux de contamination en Pb dans le muscle des poissons pour lesquels les différences sont significatives (en mg/kg PF)

Age	Groupe espèce	Zone impactée (ZI)					Zone de référence (ZR)				
		N	Moy	ET	Min	Max	N	Moy	ET	Min	Max
Adultes	Girelle	32	0,025	0,019	0,001	0,076	30	0,013	0,012	0,001	0,043
	Chien espagnol/roussette/raie	29	0,027	0,042	0,001	0,175	56	0,039	0,034	0,001	0,174
Juvéniles	Merlu	40	0,002	0,002	0,001	0,009	14	0,012	0,013	0,001	0,054
	Rouget	53	0,010	0,016	0,001	0,082	38	0,018	0,010	0,002	0,039
	Sébaste	36	0,085	0,102	0,006	0,435	39	0,003	0,003	0,001	0,012

### 4.3.10. Titane (traceur du rejet)

Sur les 20 tests réalisés, 4 tests montrent que la zone impactée est significativement plus contaminée que la zone de référence,

Muscle	Foie
<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>	<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>
Dorade rose : adultes (p-value < 0,0001 ; q-value = 0,019) Rouget : juvéniles (p-value = 0,004 ; q-value = 0,02) Sébaste : juvéniles (p-value < 0,0001 ; q-value = 0,019)	Merlu : adultes (p-value < 0,0001 ; q-value = 0,019)

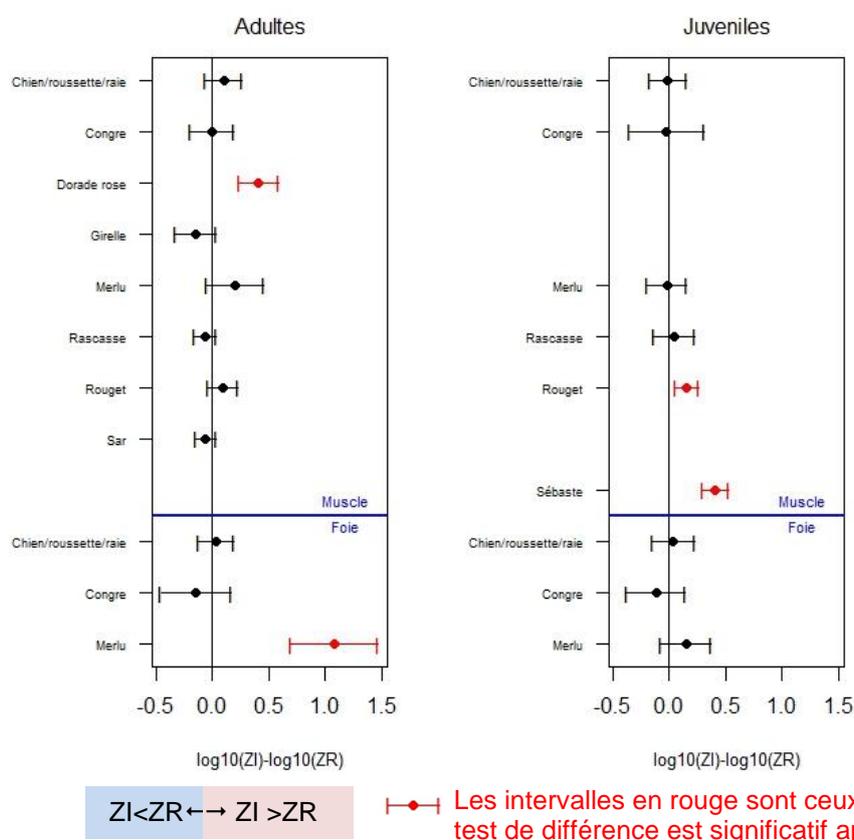


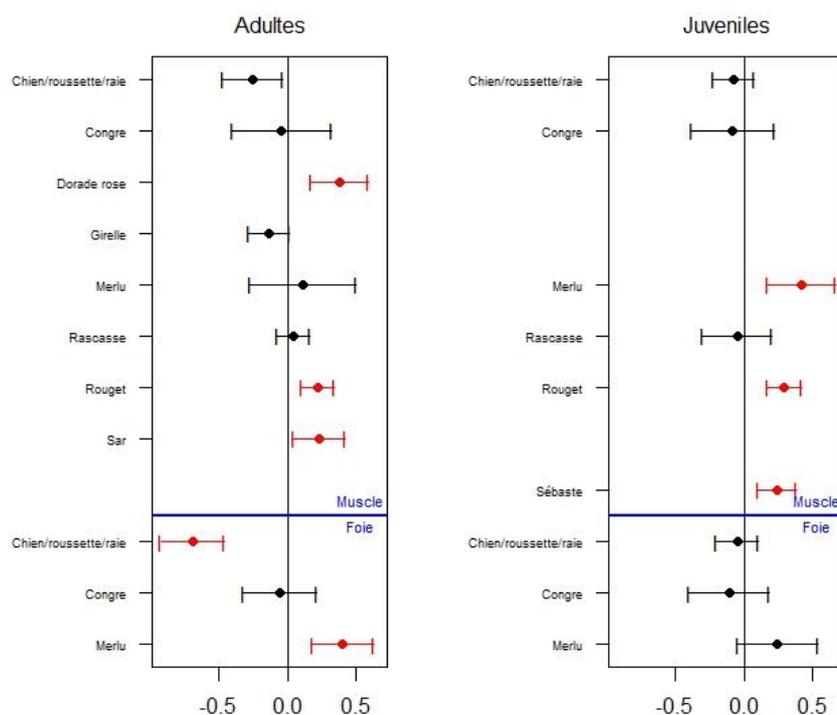
Tableau 12 : Niveaux de contamination en Ti dans le muscle des poissons pour lesquels les différences sont significatives (en mg/kg PF)

Age	Groupe espèce	Zone impactée (ZI)					Zone de référence (ZR)				
		N	Moy	ET	Min	Max	N	Moy	ET	Min	Max
Adultes	Dorade rose	22	0,091	0,111	0,013	0,547	30	0,030	0,030	0,013	0,166
	Rouget	53	0,069	0,038	0,025	0,192	38	0,047	0,026	0,012	0,138
Juvéniles	Sébaste	36	0,123	0,108	0,025	0,647	39	0,045	0,023	0,013	0,105

### 4.3.11. Vanadium (traceur du rejet)

Sur les 20 tests réalisés, 8 tests sont significatifs, Pour 7 d'entre eux, la zone impactée est la plus contaminée

Muscle	Foie
<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>	<b>Zone impactée &gt; Zone de référence pour :</b>
Dorade rose : adultes (p-value=0,0005 ;q-value=0,019) Merlu : juvéniles (p-value=0,001 ;q-value=0,019) Rouget : adultes (p-value=0,0003 ;q-value=0,019); juvéniles (p-value<0,0001 ;q-value=0,019) Sar : adultes (p-value=0,004 ;q-value=0,02) Sébaste : juvéniles (p-value=0,0009 ;q-value=0,019)	Merlu : adultes (p-value=0,001 ;q-value=0,019)
<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>	<b>Zone de référence &gt; Zone impactée pour :</b>
	Chien espagnol/roussette/raie : adultes (p-value<0,0001 ;q-value=0,019)



ZI < ZR ↔ ZI > ZR

Les intervalles en rouge sont ceux pour lesquels le test de différence est significatif après analyse FDR.

Tableau 13 : Niveaux de contamination en V dans le muscle des poissons pour lesquels les différences sont significatives (en mg/kg PF)

Age	Groupe espèce	Zone impactée (ZI)					Zone de référence (ZR)				
		N	Moy	ET	Min	Max	N	Moy	ET	Min	Max
Adultes	Dorade rose	22	0,003	0,003	0,001	0,013	30	0,001	0,001	0,000	0,004
	Rouget	89	0,005	0,004	0,001	0,020	33	0,004	0,004	0,001	0,020
	Sar	29	0,015	0,023	0,003	0,130	73	0,012	0,020	0,001	0,154
Juvéniles	Merlu	40	0,002	0,004	0,000	0,022	14	0,001	0,001	0,000	0,002
	Rouget	53	0,005	0,006	0,001	0,046	38	0,002	0,001	0,001	0,005
	Sébaste	36	0,004	0,004	0,001	0,026	39	0,003	0,002	0,000	0,009

#### 4.4. Conclusion du volet « poissons »

Dans sa note du 2 février 2015 (saisine 2014-SA-0223), l'Anses n'avait pas été en mesure de conclure avec précision sur l'impact potentiel des rejets liés aux activités de transformation de minerai de bauxite de l'usine d'Alteo sur l'état de contamination chimique des poissons en Méditerranée.

La présente étude s'appuie sur un nombre d'échantillons de muscles de poissons ( $n = 1372$ ) beaucoup plus important que celui des études fournies par Alteo dans le cadre du dossier ICPE ( $n = 28$  dans une étude de 2004 et  $n = 11$  dans une étude de 2013). Par ailleurs, les poissons pêchés en 2015 (entre juin et octobre) représentent un plus grand nombre d'espèces ( $n = 25$ ) que pour ceux pêchés par Alteo ( $n = 15$ ).

Concernant les méthodes analytiques mises en œuvre dans les études fournies par Alteo, les experts du CES ERCA avaient constaté que les limites de quantification pour l'étude de 2013 étaient élevées et ne permettaient pas de mettre en évidence d'éventuelles variations dans les niveaux de contamination des poissons, en particulier concernant l'aluminium. De plus, les experts avaient exprimé des réserves quant à la fiabilité des résultats d'analyse produites par l'exploitant pour le chrome III et le chrome VI dans les filets de poissons, compte tenu des difficultés pour conserver la spéciation du chrome lors de la préparation de l'échantillon et de l'absence de matériau de référence.

