

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 13 novembre 2020

**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'analyse des données de contamination en cadmium des bulots**  
**issues d'un plan de surveillance exploratoire réalisé en 2017-2018**

L'Anses a été saisie le 06 mars 2020 par la Direction générale de l'alimentation (DGAI) pour la réalisation d'une évaluation du risque lié à la consommation de bulots au regard de leur contamination en cadmium.

## 1. CONTEXTE ET OBJET DE LA DEMANDE

Au niveau européen, le règlement (CE) n°1831/2006 prévoit un seuil en cadmium (Cd) pour les mollusques bivalves, ce qui n'inclut pas les bulots (qui sont des gastéropodes). Au niveau national, depuis l'abrogation de l'arrêté du 21 mai 1999 (qui prévoyait un seuil de 2 mg/kg pour les coquillages de groupe 1 dont les bulots) et son remplacement par l'arrêté du 6 novembre 2013, il n'existe plus de seuil réglementaire en cadmium pour les gastéropodes dont les bulots.

Des teneurs élevées en cadmium ont été enregistrées dans des échantillons de bulots provenant de la Seine-Maritime et du Calvados. Les préfets de Seine-Maritime, du Calvados et de la Manche ont signé en avril 2008 un arrêté préfectoral relatif au classement de salubrité et à la surveillance des zones de production situées en Manche Est au large des départements de la Seine-Maritime, du Calvados et de la Manche. Cet arrêté établit le classement des zones de coquillages du groupe 1 (gastéropodes, échinodermes et tuniciers) en :

- D pour les bulots de taille supérieure à 70 mm, soit une interdiction de pêche ;
- A provisoire pour les bulots de taille inférieure à 70 mm et pour ceux de taille supérieure à 70 mm mais subissant un décorticage en établissements agréés.

Vu le contexte réglementaire et au regard du risque lié à l'ingestion des bulots entiers de plus de 70 mm, la DGAI s'interroge sur la pertinence de maintenir les mesures de gestion actuellement en vigueur, en particulier l'arrêté préfectoral de la Seine-Maritime, du Calvados et de la Manche alors qu'il n'existe plus de seuil réglementaire européen en cadmium pour les bulots, ou d'envisager le cas échéant des recommandations de consommation (par exemple de ne pas consommer le tortillon du bulot, lieu de concentration du cadmium). Au contraire, si le risque est avéré, il pourrait être envisagé de s'orienter vers une extension de l'interdiction de mise sur le marché (ou d'obligation d'éviscération des plus gros spécimens).

Un plan de surveillance exploratoire a été réalisé en 2017-2018 pour faire un état des lieux du niveau de contamination en cadmium des bulots pêchés dans les principaux gisements naturels français au moment

de leur mise sur le marché et d'évaluer l'impact de la taille des bulots, de la répartition du cadmium dans les différentes parties du bulot (chair et tortillon viscéral), ainsi que l'effet de la cuisson sur les teneurs en cadmium.

Sur la base des données de contamination issues de ce plan de surveillance exploratoire, l'Anses a été sollicitée pour évaluer le risque lié à la consommation de bulots provenant de ces zones au regard de leur contamination en cadmium, de juger de la pertinence du maintien de l'interdiction de pêche de bulots de plus de 70 mm, et de proposer, le cas échéant, des recommandations de consommation.

Les données transmises ne permettent pas de répondre à la question initiale de la DGAI et notamment de réaliser une évaluation des risques sanitaires (ERS) nationale. En effet, des informations sont manquantes à différentes étapes de l'ERS. Concernant les niveaux de contamination des bulots, aucune information transmise ne permet d'assurer la représentativité nationale des niveaux observés dans les trois zones géographiques de prélèvement choisies. De plus, pour mesurer les niveaux de contamination, des pools de 1 kg de chair et de tortillons viscéraux ont été réalisés. Or, dans chacun de ces pools, aucune information n'est fournie concernant le nombre ni la taille des individus constituant le pool, pourtant la taille des bulots serait liée à leurs niveaux de contamination. Ce mode opératoire présente une difficulté pour la comparabilité des échantillons et la cohérence de l'association de cette donnée à celles de consommation au cours d'un repas (portion). Aucune information n'est disponible pour évaluer la part réellement consommée de chair et de tortillon viscéral. En outre le mode d'approvisionnement en bulot du consommateur n'est pas connu. L'attribution d'un niveau de contamination dépend de l'origine des bulots : pêche à pied, achat à la criée, achat en supermarché... Enfin, le manque identifié de données conduirait à bâtir de nombreux scénarios augmentant fortement l'incertitude dans le résultat de l'expertise. C'est pourquoi il est préférable de ne pas réaliser d'ERS nationale relative à l'exposition au cadmium liée à la consommation de bulots. L'Anses a précisé la demande à laquelle les données permettraient de répondre et a proposé d'évaluer l'existence d'un lien statistique entre les niveaux de contamination en cadmium des bulots et leur taille (inférieurs ou supérieurs à 70 mm), la distribution tissulaire du cadmium (chair vs tortillon) et la cuisson.

## **2. ORGANISATION DES TRAVAUX**

Après analyse des termes de la saisine, en prenant en compte le délai attendu et les éléments mis à disposition par le demandeur, l'Anses a engagé la réponse sous la forme d'un appui scientifique et technique sans mise en œuvre d'une évaluation de risques, ce qui n'impose pas de faire appel à un collectif d'experts.

Comme le permet la procédure qualité dans ce cas, l'expertise a été réalisée en interne à l'Anses (Unité d'Évaluation des Risques liés aux Aliments [UERALIM], Direction de l'évaluation des risques) dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

Toutefois et en accord avec sa présidence, la note d'appui scientifique et technique a été présentée au Comité d'experts spécialisé « Évaluation des risques physico-chimiques dans les aliments » (CES ERCA) en séance du 7 octobre 2020 pour information ; des commentaires ou questionnements ont conduit à préciser certains points de la note.

Les déclarations d'intérêts des experts et des agents de l'Anses sont publiées sur le site internet de l'Anses ([www.anses.fr](http://www.anses.fr)).

### 3. METHODES ET ANALYSES

#### 3.1. Données transmises sur la contamination des bulots

Les données de contamination des bulots issues du plan de surveillance exploratoire réalisé en 2017-2018 ont été transmises à l'UERALIM au format Excel en juillet 2020. Les analyses ont été réalisées par le Laboratoire de sécurité des aliments (Anses, Maisons-Alfort), qui est le Laboratoire National de Référence (LNR) pour les métaux lourds dans les denrées alimentaires d'origine animale.

Le plan de surveillance exploratoire avait pour objectifs d'évaluer :

- les niveaux de contamination en cadmium des bulots,
- l'impact de la taille des bulots,
- la répartition du cadmium dans les différentes parties du bulot (chair et tortillon viscéral),
- l'effet de la cuisson sur les teneurs en cadmium.

La campagne de prélèvement planifiée selon l'instruction technique DGAL/SDPAL-2017-212 prévoyait trois prélèvements par mois sur 12 mois (d'avril 2017 à mars 2018) sur trois gisements.

- 1 gisement à l'ouest du Cotentin (avec un mois de repos en janvier sans prélèvements),
- 2 gisements en Baie de Seine,

ainsi que 15 prélèvements au large de Boulogne sur 2 sites de pêche (Cap Gris-Nez et Nord-pas-de-Calais), soit un total de 120 échantillons. La répartition géographique des points de prélèvements est présentée en Annexe 2.

Le taux de réalisation du plan d'échantillonnage est de 58 % (69/120 prélèvements).

La taille des coquilles de bulots a été mesurée à réception afin de distinguer celle inférieure ou supérieure à 7 cm. Puis les bulots ont été regroupés pour constituer un échantillon de 1 kg. Le nombre d'individus constituant chaque échantillon ainsi que la taille exacte de leur coquille n'ont pas été renseignés lors de cette étape.

Pour 15 prélèvements réceptionnés, il a été possible de constituer 2 échantillons d'1 kg.

Ainsi le nombre total d'échantillons est de 84 dont 16 échantillons avec une taille de bulots supérieure à 7 cm et 68 échantillons avec une taille de bulots inférieure à 7 cm.

La préparation de l'échantillon (décorticage) a été réalisée sur une masse de 1 kg de bulots. Tous ces échantillons ont été analysés crus. L'analyse de cadmium a été effectuée sur le tortillon viscéral ainsi que sur la chair des 84 échantillons de bulots, les résultats sont exprimés en mg/kg de tortillon et mg/kg de chair en poids frais.

L'effet de la cuisson a été évalué sur une sélection d'échantillons disponibles en quantité suffisante (supérieure ou égale à 1 kg) en accord avec le Bureau de la coordination en matière de contaminants chimiques et physiques (B3CP) de la DGAL, soit 37 échantillons dont 31 échantillons avec des bulots de taille inférieure à 7 cm et 6 échantillons avec des bulots de taille supérieure à 7 cm. Afin de disposer d'un nombre plus important d'échantillons de bulots de taille supérieure à 7 cm, 3 échantillons supplémentaires ayant une masse inférieure à 1 kg ont été ajoutés. Les échantillons correspondant (issus du même prélèvement) de bulots de taille supérieure à 7 cm pour 2 de ces échantillons ont été également pris en compte. Un autre échantillon dont la taille des bulots est inférieure à 7 cm et dont la quantité était inférieure à 1 kg a également été retenu car l'échantillon correspondant dont la taille est supérieure à 7 cm pouvait aussi être pris en compte (masse de 1,55 kg). Cette partie de l'étude a donc concerné 41 échantillons au total, dont 9 échantillons avec une taille de bulots supérieure à 7 cm et 32 échantillons avec une taille de bulots inférieure à 7 cm.

La répartition du nombre d'échantillons en fonction de la zone de pêche, de la taille de la coquille, de l'état de cuisson des bulots ainsi que de la partie du bulot analysée est présentée en Annexe 3.

Les échantillons de bulots (1 kg sauf exceptions mentionnées ci-dessus) ont été cuits pendant 20 min à ébullition, dans 2 L d'eau désionisée. Après refroidissement, l'échantillon a été égoutté, puis décortiqué en séparant la chair du tortillon viscéral. L'eau de cuisson a été filtrée à l'aide d'un filtre de porosité de 5 µm (PDVF) et conservée pour analyse.

La **Figure 1** présente les grandes étapes de la constitution des échantillons de bulots par zone de pêche. Les pointillés (« ... ») symbolisent la répétition de ce schéma pour toutes les zones de pêche.

L'analyse a été réalisée selon la méthode ANSES/LSA aliments/LSA-INS-0084 « Détermination de la teneur en arsenic, cadmium, plomb et mercure dans les denrées alimentaires d'origine animale : Dosage par spectrométrie de masse couplée à un plasma induit (ICP-MS) après digestion (acide) par voie humide », accréditée COFRAC. Les éléments plomb, cadmium, arsenic et mercure ont été analysés. Pour le cadmium, les limites de détection et de quantification sont respectivement de 0,0006 et 0,0020 mg/kg. L'incertitude de mesure a été estimée à 15 % de la teneur mesurée si celle-ci est supérieure ou égale à 3 fois la limite de quantification (LOQ) et dans le cas contraire elle a été estimée à 30 % de la teneur mesurée.