C'est la raison pour laquelle les analyses chimiques de la présente étude ont été réalisées par le laboratoire de l'Anses (Maisons-Alfort), qui est Laboratoire National de Référence pour les métaux lourds dans les denrées alimentaires d'origine animale selon la méthode multiéléments par ICPMS validée et accréditée Cofrac.

De plus, dans la présente étude, les poissons ont été pêchés dans deux zones définies par l'Ifremer : une zone dite impactée (ZI) car sous influence du rejet et une zone dite de référence (ZR), considérée comme n'étant pas sous influence du rejet. Il convient de signaler que cette zone dite de référence (ZR) n'a pas vocation à être une zone de référence pour l'ensemble de la Méditerranée, mais uniquement dans le contexte de la présente étude.

Les résultats obtenus dans le cadre de la présente étude ont fait l'objet d'une première étape de vérification et de validation de leur qualité (recherche des données aberrantes, erreurs d'unité, de codage, ...). Ils ont été analysés avec les méthodes statistiques adaptées aux données et aux objectifs de l'étude. Une première analyse globale a permis d'identifier une grande variabilité des niveaux de contamination des poissons par les 11 éléments chimiques en fonction des espèces, de l'âge et de la zone de pêche ainsi que la présence d'interactions entre ces différents facteurs (espèces, âge et zone). Cette variabilité et les interactions identifiées témoignent de la complexité du phénomène de contamination. Cependant, il a été possible de procéder à des comparaisons multiples entre les contaminations observées dans les deux zones de pêche par espèce et par âge.

Au total, 220 tests de comparaison de moyennes ont été réalisés, dont 154 sur le muscle. Afin de se prémunir contre les tests faussement positifs, une démarche plus stricte a été adoptée (par analyse FDR). Malgré cette procédure contraignante, 48 comparaisons sont sorties statistiquement significatives (muscles et foies confondus) dont 35 dans le sens d'un impact du rejet (zone impactée > zone de référence) et 13 dans le sens d'une plus grande contamination de la zone de référence par rapport à la zone impactée (zone impactée < zone de référence). Plus spécifiquement pour le muscle, parmi les 39 comparaisons statistiquement significatives, 29 vont dans les sens d'un impact du rejet (zone impactée > zone de référence).

Pour les principaux éléments traceurs des rejets en lien avec les activités de transformation de minerai de bauxite de l'usine d'Alteo, à savoir l'aluminium, le vanadium et le titane, les tests significatifs concernant le muscle vont toujours dans le sens d'une plus grande contamination dans la zone impactée par le rejet.

En conclusion générale, nonobstant les difficultés liées à la variabilité des niveaux de contamination selon les éléments chimiques, les espèces de poissons et leur âge ainsi qu'à la définition de la zone de référence, des signaux relatifs à une contamination plus importante dans la zone de pêche sous influence du rejet de l'usine d'Alteo ont été mis en évidence.

Les travaux de l'Anses soulignent également une problématique de contamination marquée en Méditerranée pour différentes substances dans les 2 zones de prélèvement.

**Le directeur général**

Marc Mortureux

**ANNEXE 1 : PROTOCOLE POUR UNE NOUVELLE CAMPAGNE DE PÊCHE (4 MAI 2015), ANSES ET IFREMER****1. Opérations de pêche**

Deux catégories d'espèces à échantillonner sont arrêtées afin de distinguer :

- les espèces commerciales locales, directement concernées par le risque sanitaire ;
- les espèces sentinelles.

**1.1 Espèces commerciales**

L'approche est conditionnée par le risque sanitaire pour les consommateurs en lien avec certaines pratiques culinaires locales. Ainsi, certaines espèces proposées ne sont pas forcément mentionnées dans les bases de données de consommation alimentaire de la population générale française (Afssa INCA2, 2009 et Afssa Calipso, 2006), mais sont (i) toutes pêchées en Méditerranée française, (ii) très prisées des consommateurs locaux et régionaux, (iii) connues pour bien concentrer les métaux lourds.

Le but sera, pour chaque espèce retenue, d'avoir une connaissance de la contamination chimique de son muscle, de comparer celle-ci aux seuils sanitaires en vigueur pour les contaminants réglementés, et de réaliser une évaluation des risques sanitaires liés à la consommation de ces espèces et du bruit de fond alimentaire.

Le tableau ci-dessous précise, pour chaque espèce proposée, la catégorie de taille à échantillonner. La priorité est ici portée sur les adultes (tailles commerciales) du fait des risques liés à la consommation.

Nom vernaculaire	taxinomie	taille
Daurade royale	<i>Sparus aurata</i>	> 30 cm
Dorade rose	<i>Pagellus erythrinus</i>	> 20 cm
Merlu européen ou merlan	<i>Merluccius merluccius</i>	> 40 cm
Rascasse	<i>Scorpaena porcus</i>	> 15 cm
Girelle	<i>Coris julis</i>	indifférenciée
Sardine	<i>Sardina pilchardus</i>	> 12 cm
Sar commun	<i>Diplodus sargus</i>	> 20 cm
Sar à tête noire	<i>Diplodus vulgaris</i>	> 20 cm
Mulet - muges		> 25 cm
Chinchard	<i>Scomber scombrus</i>	> 30 cm
Loup	<i>Dicentrarchus labrax</i>	> 30 cm
Rouget de roche	<i>Mullus surmuletus</i>	> 18 cm
Rouget barbet de vase	<i>Mullus barbatus</i>	> 15 cm
Moule	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	
Oursin violet	<i>Paracentrotus lividus</i>	
Violet	<i>Microcosmus</i>	
Poulpe commun	<i>Octopus vulgaris</i>	

La distinction entre la daurade royale et la dorade rose (homonymie, mais deux poissons d'un genre distinct) s'explique par leur répartition bathymétrique et leur écologie spécifiques, pouvant induire des contaminations notablement différentes. Il en est de même pour la distinction entre le rouget de roche et le rouget de vase (poissons du même genre).

Si l'effort d'échantillonnage découlant de cette liste s'avérait trop important, le sar commun et le sar à tête noire pourraient être regroupés dans le même échantillon. De même, l'échantillonnage du chinchard pourrait être abandonné.

## 1.2 Espèces sentinelles

Le but est ici, pour chaque espèce, de juger de l'impact du rejet sur la zone. A cette fin, il est nécessaire de disposer d'espèces pour lesquelles des données de contamination chimique sont déjà disponibles (cf, programmes MERLUMED et RETROMED). La présence de quelques espèces (également commerciales) déjà mentionnées dans le tableau précédent est donc volontaire (Merlu et Rouget).

Le but sera, pour chaque espèce retenue, d'avoir une connaissance de la contamination chimique de son muscle et son foie, et de comparer celle-ci aux données disponibles.

L'échantillonnage des espèces sentinelles concerne a priori tant les juvéniles que les adultes afin de mieux cerner la compréhension des phénomènes de contamination et leurs mécanismes.

Nom vernaculaire	taxinomie	taille		
		juvénile	adulte	indifférenciée
Merlu européen ou merlan	<i>Merluccius merluccius</i>	< 20 cm	> 40 cm	
Rouget de roche	<i>Mullus surmuletus</i>	< 15 cm	> 18 cm	
Rouget barbet de vase	<i>Mullus barbatus</i>	< 12 cm	> 15 cm	
Roussette	<i>Scylliorhinus canicula</i>	< 30 cm	> 40 cm	
Congre commun	<i>Conger conger</i>	< 50 cm	> 75 cm	
Raie bouclée	<i>Raja clavata</i>			X
Oursin violet	<i>Paracentrotus lividus</i>			X
Murex	<i>Bolinus brandaris</i>			X

Au regard de la charge analytique, la priorité pourra toutefois être portée sur les adultes. De même, si l'effort d'échantillonnage du murex s'avérait trop important du fait que sa présence et son abondance dans le périmètre géographique du rejet d'ALTEO ne sont pas évidentes, il pourrait être abandonné.

Le protocole d'échantillonnage pourra être adapté et spécifique à une espèce.

Ainsi, pour les merlus, la proposition est d'échantillonner 10 individus pour chaque classe de 10 cm, jusqu'à 50 cm, permettant d'avoir un échantillonnage complet des juvéniles (plus sédentaires, avec une contamination à très forte variabilité) aux adultes (mobiles, avec de hauts niveaux de contamination).

Pour les rougets, 30 individus entre 15 et 20 cm.

Pour les roussettes, 30 individus entre 30 et 50 cm.

## 1.3 Période d'échantillonnage

En regard des résultats analytiques attendus pour la fin de l'été 2015, nécessitant des délais d'analyses incompressibles, tous les échantillons retenus devraient être prélevés entre mai et la fin juillet.

## 1.4 Zones d'échantillonnage

Il est proposé d'échantillonner, d'une part la zone sous impact direct du rejet de l'émissaire sous-marin, d'autre part une zone de "référence" hors impact de ce rejet.

\* Zone sous impact de l'émissaire

La zone préconisée concerne le canyon de Cassidaigne au sens large, et s'étend de la côte à l'isobathe 300 mètres, permettant de couvrir le droit de l'émissaire, ses bords est et ouest, et de prendre en compte les phénomènes de remontée d'eaux profondes (upwelling) dans la zone côtière.

\* Zone de "référence"

Afin de s'extraire de l'impact non seulement du rejet d'ALTEO mais également d'autres rejets comme celui de l'émissaire de Cortiou, il est suggéré de chercher une telle zone de "référence" plus à l'Est, par exemple au voisinage de la rade de Hyères et de la tête de canyon des Stoechades.