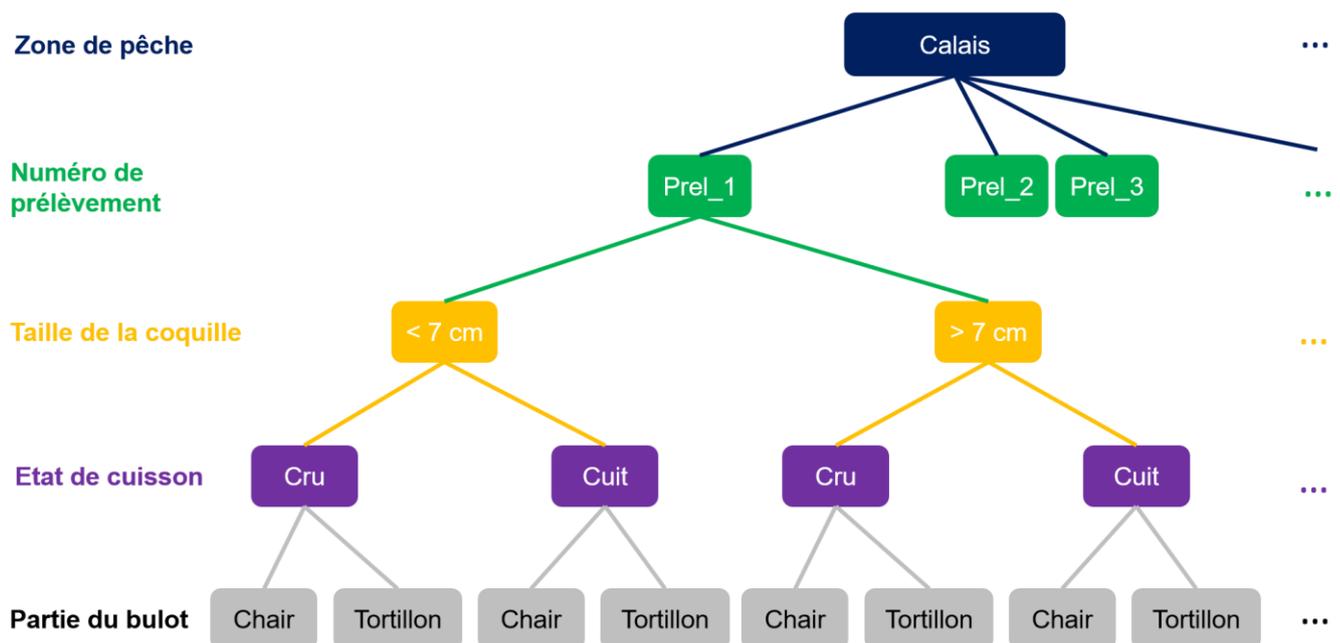


Figure 1 : Constitution des échantillons de bulots

## 3.2. Méthode statistique

### 3.2.1. Considérations générales

Comme le montre la **Figure 1**, les données sont appariées à plusieurs niveaux. Tout d'abord, il existe un appariement chair-tortillon au niveau de chaque échantillon car les concentrations en éléments traces métalliques (ETM) dans la chair et le tortillon proviennent des mêmes individus après séparation. Puis, pour un même prélèvement, plusieurs échantillons ont été constitués en fonction de la taille et de l'état de cuisson des bulots. Les données sont donc liées et ne peuvent pas être analysées comme si elles provenaient d'échantillons totalement indépendants. Les analyses présentées dans les paragraphes suivants tiennent compte de cette dépendance.

Le paragraphe 3.1 indique que le taux de réalisation du plan d'échantillonnage est de 58 %. Cela se traduit notamment par seulement 2 prélèvements réalisés sur le site de Ravenoville. Compte tenu de ce trop faible nombre d'échantillons, le site de Ravenoville n'est pas pris en compte dans les analyses.

Une des préoccupations énoncées dans la saisine concerne le maintien de l'interdiction de pêche. Cette interdiction est basée en partie sur le respect d'une teneur limite (n'ayant plus cours aujourd'hui). Cette requête place l'analyse des présentes données dans un contexte de plan de surveillance et de contrôle. Dans ce cadre-là, la valeur de concentration en ETM retenue pour l'analyse est définie comme la valeur mesurée moins l'incertitude associée à la mesure (Règlement (CE) 333/2007 de la Commission européenne du 28 mars 2007).

### 3.2.2. Description des niveaux de contamination

Les données de contamination en ETM font l'objet d'une description par les estimateurs suivant : minimum, moyenne, écart-type, médiane et maximum.

### 3.2.3. Comparaison et modélisation des niveaux de contamination en ETM

La comparaison des niveaux de contamination entre la chair et le tortillon a été réalisée avec le test des rangs signés de Wilcoxon. Ce test permet de ne pas émettre d'hypothèse concernant la loi de distribution de la contamination en ETM dans les bulots et de tenir compte de l'appariement des données.

Compte tenu de la structure des données présentées ci-avant et afin d'identifier les facteurs associés à la concentration en ETM dans les bulots, il a été fait le choix de s'orienter vers une modélisation à effets mixtes. Un modèle à effets mixtes est un modèle statistique dans lequel on considère à la fois des facteurs :

- à effets fixes (qui vont intervenir au niveau de la moyenne du modèle),
- à effets aléatoires (qui vont intervenir au niveau de la variance du modèle).

Les facteurs à effets fixes identifiés sont :

- la taille du bulot : ce facteur comporte 2 modalités « moins de 7 cm » et « plus de 7 cm »,
- l'état de cuisson: ce facteur comporte 2 modalités « cru » et « cuit »,
- le site de pêche : ce facteur comporte 3 modalités : « Calais », « Îles Chausey » et « Courseulles-sur-Mer ».

Du fait de la dépendance des données, elles sont groupées par numéro de prélèvement dans chaque modèle à effets mixtes. Les prélèvements ou échantillons globaux sont élaborés à partir d'individus totalisant une masse de 1 kg (sauf exceptions énoncées au paragraphe 3.1). Sachant que la taille de la coquille est un déterminant supposé de la concentration en ETM, la répartition dans chaque échantillon des individus selon leur taille a une importance. Cela signifie que la constitution même de l'échantillon influe très probablement sur le niveau de contamination. Pour autant, le nombre d'individus nécessaires pour constituer l'échantillon ainsi que la taille exacte de leur coquille sont inconnus. Il est alors supposé que la répartition des individus selon leur taille est aléatoire dans un échantillon en respectant le critère constitutif de l'échantillon d'une taille de coquille de plus ou moins 7 cm. C'est pourquoi un effet aléatoire est placé sur l'ordonnée à l'origine du modèle afin de capter cette variabilité.

## 3.3. Résultats pour le cadmium

La description des niveaux de contamination en cadmium est présentée en Annexe 4 et illustrée par la **Figure 2** dans la chair et la **Figure 3** dans le tortillon. Chacune des boîtes à moustache est constituée pour la partie inférieure de la boîte du 25<sup>ème</sup> centile (1<sup>er</sup> quartile) et pour la partie supérieure du 75<sup>ème</sup> centile (3<sup>ème</sup> quartile). Le trait épais au milieu de la boîte représente la médiane. Les extrémités des moustaches sont calculées en utilisant 1,5 fois l'espace interquartile c'est-à-dire la différence entre le 1<sup>er</sup> et le 3<sup>ème</sup> quartile).

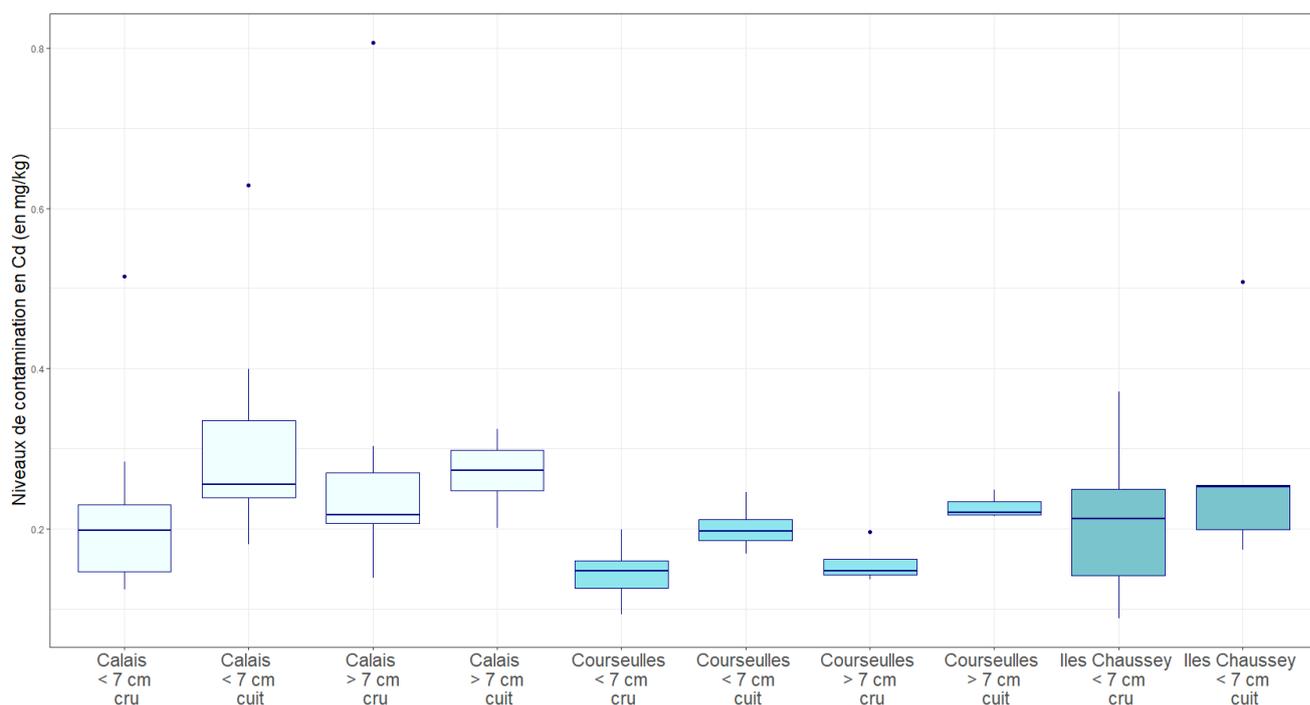


Figure 1 : Niveaux de contamination observés en cadmium (en mg/kg) dans la chair de bulot en fonction de la taille, de l'état de cuisson et de la zone de pêche

Figure 2 : Niveaux de contamination en cadmium (en mg/kg) dans la chair de bulots en fonction de la taille, de l'état de cuisson et de la zone de pêche