L'obtention des différents échantillons correspondant aux listes ci-dessus impliquera des opérations de pêche en zones côtière et profonde, menées par des professionnels utilisant différents engins et

stratégies de pêche (à savoir pêche à la senne, au filet, et en plongée). Les coordonnées géographiques des prélèvements devront également être relevées.

Pendant ces opérations de pêche, la présence d'un observateur assermenté est indispensable afin de certifier le respect des protocoles d'échantillonnage (zones de prélèvements, espèces pêchées, tailles, conditionnement à bord, ...).

### **1.5 Effectif**

L'objectif du plan d'échantillonnage est d'obtenir 30 échantillons de muscle et/ou de foie par espèce et par zone d'échantillonnage, et ce, pour les espèces commerciales et les espèces sentinelles (sauf exception des merlus pour lesquels il est demandé 10 espèces par tranche de 10 cm jusqu'à 50 cm). Si un poisson s'avère trop petit pour constituer un échantillon (100 g), d'autres poissons de la même espèce (mêmes tailles et masses) devront être pêchés afin de pouvoir constituer un lot.

### **1.6 Laboratoires**

Les analyses des échantillons pourront être réalisées par :

- Option 1 : le Laboratoire National de Référence (éléments traces métalliques dans les denrées alimentaires d'origine animale, laboratoire Anses), en collaboration avec 9 autres laboratoires de son réseau. Si cette option est choisie, le protocole est décrit dans le paragraphe suivant (1.7).
- Option 2 : un laboratoire privé. Si cette option est choisie, le protocole sera fourni par le laboratoire.

### **1.7 Conservation des échantillons et mesures (option 1)**

Dès leur capture, les individus doivent être placés entiers dans des sacs plastiques propres fermés hermétiquement et congelés ou transportés immédiatement au laboratoire à une température inférieure à 12°C. L'enceinte dans laquelle s'effectue le conditionnement des individus doit être non contaminée.

Le prélèvement et la préparation des échantillons (broyage, homogénéisation et congélation dans les contenants appropriés) pour analyse de contaminants métalliques se feront dans un laboratoire sur site, proche des lieux de pêche.

#### **\* Biométrie**

Chaque organisme doit être pesé (à 0,1 mg près) et mesuré (au mm près). Ces données permettront l'interprétation a posteriori des résultats.

#### **\* Dissections**

Suite aux mesures bio-métriques, les organismes seront disséqués et les échantillons seront prélevés pour les analyses. Les tissus choisis sont ceux classiquement utilisés pour ces analyses, conformément à la littérature et aux habitudes alimentaires : le muscle pour les poissons et les mollusques, les gonades pour les oursins. Pour les poissons faisant partie de la liste des espèces sentinelles, le foie sera également analysé. C'est en effet dans cet organe que s'accumulent généralement les métaux.

#### **\* Analyse des concentrations en contaminants métalliques**

L'analyse des concentrations en contaminants métalliques sera effectuée sur un échantillon de tissu d'environ 100 g (masse humide). Pour les plus petits individus, la quantité importante de matière nécessaire à l'analyse ne permet pas toujours de disposer d'un échantillon par individu. Il sera donc nécessaire de regrouper les échantillons issus de plusieurs petits individus pour atteindre la quantité de matière nécessaire à l'analyse. Les groupes doivent être formés à partir d'individus de taille et de masse comparables, afin de conserver un sens biologique aux résultats obtenus.

Les modalités de préparation des échantillons et de nettoyage des ustensiles sont précisées dans la procédure spécifique LNR de l'Anses (cf. documents Procédure LNR Anses nettoyage vaisselle-LSA-PS-0040.pdf et Procédure LNR Anses préparation échantillons-LSA-PS-0047.pdf). Chaque échantillon sera broyé selon la procédure et placé dans un flacon en polyéthylène de qualité laboratoire garanti sans source de contamination des éléments d'intérêt. Ils auront préalablement été tarés vides, pourvus de leur étiquette et sans couvercle, avec une précision de 0,1 g.

En ce qui concerne les analyses chimiques des éléments métalliques retenus, il est nécessaire de se référer à la méthode multiélémentaire par ICPMS validée et accréditée Cofrac décrite par Chevallier et al, (2015).

### **1.7 Substances à analyser**

La liste des substances à analyser ainsi que leurs limites analytiques (limite de détection (LOD) et limite de quantification (LOQ) en mg/kg de poids frais) figurent dans le tableau suivant :

Substance	mg/g de poids frais	
	LOD	LOQ
Aluminium	0,042	0,083
Arsenic total	0,0010	0,002
Cadmium	0,0003	0,0005
Cobalt	0,0007	0,001
Chrome	0,005	0,010
Manganèse	0,003	0,005
Mercure total	0,0005	0,008
Nickel	0,025	0,050
Plomb	0,0003-0,0005	0,0025
Vanadium	0,0005	0,001
Titane	0,03	0,050

Compte tenu de son intérêt en matière d'évaluation des risques, mais considérant néanmoins la complexité analytique de mise en œuvre, la réalisation de quelques mesures d'arsenic inorganique sur une palette d'espèces destinées à la consommation est fortement suggérée. Elle pourra être discutée en lien avec le laboratoire retenu (LOD : 0,003 mg/g, LOQ = 0,005 mg/g). S'agissant du méthylmercure, des hypothèses majorantes d'évaluation des risques pourront être posées, à défaut d'analyses spécifiques.

## **2. Evaluation de la contamination chimique basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules - Protocole expérimental**

### **2.1 Introduction**

La mesure des contaminants chimiques directement dans la colonne d'eau est coûteuse, difficilement interprétable et peu applicable à de nombreux échantillons prélevés le long d'un important linéaire côtier. Pour surmonter ces difficultés, les contaminants peuvent être mesurés dans la chair de bioaccumulateurs naturels comme les moules. Depuis 1994, le Réseau Intégrateurs Biologiques (RINBIO), conçu par l'Ifremer en partenariat avec l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, cherche à évaluer les niveaux de contamination chimique à l'échelle de la façade méditerranéenne en utilisant une technique de caging de moules. Depuis 2006, ce réseau est utilisé pour rendre compte de la qualité chimique des eaux littorales au titre de la Directive Cadre Eau.

La biosurveillance repose dans la capacité de la moule à concentrer dans ses tissus les contaminants chimiques dans un facteur proportionnel à leur biodisponibilité. Les stratégies développées sont de deux types. Certaines utilisent les populations indigènes de moules sauvages ou cultivées (biosurveillance

passive (cas du ROCCH matière vivante en France). D'autres ont recouru aux transplants d'individus provenant d'un site de référence (biosurveillance active). Les gisements naturels de moules n'étant pas disponibles sur tout le linéaire côtier du littoral méditerranéen français, le réseau RINBIO s'appuie sur cette dernière stratégie.

Plusieurs études ont mis en évidence que la quantité de contaminant bioaccumulée par la moule est à la fois dépendante, des caractéristiques du site de stabulation (salinité, température, capacité trophique, etc.) et de la quantité de contaminants biodisponibles. Ainsi, si les concentrations mesurées dans les tissus restent fonction des concentrations en contaminants biodisponibles, le facteur de bioaccumulation (rapport entre la concentration dans les tissus mous et celle dans le milieu) est en particulier très dépendant de la capacité trophique du milieu. La comparaison directe des concentrations en contaminants dans les tissus de moules ne peut se faire qu'à une échelle locale, dans des secteurs de potentiel trophique homogène.

Dans le cas présent, la mise en œuvre de caging de moules pour le suivi du rejet Alteo présente des avantages et des inconvénients.

\* Avantages :

- la période d'exposition est connue,
- les stations de surveillance peuvent être sélectionnées indépendamment de la présence de population naturelles et de leur distance à la côte, permettant ainsi un suivi précis de la zone d'influence du rejet,
- les mesures sont optimisées par l'utilisation d'échantillons homogènes au regard de la population d'origine, de la taille, de l'âge et de leur environnement ...

\* Inconvénients :

- la tenue des mouillages face aux aléas climatiques et humains.

## **2.2 Protocole expérimental**

### **2.2.1 Espèce**

La moule *Mytilus galloprovincialis* est utilisée; elle répond à plusieurs exigences :

- physiologie et processus de bioaccumulation bien connus,
- large aire de répartition en Méditerranée,
- facilité d'approvisionnement,
- tolérance à de larges gammes de température et de salinité,
- résistance à la déshydratation (transport).

### **2.2.2 Caractéristiques du lot**

Plusieurs critères doivent être respectés :

- Le lot est composé de moules ayant un patrimoine génétique homogène. Les moules de captage conviennent tout particulièrement car leur cycle de croissance s'est intégralement déroulé sur le site de production.
- Les moules doivent avoir le même âge, 18 à 24 mois (50 mm de longueur de coquille environ), période où le métabolisme est stable.
- Le site d'origine du lot **doit être impérativement peu ou pas contaminé par les contaminants recherchés**, car les cinétiques de décontamination sont beaucoup plus lentes que les cinétiques de contamination.

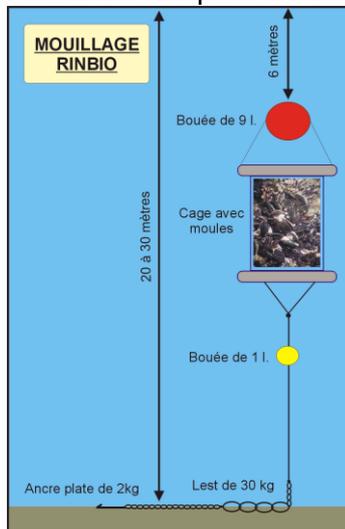
Pour sélectionner la cohorte désirée, le calibrage est réalisé sur la hauteur de coquille (calibreuse à grille de 19 mm). Un double calibrage est souhaitable et permet d'obtenir une cohorte homogène (cette opération engendre une mortalité évaluée entre 20 et 25).