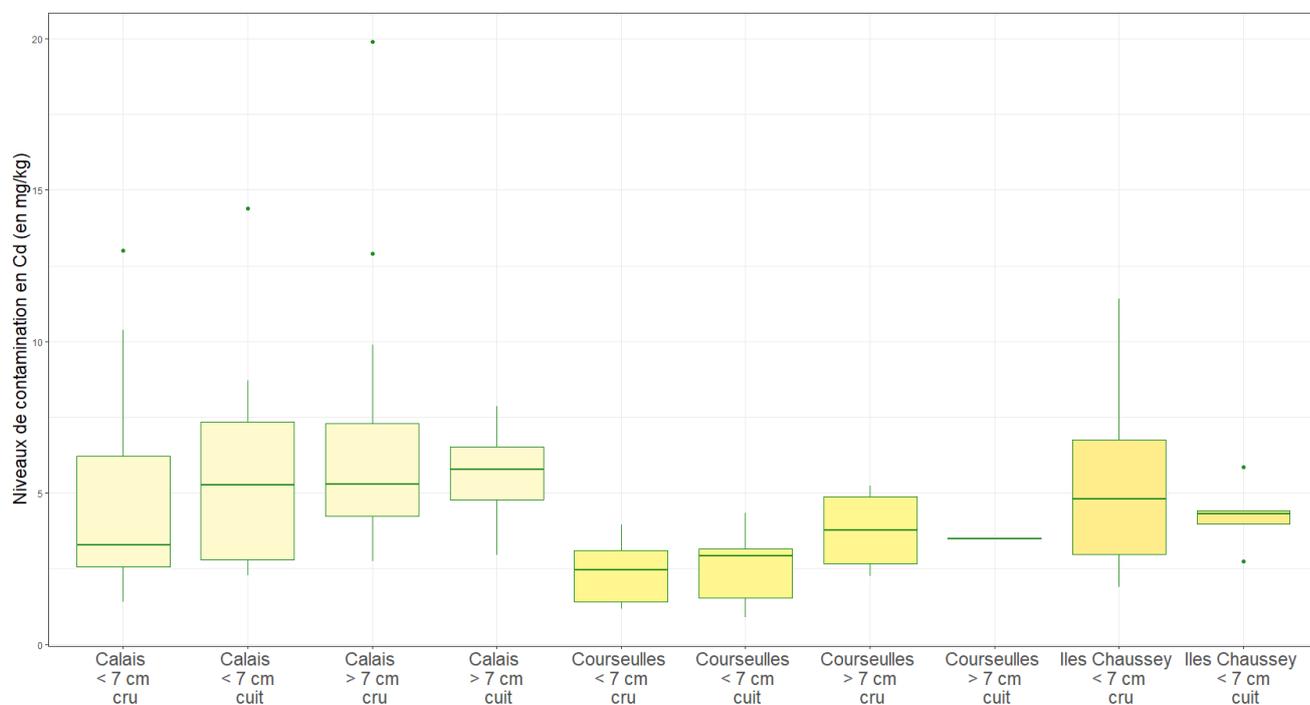


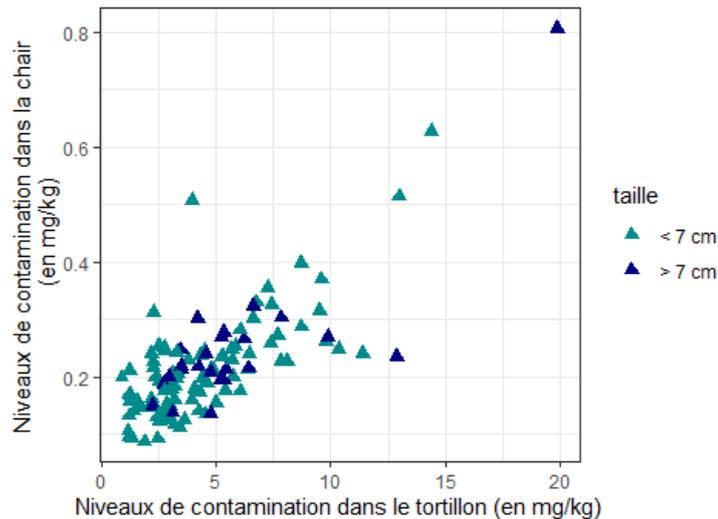
Figure 1 : Niveaux de contamination observés en cadmium (en mg/kg) dans le tortillon de bulot en fonction de la taille, de l'état de cuisson et de la zone de pêche

Figure 3 : Niveaux de contamination en cadmium (en mg/kg) dans le tortillon de bulots en fonction de la taille, de l'état de cuisson et de la zone de pêche

*Question 1 : Le niveau de contamination en cadmium dans le tortillon viscéral des bulots est-il plus élevé que dans leur chair ?*

Le test des rangs signés de Wilcoxon montre que le niveau de contamination en cadmium dans le tortillon est significativement plus élevé que dans la chair ( $p$ -valeur  $< 2,2 \cdot 10^{-6}$ ).

Dans la suite du document, les modèles concernant les niveaux de contamination dans la chair et le tortillon sont effectués séparément, du fait de leur différence significative (**Figure 4**).



**Figure 4 : Niveaux de contamination dans la chair et le tortillon en fonction de la taille**

*Question 2 : quelles sont les variables explicatives de la contamination en cadmium dans la chair et dans le tortillon ?*

Plusieurs modèles à effets mixtes sont construits pour identifier des facteurs explicatifs de la contamination en cadmium dans la chair et dans le tortillon des bulots. Le **Tableau 1** présente les divers modèles réalisés et les critères AIC (Critère d'Information d'Akaike) et BIC (Critère d'Information Bayésien) mesurant la qualité de chaque modèle. La sélection des meilleurs modèles est basée sur ces 2 critères qui doivent être les plus petits possibles. Les individus influents dans les modèles ont également été étudiés et ne changent pas les conclusions des modèles lorsque les analyses sont réalisées sans eux.

Le meilleur modèle est celui intégrant les facteurs « taille », « état de cuisson » et « zone de pêche » (M3) que ce soit pour expliquer la contamination en cadmium dans la chair ou dans le tortillon. Les modèles M3, M4 et M5 sont retenus pour présenter les effets des différentes modalités des facteurs « taille », « état de cuisson » et « zone de pêche ». Le détail des résultats de ces modèles est présenté en Annexe 5.

**Tableau 1 : Sélection des modèles en fonction des critères de qualité AIC (Critère d'Information d'Akaïké) et BIC (Critère d'Information Bayésien) devant être les plus petits possibles.**

Facteurs explicatifs testés	N	Concentration dans la chair	Concentration dans le tortillon
Taille + état de cuisson (M1)	121	AIC = 62 / BIC = 76	AIC = 158 / BIC = 172
Taille * état de cuisson <sup>a</sup> (M2)	121	AIC = 67 / BIC = 83	AIC = 162 / BIC = 179
Taille + état de cuisson + zone de pêche <sup>b</sup> (M3)	83	AIC = 18 / BIC = 32	AIC = 78 / BIC = 90
Etat de cuisson + zone de pêche <sup>c</sup> (M4)	96	AIC = 58 / BIC = 74	AIC = 121 / BIC = 134
Etat de cuisson + zone de pêche <sup>d</sup> (M5)	96	AIC = 58 / BIC = 74	AIC = 121 / BIC = 134

<sup>a</sup> Ce modèle intègre l'interaction entre la taille et l'état de cuisson.

<sup>b</sup> La zone correspond aux modalités « Calais » vs « Courseulles-sur-Mer ».

<sup>c</sup> Ce modèle est appliqué uniquement aux bulots dont la taille de la coquille est inférieure à 7 cm pour inclure dans le facteur « zone » la modalité « Îles Chausey ». La modalité « Calais » est la zone référente dans ce modèle.

<sup>d</sup> Ce modèle est appliqué uniquement aux bulots dont la taille de la coquille est inférieure à 7 cm pour inclure dans le facteur « zone » la modalité « Îles Chausey ». La modalité « Courseulles-sur-Mer » est la zone référente dans ce modèle.