Le lot obtenu est mis en poche ostréicole contenant au maximum 3 kg de moules, puis immergé sur le site d'origine pour favoriser le regrappage et éviter des accidents de mortalité lors de la pose.

### **2.2.3 Mouillages (schéma 1 et photo 1)**

La structure de mouillage répond à plusieurs critères :

- Faible coût,
- Facilité de manutention (pose et relève rapide),
- Tenue adaptée aux conditions hydrodynamiques de la Méditerranée française jusqu'à la bathymétrie des 10 m,
- Flottabilité adaptée à l'alourdissement du système par envasement et biofouling.



**Schéma 1 : structure du mouillage RINBIO**

**Photo 1 : poche RINBIO et nokalon supérieur**

Il s'agit d'un dispositif de subsurface immergé entre 10 et 6 mètres de la surface pour limiter fortement les forces de traînée. La discrétion de ce système permet de réduire les risques de disparition liée au vandalisme et d'éviter les collisions avec les embarcations. Dans une étude d'impact et en zone sécurisée il est par contre recommandé d'utiliser une marque en surface pour faciliter les opérations de récupération.

L'échantillon de 3 kg de moules est stocké dans une poche ostréicole de maille 18 mm de dimension limitée à 0,5 m X 0,35 m. La poche est rigidifiée par deux tubes PVC diamètre 40mm fendus dans leur longueur et enfilés sur la partie supérieure et inférieure de la poche. Un flotteur principal de 11 litres fixé au-dessus de la poche assure son maintien à 6 mètres de la surface quelles que soient les conditions d'envasement ou « biofouling ». La tenue du système au fond est assurée par un lest de 30 kg constitué de 4 maillons de chaîne. Afin d'entraver tout risque de déplacement du système, une ancre plate de 2 kg peut éventuellement être rajoutée au lest, La liaison entre le lest et l'ancre est assurée par une chaîne galvanisée de diamètre 8mm et d'une longueur de 4 mètres. La liaison entre le lest et la poche est réalisée par du cordage polypropylène flottant de diamètre 7 mm. La détection du mouillage après un positionnement précis est soit visuelle, soit acoustique avec une détection sonar et sondeur de pêche ou des « pingers ».

Pour caractériser la présence et augmenter la distance de détection du mouillage au sonar et au sondeur, un ou deux flotteurs de type «nokalon » de 1 litre sont ajoutés sur la ligne de mouillage. Leur emploi permet :

- de repérer de plus loin le mouillage au sondeur à balayage et de suivre son signal tout au long de l'approche avec le bateau,
- d'obtenir un signal caractéristique au sondeur vertical et à balayage du mouillage,
- l'accrochage des mouillages avec un système traînant de récupération sans plongeurs.

Dans le cas d'un marquage en surface, le repérage est visuel.

#### 2.2.4 Période et durée d'immersion

L'immersion doit être réalisée pendant la période de repos sexuel qui débute chez *Mytilus galloprovincialis* début avril et se termine fin août.

Pendant le repos sexuel les réserves énergétiques sont élevées (ce qui améliore la survie des lots) et la physiologie de la moule est plus stable. D'autre part, la perte de contaminant par ponte fausserait certains résultats, en particulier pour les contaminants organiques.

La durée d'immersion pour atteindre un pseudo équilibre avec le milieu est d'environ 3 mois, 2,5 mois étant le minimum recommandé.

### **2.2.5 Moyens nautiques**

Pour pouvoir accéder aux stations en toute sécurité et y effectuer un positionnement précis et reproductible (position géographique + bathymétrie) il est préférable de disposer d'un bateau de petite taille, de faible inertie (maximum 20m) et de faible tirant d'eau (1 à 1,5m maximums) ? Il doit également être manœuvrable et puissant pour pouvoir travailler exposé au vent de côte.

### **2.2.6 Positionnement des stations**

Les poches à moules sont maintenues à une profondeur de 10 mètres quelle que soit la bathymétrie de la zone.

Les positions recommandées pour le suivi du rejet Altéo sont fournies en annexe. Deux types d'informations ont été prises en compte pour leur positionnement : (1) les niveaux de contamination mesurés dans la moule dans le cadre de précédentes études dans la zone concernée, (2) la zone d'impact potentielle du rejet basée sur les connaissances hydrologiques de la zone. Il est à noter que les coordonnées fournies sont approximatives et pourront être légèrement adaptées par l'exploitant lors de la pose sur le terrain en fonction notamment de la bathymétrie réelle. Par ailleurs, la liste des points préconisés est une liste minimale qui pourra être bien évidemment être complétée par l'exploitant en fonction de données à sa disposition.

### **2.2.7 Récupération des stations**

En mer la récupération des poches à moules a lieu en plongée ou par grapinage (photos 2). L'usage combiné du GPS différentiel, d'un sonar panoramique et d'un sondeur vertical permet de repérer les mouillages sans difficultés. Le signal composé de 2 ou 3 signaux lenticulaires à des profondeurs connues permet de le distinguer avec certitude parmi les échos parasites engendrés par des bancs de poissons, des déchets flottants ou des thermoclines fréquentes dans la zone côtière.



Photos 2 : récupération des mouillages en plongée

### **2.2.8 Traitement des échantillons**

L'enceinte dans laquelle s'effectue le traitement doit être non contaminée et munie d'un plan de travail, d'un réfrigérateur et d'un congélateur. Après la relève des poches, les échantillons de moules sont transportés au laboratoire, des glacières et blocs de froid doivent être utilisés afin de maintenir les échantillons à une température inférieure à 15°C.

Des données, se rapportant à la biométrie de l'échantillon de moules, sont récoltées durant la relève :

- la mortalité est directement mesurée sur le bateau. Cette estimation intègre la mortalité due aux opérations de calibrage (20 %). C'est un indicateur de bonnes ou de mauvaises conditions du milieu pour la survie des moules.

- La mesure de la hauteur de coquille permet d'observer l'homogénéité du lot. Pour chaque lot, quinze moules sont prises au hasard puis mesurées dans le sens de la hauteur à l'aide d'un pied à coulisse au 1/10<sup>ème</sup> de millimètre.

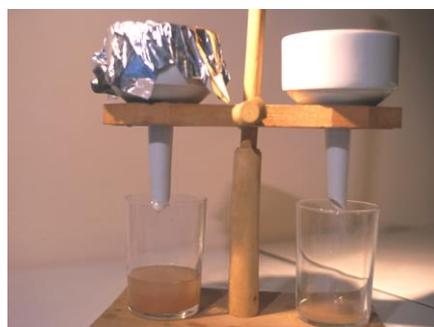
### Mise en piluliers

Le décoquillage doit se faire au laboratoire. Un scalpel en acier inoxydable propre est utilisé. L'ouverture se fait en évitant d'endommager le mollusque avec la lame. Il est indispensable d'éliminer le byssus. La chair est mise à égoutter sur un entonnoir de Büchner en porcelaine. Le temps d'égouttage est de 30 minutes (photos 4 et 5).

Cette phase du traitement est la plus délicate car le mollusque n'est plus protégé par sa coquille et peut être contaminé par l'atmosphère du laboratoire ou des projections diverses. Il est donc nécessaire de procéder au décoquillage et à l'égouttage dans un laboratoire où n'est menée aucune activité contaminante. L'égouttage des coquillages sous une hotte à flux laminaire est à privilégier. Dans tous les cas, il est nécessaire de protéger le Büchner avec une feuille de papier aluminium préalablement calcinée.

Le port de gants en polyéthylène jetables est impératif lors du décoquillage et doivent être changés d'un lot à l'autre. Les entonnoirs et couteaux utilisés sont lavés puis rincés trois fois à l'eau distillée à chaque changement de lot.

Pour chaque échantillon, lorsque l'égouttage est terminé, deux piluliers de 90 ml sont remplis aux trois-quarts. Ceux-ci sont fermés en intercalant une feuille d'aluminium préalablement calcinée entre le verre et la capsule plastique. Les piluliers auront préalablement été lavés à l'acide nitrique 10 % puis rincés selon les protocoles recommandés par AQUAREF. Ils doivent être tarés vides, pourvus de leur étiquette et sans couvercle, avec une précision de 0,1 g.



Photos 4 et 5 : préparation des échantillons

## 2.2.9 Protocoles d'analyses et mesures

### Poids sec moyen de coquille et poids sec moyen de chair

Après la campagne, de retour au laboratoire, les coquilles des individus d'un même lot contenus dans les deux piluliers servant aux analyses chimiques sont séchées à 60°C à l'étuve, puis pesées. En divisant la masse obtenue par le nombre d'individus, on obtient le poids sec moyen d'une coquille de ce lot.

La chair des individus contenue dans les deux piluliers est lyophilisée puis pesée au laboratoire d'analyse chimique. En divisant la masse obtenue par le nombre d'individus, on obtient le poids sec moyen de chair de chaque lot.

Les poids sec de coquilles et de chair sont mesurés afin de déterminer un indice de condition. Le rapport du poids sec moyen de chair d'un lot sur le poids sec moyen de coquille (appelé indice de condition) permet d'ajuster les valeurs en tenant compte de la variabilité des sites de stabulation.