Dans chaque modèle expliquant le niveau de contamination en cadmium dans la chair de bulot, la taille est associée positivement et de façon significative. La chair des bulots dont la taille de la coquille est supérieure à 7 cm est en moyenne plus contaminée que la chair des bulots dont la taille de la coquille est inférieure à 7 cm.

L'état de cuisson est également associé de façon positive et significative à la concentration en cadmium dans la chair. Lorsque les bulots sont cuits, leur chair est plus contaminée (en moyenne).

Le facteur « zone de pêche » est associé significativement à la concentration en cadmium dans la chair. La chair des bulots prélevés dans la région de Calais est en moyenne plus contaminée que celle des bulots prélevés dans la région de Courseulles-sur-Mer. Aucune différence significative n'est observée entre les niveaux de contamination dans la chair des bulots provenant de la région de Calais et des Îles Chausey. Par contre la chair des bulots prélevés dans les Îles Chausey est en moyenne plus contaminée que celle des bulots provenant de la région de Courseulles-sur-Mer.

Le **Tableau 2** résume ces résultats et indique les facteurs multiplicatifs d'augmentation ou de diminution des niveaux de contamination en cadmium en fonction des modalités des facteurs du modèle. Par exemple, la chair des bulots dont la taille est supérieure à 7 cm contient en moyenne 1,2 [1,1 ; 1,32] fois plus de cadmium que la chair des bulots dont la taille est inférieure à 7 cm. Le tortillon des bulots pêchés près de Courseulles-sur-Mer contient en moyenne 0,49 [0,35 ; 0,69] fois moins de cadmium que le tortillon des bulots pêchés près de Calais (d'après le modèle M3). Les facteurs multiplicatifs varient légèrement d'un modèle à l'autre car les modèles ne contiennent pas tout à fait les mêmes modalités de facteurs explicatifs ni les mêmes échantillons.

**Tableau 2 : Effet des modalités des facteurs sur les niveaux de contamination en cadmium dans les modèles M3, M4 et M5 présentés dans le Tableau 1**

facteur testé	Modalité du facteur	Chair	Tortillon
Taille	« Supérieure à 7 cm » vs « inférieure à 7 cm »	Facteur multiplicateur de 1,2 [1,1 ; 1,32] (M3)	Facteur multiplicateur de 1,46 [1,3 ; 1,64] (M3)
Cuisson	« Cuit » vs « cru »	Facteur multiplicateur de 1,38 [1,28 ; 1,49] (M3) 1,41 [1,3 ; 1,54] (M4)	NS
Zone de pêche	« Courseulles-sur-Mer » vs « Calais » (référence)	Facteur multiplicateur de 0,71 [0,6 ; 0,83] (M3) 0,71 [0,57 ; 0,88] (M4)	Facteur multiplicateur de 0,49 [0,35 ; 0,69] (M3) 0,51 [0,36 ; 0,72] (M4)
	« Îles Chausey » vs « Calais » (référence)	Facteur multiplicateur de 0,99 [0,81 ; 1,2 ] (M4)	NS
	« Îles Chausey » vs « Courseulles-sur-Mer » (référence)	Facteur multiplicateur de 1,4 [1,18 ; 1,68] (M5)	Facteur multiplicateur de 2,18 [1,67 ; 2,91] (M5)

NS : non significatif

Dans chaque modèle expliquant le niveau de contamination en cadmium dans le tortillon viscéral de bulot, la taille est associée positivement et de façon significative. Le tortillon viscéral des bulots dont la taille de la coquille est supérieure à 7 cm est en moyenne plus contaminé que le tortillon des bulots dont la taille de la coquille est inférieure à 7 cm.

L'état de cuisson n'est pas associé de façon significative à la concentration en cadmium dans le tortillon.

Le facteur « zone de pêche » est associé significativement à la concentration en cadmium dans le tortillon. Le tortillon des bulots prélevés dans la région de Calais est en moyenne plus contaminé que celui des bulots prélevés dans la région de Courseulles-sur-Mer. Aucune différence significative n'est observée entre les niveaux de contamination dans le tortillon des bulots provenant de la région de Calais et des Îles Chausey. Par contre le tortillon des bulots prélevés dans les Îles Chausey est en moyenne plus contaminé que celui des bulots provenant de la région de Courseulles-sur-Mer.

### **Remarques**

Il est important de souligner que seulement 58% du plan d'échantillonnage initial a été réalisé et cela de façon inégale privilégiant certaines zones géographiques. Ce manque de données impacte la précision des analyses statistiques effectuées et introduit un biais. De plus, plusieurs modèles ont dû être construits pour pallier le manque de données. La méthode est optimale pour analyser les données disponibles mais l'est dans une moindre mesure pour vraiment répondre à la problématique posée. L'Anses souhaite également alerter la DGAI concernant la qualité des données transmises : erreurs de transcription (coordonnées GPS, site de pêche), non-harmonisation des formats de données (WGS 84 en degré décimaux (DD) ou degré minute seconde (DMS)) ...

Lors de l'étape de cuisson, il a été observé une perte en poids de 105 g en moyenne entre l'échantillon avant cuisson (1kg) et après cuisson. Les concentrations en cadmium étant exprimées/calculées par rapport à la masse de l'échantillon cuit décortiqué, il convient de préciser que cette perte en masse entraîne une augmentation de la teneur mesurée (effet de concentration).

D'autres ETM ont été analysés par le laboratoire concomitamment au cadmium : le mercure total, l'arsenic total et le plomb. Les analyses statistiques réalisées sur la contamination en cadmium ont également été faites pour les 3 autres ETM. Les niveaux de contamination en mercure et en plomb dans la chair de bulot sont significativement inférieurs à ceux du tortillon viscéral, contrairement au niveau de contamination en arsenic significativement plus élevé dans la chair de bulot. La taille de la coquille, la cuisson et la zone

géographique sont des déterminants des niveaux de contamination en mercure, en plomb et en arsenic. Les résultats de ces analyses sont présentés en détail en Annexe 6.