Cette précaution doit être prise même si l'échelle spatiale de la présente étude est réduite. En effet, la comparaison des résultats obtenus avec ceux issus de la littérature nécessitera une correction de la mesure basée sur l'indice de condition de la moule.

En ce qui concerne les analyses chimiques des éléments métalliques retenus, il est nécessaire de se référer aux méthodes préconisées pour la mesure des métaux dans le biote recommandées par AQUAREF, accessibles via les sites (déjà cités au premier point de cette note) :

\* [http://www.aquaref.fr/system/files/Aquaref\\_2013\\_D1b\\_Irstea\\_MA03-M%C3%A9taux-Methode\\_analyse\\_dans\\_biote\\_VF.pdf](http://www.aquaref.fr/system/files/Aquaref_2013_D1b_Irstea_MA03-M%C3%A9taux-Methode_analyse_dans_biote_VF.pdf)

\* <http://www.aquaref.fr/system/files/Fiche+MA2+-+Mercure+-+S%C3%A9diments+boues+et+biote.pdf>

### 2.2.10 Substances à analyser

La liste des substances à analyser est la suivante :

- Aluminium,
- Arsenic total
- Cadmium,
- Cobalt,
- Chrome,
- Manganèse,
- Mercure total,
- Nickel,
- Plomb,
- Vanadium,
- Titane.

Les limites analytiques (LOD/LOQ) devront, si possible, être identiques à celles présentées dans la première partie du plan d'échantillonnage relative aux espèces commerciales et sentinelles.

### 2.3 Bibliographie

- Afssa (2009). Étude individuelle nationale des consommations alimentaires. Coordinateur Lionel Lafay.
- Afssa (2006). Etude des consommations alimentaires de produits de la mer et Imprégnation aux éléments traces, polluants et oméga 3, AFSSA-DGAI-INRA, août 2006, Leblanc J.Ch. (Coordinateur).
- Andral B., F. Galgani., C. Tomasino., C. Blottière., A. Scarpato., J. Benedicto., S. Deudero., A. Cento., M. Calvo., S. Benbrahim., M. Boulmahdid and C. Sammari., 2010. Chemical contamination baseline in the Western basin of Mediterranean Sea based on transplanted mussels: the MYTILOS project. *Arch Environ Contam Toxicol*. DOI 10.1007/s00244-010-9599.
- Andral B. (2010). RINBIO 2009 : Evaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2009. RST.DOPLER/PAC/10-15, novembre 2010.
- Andral B., Galgani F., Tomasino C. 2008. Programme INTERREG III B - MYTILOS : Evaluation de la contamination chimique en Méditerranée Occidentale par la méthode des transplants de moules. Synthèse des résultats (campagnes 2004, 2005 et 2006). RST.DOP/LER-PAC/08-03, février 2008
- Andral B., Stanisiere J. Y., Sauzade D., Damier E., Thebault H., Galgani F., Boissery P. 2004. Monitoring chemical contamination levels in the Mediterranean based on the use of mussel caging. *Marine Pollution Bulletin*. 49 . 704 – 712.
- Andral B., Stanisiere J. Y., Thebault H., Boissery P. 2001. Surveillance des niveaux de contamination chimique et radiologique en Méditerranée basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules. Rapport du 36ème congrès de la CIESM, Monaco septembre 2002, volume 36 (1), 107.

- Andral B., Tomasino C. 2007. Campagne RINBIO 2006 : évaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2006. Convention AERM&C/Ifremer n° 2006-1635. RST.DOP/LER-PAC/07-24, décembre 2007.
- Andral B ; 2001. Control de los niveles de contaminacion quimica con bioacumuladores : programa RINBIO. Séminaire de restitution final du Programme INTERREG II C « Vigilancia y control de la contaminación marina litoral en el Mediterraneo ». Barcelone 28 – 30 novembre 2001.
- Andral B., Stanisière J. Y. 2001. Réseau Intégrateurs Biologiques : évaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 2000. Rapport à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse ; convention n° 010706.
- Andral B., Stanisière J. Y. 2000. Réseau Intégrateurs Biologiques : évaluation de la qualité des eaux basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules en Méditerranée : résultats de la campagne 1998. Rapport à l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse ; convention n° 991452 et 992461.
- Bergman A., 1993. Concentration of PAH, PCBs and heavy metals in the blue mussel *Mytilus edulis*. 1993 Project Polwad/ Beon Effekt Ministry of Transport, Public Work and Water Management of Netherlands.
- Chevallier E, Chekri R, Zinck J, Guérin T et Noel L, 2015. Simultaneous determination of 31 elements in foodstuffs by ICP-MS after closed-vessel microwave digestion: Method validation based on the accuracy profile. Journal of Food Composition and Analysis, 41, 35-41.
- Claisse D., Joanny M., Quintin J Y., 1992. Le réseau national d'observation de la qualité du milieu marin (RNO) . Analisis . 6 : 19 - 23.
- Comité de Bassin. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Bassin Rhône-Méditerranée-Corse. Agence de l'Eau RMC Ed., Lyon (1995).
- Denis J., Miossec L., Hénocque Y., Console J.J et Angeli J.P., 1994. Qualification du littoral Méditerranée et cartographie en zones homogènes. Rapport d'étude pour l'Agence de l'Eau RMC, IFREMER Toulon.
- Fischer H ., 1984. Cadmium body burden/Shell weight of mussel : a precise index for environmental monitoring. Comm Meet in Count Explor See CM - ICES/E 41 : 1 - 19.
- Galgani F., Chiffolleau J.F., Barraha M. Drebika U., Tomasino C., Andral B. (2014) Assessment of heavy metal and organic contaminants levels along the Libyan coast using transplanted mussels (*Mytilus galloprovincialis*). Environmental Science and Pollution Research, 21 (19), 11331-11339 ; DOI: 10.1007/s11356-014-3079-1.
- Joanny M., Console J. J., Claisse D., Hénocque Y., 1994. Proposition d'un cahier des charges pour une étude de la qualité du milieu littoral basée sur des intégrateurs biologiques. Proposition finale. Rapport d'étude pour l'Agence de l'Eau RMC, IFREMER Toulon.
- Joanny M., Belin, C., Claisse D., Miossec L., Berthomé J. P., Grouhel A., Raffin B., 1993 Qualité du milieu marin littoral - Editions Ifremer.
- Lobel P.B and Wright., D.A 1982. Relationship between body zinc concentration and allometric growth measurement in the mussel *Mytilus edulis*. Mar. Biol. 66 145-150.
- O'Connors T. P., 1992. Mussel Watch: recent trends in coastal environmental quality. U. S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Phillips D. J. H., 1976. The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. Effect of environmental variables on uptake of metals. Mar. Biol. 38 : 59 - 69.
- Sargian P., Andral B.(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, 94p.

Soto M., Kortabitarte M., Marigomez I., 1995. Bioavailable heavy metals in estuarine waters as assessed by metal/shell weight indices in sentinel mussels *Mytilus galloprovincialis*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 125 : 127 - 136.

Thébault H., Charmasson S., Calmet D., Arnaud M et Henocque Y., 1997. The coastal méditerranéen monitoring network project : radionuclide survey . Radiation Protection Dosimetry, in press.

Wang W.X., Fisher N.S., Luoma, S. N., 1996. Kinetic determination of trace element bioaccumulation in the *Mytilus edulis*. Mar. Ecol. Prog. 140 : 91 - 113.

<http://www.ifremer.fr/envlit/region/reg10paca/rlm.htm#RINBIO>

**Annexe 1 : Carte des points de suivi préconisés**



**Annexe 2 : Coordonnées GPS des points de suivis préconisés**

Coordonnées WGS 84 DD

Point	Latitude	Longitude	Profondeur approximative
Rejet	43,13912053 N	5,50531054 E	200 m
M 1-1	43,15561855 N	5,4339165 E	100 m
M 1-2	43,16957662 N	5,39618113 E	50 m
M 2-1	43,16552757 N	5,50659349 E	100 m
M 2-2	43,19689856 N	5,51001963 E	50 m
M 3-1	43,14925196 N	5,52874757 E	100 m
M 3-2	43,16886627 N	5,57488588 E	50 m
M 4-1	43,12156563 N	5,44736557 E	200 m
M 4-2	43,10903646 N	5,55117261 E	200 m

**ANNEXE 2 : NIVEAUX DE CONTAMINATION PAR ESPÈCE SELON LES ZONES POUR LES 11 ÉLÉMENTS CHIMIQUES****Toutes tailles confondues**

Groupe espèce	matrice	Zone impactée					Zone de référence				
		N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg	N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg
<b>Aluminium</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	0,238	0,723	0,021	7,817	6	1,769	2,503	0,160	5,711
Chien esp./roussette/raie	foie	81	1,600	1,594	0,042	7,033	86	2,533	2,318	0,463	14,108
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	0,947	1,428	0,021	11,497	91	1,261	1,012	0,021	4,815
Chinchard	muscle	42	0,233	0,220	0,021	1,081	30	0,307	0,250	0,021	0,921
Congre	foie	30	0,179	0,123	0,021	0,535	21	0,342	0,453	0,021	1,931
Congre	muscle	31	0,083	0,152	0,021	0,858	23	0,052	0,096	0,021	0,465
Daurade royale	muscle	24	0,056	0,065	0,021	0,254	4	0,147	0,033	0,117	0,189
Dorade rose	muscle	27	0,339	0,428	0,021	2,083	30	0,207	0,152	0,042	0,671
Girelle	muscle	32	0,122	0,097	0,021	0,389	31	0,168	0,225	0,021	1,110
Loup	muscle						1	0,021		0,021	0,021
Merlu	foie	48	1,964	2,562	0,042	14,479	23	0,925	0,695	0,059	3,130
Merlu	muscle	53	0,464	0,470	0,021	2,139	24	0,147	0,147	0,021	0,487
Moule	moule	24	15,374	14,804	3,026	61,153					
Mulet	muscle	27	0,338	0,398	0,021	1,770	7	0,080	0,071	0,021	0,218
Murex	muscle	36	5,487	7,398	0,198	35,209	15	5,425	6,763	0,436	27,202
Oursin violet	gonades	30	4,816	3,954	0,927	16,800	30	22,469	12,593	6,450	51,000
Pageot commun	muscle						6	0,948	0,191	0,743	1,270
Poulpe commun	muscle	8	0,256	0,240	0,021	0,752	7	0,258	0,178	0,059	0,629
Rascasse	muscle	39	0,810	0,859	0,042	3,689	71	0,778	0,745	0,108	3,740
Rouget	foie	10	1,700	2,015	0,042	5,296	10	0,629	0,838	0,042	2,355
Rouget	muscle	145	1,249	2,299	0,042	24,632	74	0,276	0,442	0,021	2,320
Saint Pierre	foie	1	0,584		0,584	0,584					
Saint Pierre	muscle	36	0,161	0,333	0,021	2,030	1	0,130		0,130	0,130
Sar	muscle	32	0,238	0,158	0,021	0,683	92	0,212	1,163	0,021	11,076
Sardinelle	muscle						2	0,099	0,052	0,062	0,136
Sébaste	muscle	37	0,694	0,683	0,137	3,364	46	0,225	0,295	0,021	1,839
<b>Arsenic</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	4,867	1,490	1,688	12,264	6	4,664	0,846	3,830	6,252
Chien esp./roussette/raie	foie	81	30,725	17,797	3,827	81,629	86	27,930	12,024	2,900	63,125
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	43,399	24,347	1,404	119,085	91	43,405	22,123	0,020	119,268
Chinchard	muscle	42	4,698	2,431	0,549	10,510	30	1,815	1,113	0,735	4,630
Congre	foie	30	19,809	9,831	5,278	48,487	21	24,035	14,403	6,931	59,475
Congre	muscle	31	22,115	11,886	5,308	53,193	23	26,867	19,009	8,613	86,156
Daurade royale	muscle	24	4,816	3,076	1,263	10,910	4	11,948	8,455	4,940	23,710
Dorade rose	muscle	27	5,870	2,535	2,250	11,900	30	5,417	1,138	3,212	7,746
Girelle	muscle	32	4,213	2,266	1,080	10,100	31	7,633	7,786	0,586	33,938
Loup	muscle						1	0,675		0,675	0,675
Merlu	foie	48	5,194	1,859	2,803	12,569	23	3,961	1,217	2,413	8,010
Merlu	muscle	53	6,512	2,708	3,353	18,323	24	5,070	2,194	2,405	11,150
Moule	moule	24	4,103	0,715	2,914	5,310					
Mulet	muscle	27	0,922	0,739	0,243	3,597	7	1,302	0,477	0,832	2,230

Groupe espèce	matrice	Zone impactée					Zone de référence				
		N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg	N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg
Murex	muscle	36	76,683	51,355	22,467	203,165	15	53,850	22,371	20,952	100,346
Oursin violet	gonades	30	5,417	1,214	2,640	7,490	30	6,409	1,184	4,780	9,030
Pageot commun	muscle						6	5,060	1,275	3,640	6,350
Poulpe commun	muscle	8	31,807	10,447	19,320	50,887	7	32,263	16,632	13,567	59,842
Rascasse	muscle	39	4,190	2,439	0,735	11,700	71	4,826	3,059	0,577	12,600
Rouget	foie	10	33,832	15,058	11,259	53,389	10	19,735	8,909	4,850	32,503
Rouget	muscle	145	20,244	8,401	1,430	50,586	74	11,866	5,257	3,090	28,257
Saint Pierre	foie	1	24,318		24,318	24,318					
Saint Pierre	muscle	36	0,619	0,308	0,302	1,406	1	0,469		0,469	0,469
Sar	muscle	32	4,463	1,465	1,585	9,221	92	9,035	5,256	1,218	24,651
Sardinelle	muscle						2	6,230	1,061	5,480	6,980
Sébaste	muscle	37	5,281	2,442	2,111	12,100	46	10,167	5,484	2,690	25,008
<b>Cadmium</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	0,003	0,002	0,001	0,009	6	0,005	0,002	0,002	0,007
Chien esp./roussette/raie	foie	81	0,225	0,238	0,000	1,255	86	0,177	0,159	0,001	0,857
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	0,054	0,208	0,000	1,541	91	0,002	0,003	0,000	0,026
Chinard	muscle	42	0,002	0,005	0,000	0,029	30	0,002	0,002	0,000	0,009
Congre	foie	30	0,117	0,082	0,000	0,263	21	0,117	0,127	0,001	0,503
Congre	muscle	31	0,004	0,007	0,000	0,038	23	0,003	0,008	0,000	0,041
Daurade royale	muscle	24	0,000	0,000	0,000	0,002	4	0,000	0,001	0,000	0,001
Dorade rose	muscle	27	0,002	0,002	0,000	0,010	30	0,001	0,001	0,000	0,002
Girelle	muscle	32	0,001	0,000	0,000	0,002	31	0,004	0,015	0,000	0,085
Loup	muscle						1	0,000		0,000	0,000
Merlu	foie	48	0,071	0,101	0,000	0,514	23	0,060	0,049	0,012	0,208
Merlu	muscle	53	0,002	0,007	0,000	0,043	24	0,001	0,001	0,000	0,004
Moule	moule	24	0,224	0,051	0,153	0,322					
Mulet	muscle	27	0,001	0,001	0,000	0,001	7	0,000	0,001	0,000	0,001
Murex	muscle	36	1,698	1,416	0,098	6,046	15	0,852	0,449	0,225	1,663
Oursin violet	gonades	30	0,063	0,027	0,029	0,146	30	0,048	0,014	0,023	0,077
Pageot commun	muscle						6	0,001	0,000	0,001	0,001
Poulpe commun	muscle	8	0,005	0,002	0,002	0,008	7	0,006	0,007	0,002	0,021
Rascasse	muscle	39	0,001	0,001	0,000	0,006	71	0,002	0,001	0,000	0,006
Rouget	foie	10	0,078	0,051	0,027	0,205	10	0,144	0,106	0,018	0,365
Rouget	muscle	145	0,001	0,002	0,000	0,013	73	0,001	0,001	0,000	0,002
Saint Pierre	foie	1	0,216		0,216	0,216					
Saint Pierre	muscle	36	0,001	0,004	0,000	0,019	1	0,000		0,000	0,000
Sar	muscle	32	0,001	0,004	0,000	0,024	92	0,001	0,001	0,000	0,005
Sardinelle	muscle						2	0,001	0,000	0,001	0,001
Sébaste	muscle	37	0,001	0,001	0,000	0,006	46	0,001	0,001	0,000	0,003
<b>Cobalt</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	0,011	0,002	0,006	0,017	6	0,015	0,004	0,011	0,022
Chien esp./roussette/raie	foie	81	0,054	0,038	0,000	0,186	86	0,069	0,033	0,026	0,168
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	0,009	0,022	0,000	0,163	91	0,006	0,005	0,000	0,034
Chinard	muscle	42	0,007	0,003	0,003	0,022	30	0,007	0,004	0,002	0,026
Congre	foie	30	0,021	0,007	0,000	0,032	21	0,019	0,009	0,001	0,038