#### **4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE**

L'Anses a été saisie en mars 2020 par la DGAI pour une expertise relative à la contamination en cadmium des bulots destinés à la consommation humaine.

En mars 2020, l'Anses a émis un avis en réponse à une saisine de la DGCCRF pour une expertise relative à la teneur maximale en cadmium dans les algues destinées à la consommation humaine (saisine 2017-SA-0070).

Comme souligné précédemment par l'Anses, le cadmium est un contaminant chimique pour lequel un risque sanitaire pour le consommateur ne peut pas être écarté au vu de la deuxième étude de l'alimentation totale (EAT2). Les experts ont recommandé de renforcer les mesures de gestion visant à limiter les expositions à ce contaminant pour la population générale. A cet égard, l'ajout d'apports qui peuvent être significatifs par l'insertion dans le régime alimentaire d'aliments venant accroître cette exposition est donc à intégrer dans cet objectif de limitation des expositions, ce qui passe en particulier par la recherche de concentrations aussi basses que possible.

S'agissant de la contamination en cadmium des bulots, qui était l'objet de la saisine, l'analyse des données transmises à l'Anses pour expertise permettent de conclure aux éléments suivants : la chair est significativement moins contaminée que le tortillon et la concentration maximale observée dans la chair ne dépasse pas 1 mg/kg. De plus, le facteur taille (coquille > 7 cm) et le facteur cuisson sont associés à un accroissement de la contamination mesurée dans la chair des bulots. Enfin, le niveau de contamination varie selon la zone de pêche.

Au vu de ces résultats et afin de limiter l'exposition alimentaire des consommateurs amateurs de bulots, il convient de recommander de ne pas consommer le tortillon.

Les données transmises à l'Anses pour expertise comportait également des résultats pour le plomb, le mercure et l'arsenic dans les bulots, qui ne font l'objet à ce jour d'aucune mesure de gestion dans cette matrice. Par rapport aux données disponibles dans la littérature, des concentrations élevées en arsenic total sont observées dans la chair et le tortillon.

L'Anses souhaite attirer l'attention de la DGAI sur l'importance de conduire dans leur ensemble les plans d'échantillonnage programmés afin de disposer de données suffisantes pour réaliser les expertises demandées.

Concernant plus largement la problématique du cadmium dans les denrées alimentaires, l'Anses rappelle qu'elle considère impossible de proposer de nouvelles teneurs maximales aliment par aliment sans stratégie de gestion des risques prenant en compte l'ensemble des aliments contributeurs et leur importance dans le régime des populations concernées.

Une fois cette stratégie arrêtée, des recommandations en teneurs maximales pour l'ensemble des aliments contributeurs pourront être formulées pour diminuer les expositions et optimiser la maîtrise du risque associé au cadmium dans l'alimentation.

Dr Roger Genet

## MOTS-CLES

Cadmium, bulots, contamination

*Cadmium, whelks, contamination*

## BIBLIOGRAPHIE

Règlement (CE) n° 333/2007 de la Commission du 28 mars 2007 portant fixation des modes de prélèvement d'échantillons et des méthodes d'analyse pour le contrôle officiel des teneurs en plomb, en cadmium, en mercure, en étain inorganique, en 3-MCPD et en benzo(a)pyrène dans les denrées alimentaires (version consolidée du 14/12/2019).

## ANNEXE 1 : PARTICIPATION ANSES

### Coordination et contribution scientifique

Mme Virginie Desvignes – Chargée de projets scientifiques – Unité Evaluation des risques liés aux aliments – Direction de l'Evaluation des Risques

Mme Nathalie Arnich – Adjointe au chef de l'Unité Evaluation des risques liés aux aliments – Direction de l'Evaluation des Risques

M Moez Sanaa – Chef de l'Unité Evaluation des risques liés aux aliments – Direction de l'Evaluation des Risques

### Secrétariat administratif

Mme Angélique Laurent – Service Appui à l'expertise - Direction de l'Evaluation des Risques