Groupe espèce	matrice	Zone impactée					Zone de référence				
		N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg	N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg
Congre	muscle	31	0,002	0,003	0,000	0,015	23	0,001	0,001	0,000	0,003
Daurade royale	muscle	24	0,004	0,002	0,002	0,009	4	0,003	0,001	0,002	0,005
Dorade rose	muscle	27	0,004	0,003	0,000	0,012	30	0,006	0,002	0,003	0,014
Girelle	muscle	32	0,007	0,003	0,002	0,017	31	0,009	0,004	0,002	0,019
Loup	muscle						1	0,002		0,002	0,002
Merlu	foie	48	0,033	0,016	0,001	0,072	23	0,026	0,012	0,006	0,053
Merlu	muscle	53	0,002	0,004	0,000	0,021	23	0,001	0,000	0,000	0,002
Moule	moule	24	0,110	0,022	0,071	0,150					
Mulet	muscle	27	0,007	0,004	0,002	0,013	7	0,011	0,006	0,002	0,018
Murex	muscle	36	0,057	0,027	0,020	0,121	15	0,089	0,035	0,035	0,161
Oursin violet	gonades	30	0,069	0,025	0,036	0,128	30	0,068	0,027	0,039	0,146
Pageot commun	muscle						6	0,003	0,002	0,002	0,006
Poulpe commun	muscle	8	0,006	0,001	0,004	0,007	7	0,014	0,013	0,004	0,041
Rascasse	muscle	39	0,002	0,001	0,000	0,005	70	0,004	0,003	0,000	0,015
Rouget	foie	10	0,300	0,259	0,053	0,851	10	0,230	0,089	0,002	0,301
Rouget	muscle	145	0,007	0,004	0,002	0,022	74	0,005	0,002	0,002	0,012
Saint Pierre	foie	1	0,039		0,039	0,039					
Saint Pierre	muscle	36	0,001	0,001	0,000	0,004	1	0,002		0,002	0,002
Sar	muscle	32	0,003	0,002	0,000	0,010	92	0,006	0,005	0,000	0,047
Sardinelle	muscle						2	0,004	0,003	0,002	0,006
Sébaste	muscle	37	0,002	0,001	0,000	0,005	46	0,004	0,002	0,002	0,010
<b>Chrome</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	0,016	0,015	0,002	0,073	6	0,035	0,019	0,017	0,070
Chien esp./roussette/raie	foie	81	0,030	0,056	0,003	0,393	86	0,035	0,036	0,003	0,169
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	0,024	0,023	0,003	0,144	91	0,041	0,033	0,003	0,254
Chinard	muscle	42	0,018	0,028	0,003	0,173	30	0,013	0,018	0,002	0,071
Congre	foie	30	0,071	0,083	0,005	0,377	21	0,075	0,207	0,003	0,950
Congre	muscle	31	0,022	0,028	0,003	0,109	23	0,019	0,022	0,003	0,085
Daurade royale	muscle	24	0,012	0,015	0,003	0,069	4	0,011	0,009	0,005	0,024
Dorade rose	muscle	27	0,012	0,014	0,002	0,066	30	0,019	0,041	0,003	0,220
Girelle	muscle	32	0,032	0,034	0,002	0,145	31	0,017	0,018	0,002	0,065
Loup	muscle						1	0,027		0,027	0,027
Merlu	foie	48	0,029	0,043	0,003	0,256	23	0,029	0,053	0,002	0,165
Merlu	muscle	53	0,008	0,010	0,002	0,041	24	0,008	0,007	0,002	0,026
Moule	moule	24	0,110	0,038	0,059	0,176					
Mulet	muscle	27	0,025	0,021	0,002	0,076	7	0,026	0,035	0,003	0,088
Murex	muscle	36	0,187	0,152	0,034	0,760	15	0,133	0,052	0,062	0,220
Oursin violet	gonades	30	0,106	0,045	0,044	0,217	30	0,111	0,039	0,058	0,212
Pageot commun	muscle						6	0,007	0,004	0,005	0,016
Poulpe commun	muscle	8	0,013	0,012	0,003	0,039	7	0,016	0,018	0,002	0,043
Rascasse	muscle	39	0,015	0,018	0,002	0,096	71	0,015	0,025	0,002	0,153
Rouget	foie	10	0,027	0,021	0,005	0,074	10	0,021	0,018	0,003	0,061
Rouget	muscle	145	0,017	0,016	0,003	0,091	74	0,017	0,021	0,002	0,112
Saint Pierre	foie	1	0,003		0,003	0,003					
Saint Pierre	muscle	36	0,016	0,029	0,003	0,133	1	0,101		0,101	0,101
Sar	muscle	32	0,018	0,041	0,003	0,228	92	0,015	0,017	0,003	0,096

Groupe espèce	matrice	Zone impactée					Zone de référence				
		N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg	N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg
Sardinelle	muscle						2	0,008	0,007	0,003	0,013
Sébaste	muscle	37	0,030	0,085	0,003	0,525	46	0,015	0,023	0,002	0,137
<b>Mercure</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	0,109	0,045	0,035	0,334	6	0,084	0,020	0,065	0,118
Chien esp./roussette/raie	foie	81	1,009	1,087	0,121	6,146	86	0,506	0,390	0,077	2,182
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	1,496	1,126	0,156	8,955	91	0,880	0,359	0,002	2,323
Chincharde	muscle	42	0,864	0,351	0,342	1,880	30	0,378	0,135	0,194	0,697
Congre	foie	30	0,331	0,203	0,042	1,033	21	0,286	0,211	0,055	0,867
Congre	muscle	31	0,380	0,339	0,070	1,872	23	0,345	0,218	0,066	1,003
Daurade royale	muscle	24	0,150	0,087	0,077	0,411	4	0,193	0,166	0,056	0,421
Dorade rose	muscle	27	0,318	0,174	0,092	1,041	30	0,329	0,194	0,183	0,995
Girelle	muscle	32	0,148	0,105	0,095	0,700	31	0,174	0,245	0,035	1,369
Loup	muscle						1	0,222		0,222	0,222
Merlu	foie	48	0,442	0,729	0,060	4,644	23	0,261	0,219	0,064	0,972
Merlu	muscle	53	0,454	0,524	0,080	3,073	24	0,497	0,390	0,104	1,593
Moule	moule	24	0,016	0,002	0,012	0,020					
Mulet	muscle	27	0,069	0,093	0,004	0,327	7	0,021	0,012	0,013	0,047
Murex	muscle	36	0,101	0,065	0,030	0,335	15	0,072	0,028	0,037	0,125
Oursin violet	gonades	30	0,015	0,006	0,007	0,031	30	0,011	0,005	0,005	0,023
Pageot commun	muscle						6	0,171	0,049	0,091	0,234
Poulpe commun	muscle	8	0,130	0,089	0,020	0,289	7	0,104	0,191	0,023	0,537
Rascasse	muscle	39	0,151	0,049	0,072	0,307	71	0,171	0,061	0,072	0,361
Rouget	foie	10	1,204	1,018	0,152	3,458	10	0,135	0,075	0,031	0,302
Rouget	muscle	145	0,444	0,426	0,060	2,585	73	0,135	0,102	0,022	0,403
Saint Pierre	foie	1	0,307		0,307	0,307					
Saint Pierre	muscle	36	0,569	0,496	0,046	2,251	1	0,250		0,250	0,250
Sar	muscle	32	0,481	0,226	0,124	1,264	92	0,406	0,227	0,082	1,369
Sardinelle	muscle						2	0,103	0,000	0,103	0,103
Sébaste	muscle	37	1,045	0,456	0,273	2,730	46	1,099	0,368	0,382	2,059
<b>Manganèse</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	0,382	0,100	0,039	0,744	6	0,478	0,210	0,262	0,879
Chien esp./roussette/raie	foie	81	0,854	0,411	0,129	2,165	86	1,130	0,431	0,488	3,143
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	0,236	0,261	0,081	1,794	91	0,222	0,082	0,001	0,726
Chincharde	muscle	42	0,094	0,024	0,049	0,197	30	0,102	0,019	0,057	0,135
Congre	foie	30	0,934	0,214	0,280	1,361	21	1,119	0,213	0,768	1,553
Congre	muscle	31	0,346	0,260	0,070	1,035	23	0,515	0,383	0,058	1,273
Daurade royale	muscle	24	0,089	0,020	0,058	0,127	4	0,069	0,023	0,036	0,090
Dorade rose	muscle	27	0,098	0,032	0,067	0,210	30	0,101	0,061	0,059	0,375
Girelle	muscle	32	0,182	0,058	0,097	0,304	31	0,197	0,074	0,107	0,415
Loup	muscle						1	0,151		0,151	0,151
Merlu	foie	48	1,690	0,545	0,081	2,748	23	1,444	0,383	0,924	2,629
Merlu	muscle	53	0,145	0,194	0,067	1,151	24	0,082	0,018	0,054	0,121
Moule	moule	24	0,571	0,147	0,430	0,935					
Mulet	muscle	27	0,095	0,025	0,053	0,155	7	0,093	0,054	0,057	0,196
Murex	muscle	36	1,148	0,488	0,545	2,653	15	1,113	0,347	0,762	2,147

Groupe espèce	matrice	Zone impactée					Zone de référence				
		N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg	N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg
Oursin violet	gonades	30	0,266	0,076	0,157	0,496	30	0,431	0,153	0,248	0,866
Pageot commun	muscle						6	0,112	0,028	0,076	0,148
Poulpe commun	muscle	8	0,206	0,046	0,153	0,291	7	0,253	0,044	0,162	0,297
Rascasse	muscle	39	0,117	0,069	0,059	0,468	71	0,119	0,045	0,063	0,350
Rouget	foie	10	1,697	0,696	0,666	2,713	10	1,444	0,284	1,047	1,832
Rouget	muscle	145	0,164	0,053	0,050	0,442	74	0,135	0,041	0,076	0,266
Saint Pierre	foie	1	0,845		0,845	0,845					
Saint Pierre	muscle	36	0,086	0,040	0,035	0,164	1	0,059		0,059	0,059
Sar	muscle	32	0,109	0,051	0,056	0,266	92	0,085	0,069	0,032	0,475
Sardinelle	muscle						2	0,829	0,021	0,814	0,844
Sébaste	muscle	37	0,096	0,037	0,055	0,276	46	0,086	0,025	0,051	0,167
<b>Nickel</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	0,026	0,021	0,006	0,157	6	0,032	0,017	0,013	0,051
Chien esp./roussette/raie	foie	81	0,024	0,033	0,006	0,211	86	0,025	0,021	0,013	0,112
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	0,017	0,020	0,006	0,201	91	0,026	0,057	0,013	0,521
Chincharde	muscle	42	0,027	0,053	0,012	0,326	30	0,034	0,042	0,006	0,170
Congre	foie	30	0,035	0,039	0,013	0,186	21	0,013	0,003	0,013	0,025
Congre	muscle	31	0,014	0,004	0,013	0,025	23	0,013	0,003	0,013	0,025
Daurade royale	muscle	24	0,036	0,105	0,013	0,527	4	0,012	0,000	0,012	0,013
Dorade rose	muscle	27	0,022	0,058	0,006	0,312	30	0,013	0,000	0,013	0,013
Girelle	muscle	32	0,023	0,021	0,006	0,109	31	0,016	0,009	0,012	0,051
Loup	muscle						1	0,013		0,013	0,013
Merlu	foie	48	0,022	0,024	0,013	0,147	23	0,026	0,033	0,012	0,113
Merlu	muscle	53	0,044	0,183	0,006	1,314	24	0,035	0,109	0,012	0,544
Moule	moule	24	0,174	0,045	0,115	0,290					
Mulet	muscle	27	0,015	0,014	0,006	0,060	7	0,026	0,018	0,013	0,053
Murex	muscle	36	0,271	0,143	0,076	0,668	15	0,333	0,149	0,077	0,694
Oursin violet	gonades	30	0,115	0,048	0,060	0,276	30	0,101	0,052	0,048	0,268
Pageot commun	muscle						6	0,008	0,003	0,006	0,012
Poulpe commun	muscle	8	0,027	0,035	0,013	0,113	7	0,037	0,013	0,025	0,056
Rascasse	muscle	39	0,013	0,008	0,006	0,050	71	0,015	0,013	0,006	0,089
Rouget	foie	10	0,139	0,156	0,013	0,553	10	0,119	0,063	0,025	0,260
Rouget	muscle	145	0,018	0,014	0,013	0,101	74	0,014	0,009	0,006	0,069
Saint Pierre	foie	1	0,025		0,025	0,025					
Saint Pierre	muscle	36	0,022	0,037	0,013	0,223	1	0,025		0,025	0,025
Sar	muscle	32	0,027	0,061	0,006	0,334	92	0,020	0,041	0,012	0,382
Sardinelle	muscle						2	0,012	0,001	0,012	0,012
Sébaste	muscle	37	0,017	0,035	0,006	0,221	46	0,015	0,017	0,006	0,103
<b>Plomb</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	0,007	0,004	0,001	0,024	6	0,072	0,100	0,002	0,216
Chien esp./roussette/raie	foie	81	0,024	0,017	0,001	0,079	86	0,028	0,019	0,007	0,151
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	0,029	0,051	0,001	0,321	91	0,041	0,046	0,001	0,280
Chincharde	muscle	42	0,008	0,012	0,001	0,056	30	0,020	0,017	0,002	0,083
Congre	foie	30	0,069	0,044	0,001	0,169	21	0,102	0,150	0,008	0,657
Congre	muscle	31	0,007	0,007	0,001	0,031	23	0,006	0,008	0,001	0,031

Groupe espèce	matrice	Zone impactée					Zone de référence				
		N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg	N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg
Daurade royale	muscle	24	0,003	0,004	0,001	0,014	4	0,007	0,005	0,001	0,012
Dorade rose	muscle	27	0,023	0,037	0,001	0,190	30	0,029	0,035	0,004	0,130
Girelle	muscle	32	0,025	0,019	0,001	0,076	31	0,014	0,012	0,001	0,043
Loup	muscle						1	0,001		0,001	0,001
Merlu	foie	48	0,015	0,019	0,001	0,107	23	0,015	0,024	0,001	0,117
Merlu	muscle	53	0,010	0,044	0,001	0,308	24	0,026	0,063	0,001	0,293
Moule	moule	24	0,229	0,054	0,148	0,402					
Mulet	muscle	27	0,005	0,004	0,001	0,017	7	0,008	0,009	0,003	0,029
Murex	muscle	36	0,150	0,095	0,036	0,379	15	0,154	0,096	0,027	0,323
Oursin violet	gonades	30	0,048	0,036	0,016	0,147	30	0,044	0,016	0,020	0,080
Pageot commun	muscle						6	0,082	0,046	0,042	0,162
Poulpe commun	muscle	8	0,045	0,023	0,020	0,084	7	0,035	0,013	0,018	0,060
Rascasse	muscle	39	0,040	0,047	0,002	0,188	71	0,041	0,054	0,001	0,325
Rouget	foie	10	0,592	0,491	0,063	1,690	10	0,530	0,330	0,073	1,073
Rouget	muscle	145	0,013	0,021	0,001	0,192	73	0,017	0,012	0,001	0,052
Saint Pierre	foie	1	0,014		0,014	0,014					
Saint Pierre	muscle	36	0,006	0,015	0,001	0,071	1	0,004		0,004	0,004
Sar	muscle	32	0,022	0,065	0,001	0,368	92	0,025	0,081	0,001	0,757
Sardinelle	muscle						2	0,021	0,012	0,012	0,029
Sébaste	muscle	37	0,086	0,100	0,006	0,435	46	0,004	0,003	0,001	0,012
<b>Titane</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	0,062	0,040	0,013	0,287	6	0,115	0,105	0,039	0,257
Chien esp./roussette/raie	foie	81	0,078	0,072	0,013	0,343	86	0,082	0,075	0,013	0,442
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	0,125	0,121	0,013	0,754	91	0,121	0,103	0,013	0,678
Chincharde	muscle	42	0,050	0,044	0,013	0,195	30	0,066	0,065	0,012	0,350
Congre	foie	30	0,041	0,033	0,025	0,151	21	0,069	0,069	0,013	0,208
Congre	muscle	31	0,080	0,106	0,025	0,540	23	0,083	0,107	0,013	0,466
Daurade royale	muscle	24	0,032	0,020	0,013	0,093	4	0,066	0,028	0,025	0,088
Dorade rose	muscle	27	0,095	0,107	0,013	0,547	30	0,030	0,030	0,013	0,166
Girelle	muscle	32	0,067	0,053	0,025	0,254	31	0,120	0,122	0,013	0,513
Loup	muscle						1	0,013		0,013	0,013
Merlu	foie	48	0,138	0,225	0,013	1,270	23	0,034	0,028	0,005	0,095
Merlu	muscle	53	0,034	0,036	0,013	0,229	24	0,026	0,015	0,012	0,057
Moule	moule	24	0,518	0,604	0,120	2,754					
Mulet	muscle	27	0,059	0,086	0,025	0,474	7	0,028	0,005	0,025	0,036
Murex	muscle	36	0,247	0,198	0,060	0,865	15	0,457	0,666	0,101	2,748
Oursin violet	gonades	30	0,189	0,144	0,028	0,630	30	0,552	0,289	0,154	1,261
Pageot commun	muscle						6	0,116	0,064	0,071	0,208
Poulpe commun	muscle	8	0,097	0,059	0,025	0,201	7	0,123	0,046	0,073	0,211
Rascasse	muscle	39	0,096	0,065	0,025	0,377	71	0,107	0,057	0,035	0,252
Rouget	foie	10	0,089	0,067	0,013	0,188	10	0,062	0,053	0,013	0,163
Rouget	muscle	145	0,074	0,055	0,013	0,350	74	0,054	0,040	0,012	0,228
Saint Pierre	foie	1	0,025		0,025	0,025					
Saint Pierre	muscle	36	0,038	0,044	0,013	0,271	1	0,069		0,069	0,069
Sar	muscle	32	0,035	0,028	0,013	0,131	92	0,045	0,057	0,013	0,509
Sardinelle	muscle						2	0,053	0,028	0,033	0,073

Groupe espèce	matrice	Zone impactée					Zone de référence				
		N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg	N	Moy mg/kg	ET mg/kg	Min mg/kg	Max mg/kg
Sébaste	muscle	37	0,128	0,111	0,025	0,647	46	0,046	0,023	0,013	0,105
<b>Vanadium</b>											
Anchois/sardine	muscle	128	0,030	0,020	0,002	0,092	6	0,032	0,021	0,018	0,072
Chien esp./roussette/raie	foie	81	0,041	0,038	0,000	0,231	86	0,127	0,323	0,007	2,421
Chien esp./roussette/raie	muscle	116	0,008	0,022	0,000	0,202	91	0,009	0,009	0,000	0,057
Chincharde	muscle	42	0,002	0,001	0,000	0,004	30	0,003	0,001	0,001	0,006
Congre	foie	30	0,096	0,064	0,003	0,331	21	0,131	0,096	0,006	0,368
Congre	muscle	31	0,006	0,014	0,000	0,077	23	0,005	0,004	0,000	0,017
Daurade royale	muscle	24	0,002	0,001	0,000	0,004	4	0,002	0,000	0,002	0,002
Dorade rose	muscle	27	0,003	0,003	0,000	0,013	30	0,001	0,001	0,000	0,004
Girelle	muscle	32	0,030	0,017	0,002	0,090	31	0,048	0,043	0,007	0,191
Loup	muscle						1	0,001		0,001	0,001
Merlu	foie	48	0,034	0,030	0,000	0,135	23	0,017	0,012	0,002	0,042
Merlu	muscle	53	0,002	0,003	0,000	0,022	24	0,001	0,001	0,000	0,002
Moule	moule	24	0,475	0,243	0,214	1,211					
Mulet	muscle	27	0,003	0,002	0,001	0,011	7	0,008	0,003	0,005	0,013
Murex	muscle	36	0,271	0,172	0,043	0,697	15	0,240	0,111	0,044	0,416
Oursin violet	gonades	30	0,568	0,177	0,318	0,995	30	0,559	0,232	0,236	1,010
Pageot commun	muscle						6	0,007	0,003	0,005	0,012
Poulpe commun	muscle	8	0,003	0,003	0,001	0,008	7	0,005	0,001	0,003	0,005
Rascasse	muscle	39	0,005	0,003	0,001	0,014	71	0,006	0,006	0,001	0,025
Rouget	foie	10	0,060	0,039	0,018	0,158	10	0,225	0,267	0,031	0,716
Rouget	muscle	145	0,005	0,005	0,001	0,046	74	0,003	0,003	0,001	0,020
Saint Pierre	foie	1	0,024		0,024	0,024					
Saint Pierre	muscle	36	0,001	0,000	0,000	0,002	1	0,001		0,001	0,001
Sar	muscle	32	0,015	0,022	0,003	0,130	92	0,013	0,021	0,001	0,154
Sardinelle	muscle						2	0,022	0,025	0,005	0,040
Sébaste	muscle	37	0,005	0,005	0,001	0,026	46	0,003	0,002	0,000	0,009