ANNEXE 2 : CARTE GEOGRAPHIQUE DES POINTS DE PRELEVEMENTS DE BULOTS

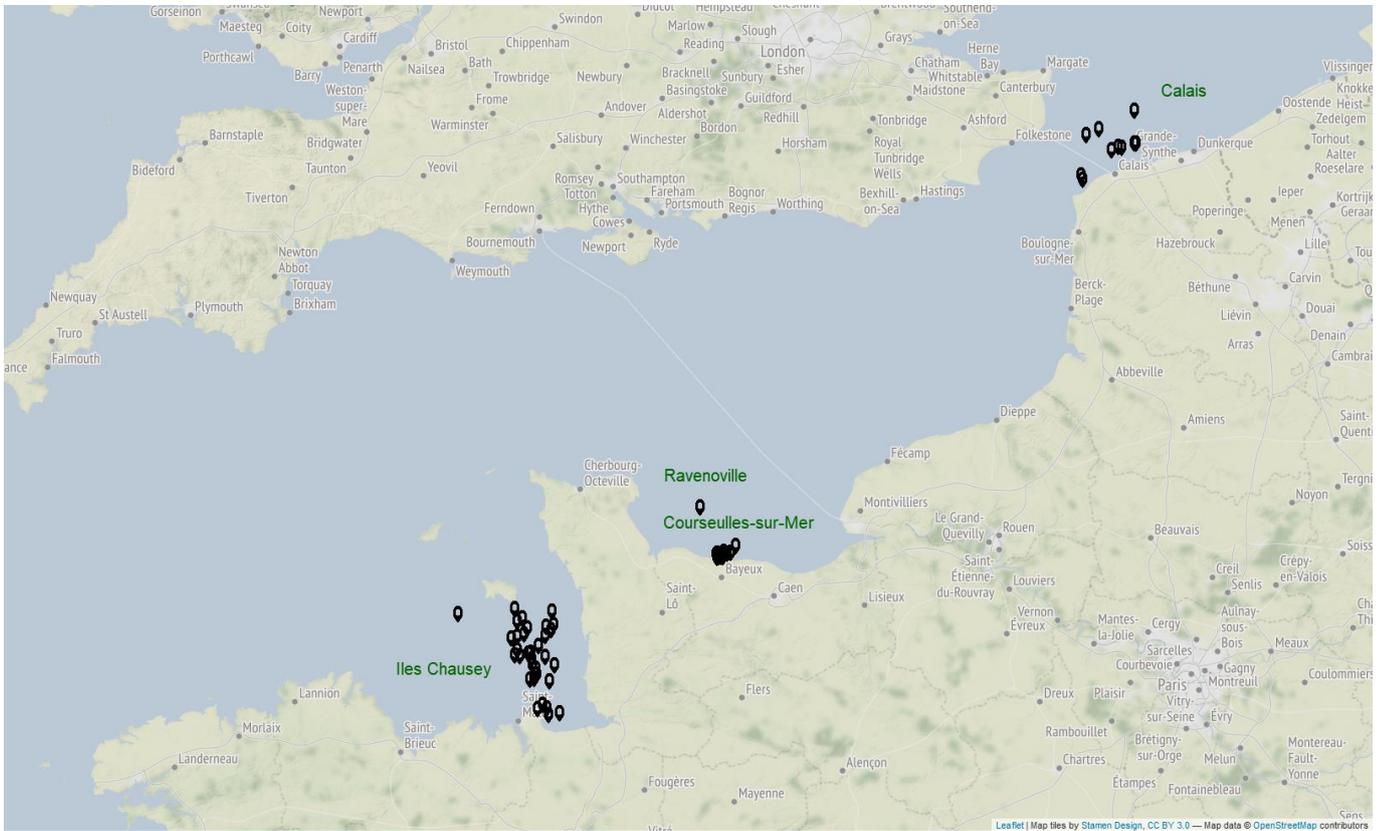


Figure 5 : Position des points de prélèvements des bulots

## ANNEXE 3 : REPARTITION DU NOMBRE D'ÉCHANTILLONS ANALYSES

Tableau 3 : Répartition du nombre d'échantillons analysés

Zone de pêche	Taille du bulot	Etat	Partie du bulot analysée	Nombre d'analyses
Calais	< 7 cm	cru	Chair	15
			Tortillon	15
		cuit	Chair	11
			Tortillon	11
	> 7 cm	cru	Chair	12
			Tortillon	12
cuit		Chair	6	
		Tortillon	6	
Courseulles-sur-Mer	< 7 cm	cru	Chair	18
			Tortillon	18
		cuit	Chair	14
			Tortillon	14
	> 7 cm	cru	Chair	4
			Tortillon	4
cuit		Chair	3	
		Tortillon	3	
Ravenoville	< 7 cm	cru	Chair	2
			Tortillon	2
		cuit	Chair	2
			Tortillon	2
Îles Chausey	< 7 cm	cru	Chair	33
			Tortillon	33
		cuit	Chair	5
			Tortillon	5

**ANNEXE 4 : DESCRIPTION DES NIVEAUX DE CONTAMINATION DES BULOTS EN CADMIUM****Tableau 4 : Description de la contamination des bulots en cadmium en fonction de la partie analysée (mg/kg)**

Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
Chair	125	0,104	0,2563	0,1149	0,236	0,949
Tortillon	125	1,05	5,407	3,513	4,27	23,4

**Tableau 5 : Description des niveaux de contamination des bulots en cadmium en fonction de la zone de pêche (mg/kg)**

Zone de pêche	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
Calais	Total	88	0,146	3,578	4,527	1,299	23,4
	Chair	44	0,146	0,3051	0,1481	0,275	0,949
	Tortillon	44	1,65	6,851	4,417	6,23	23,4
Courseulles-sur-Mer	Total	78	0,109	1,646	1,704	0,671	6,15
	Chair	39	0,109	0,2026	0,04638	0,199	0,292
	Tortillon	39	1,05	3,088	1,268	3,28	6,15
Ravenoville	Total	8	0,153	3,164	3,233	2,253	7,05
	Chair	4	0,153	0,2477	0,07962	0,2455	0,347
	Tortillon	4	4,16	6,08	1,308	6,555	7,05
Îles Chausey	Total	76	0,104	3,15	3,547	1,409	13,4
	Chair	38	0,104	0,2559	0,1009	0,251	0,598
	Tortillon	38	2,22	6,043	2,88	5,38	13,4

**Tableau 6 : Description de la contamination des bulots en cadmium en fonction de la taille de la coquille (mg/kg)**

Taille	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
< 7 cm	Total	200	0,104	2,66	3,297	0,895	16,9
	Chair	100	0,104	0,2475	0,1035	0,233	0,74
	Tortillon	100	1,05	5,072	3,176	3,86	16,9
> 7 cm	Total	50	0,161	3,519	4,512	1,794	23,4
	Chair	25	0,161	0,2918	0,1497	0,259	0,949
	Tortillon	25	2,64	6,747	4,454	5,62	23,4

**Tableau 7 : Description de la contamination des bulots en cadmium en fonction de leur état de cuisson (mg/kg)**

Etat de cuisson	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
cru	Total	168	0,104	2,916	3,778	1,135	23,4
	Chair	84	0,104	0,2367	0,1148	0,217	0,949
	Tortillon	84	1,32	5,595	3,765	4,715	23,4
cuit	Total	82	0,199	2,659	3,149	0,895	16,9
	Chair	41	0,199	0,2966	0,1055	0,278	0,74
	Tortillon	41	1,05	5,022	2,937	4,08	16,9

**ANNEXE 5 : DETAILS DES RESULTATS DES MODELES EXPLIQUANT LA CONTAMINATION EN CADMIUM DES BULOTS**

Les modèles expliquent les niveaux de concentration en cadmium auxquels une fonction logarithme népérien a été appliquée. Cette transformation permet de stabiliser le modèle.

**1. Dans la chair de bulot****1.1. Le modèle M3**

$$\log(\text{conta chair})_i = \beta_{0,i} \times I_i + \beta_{>7cm} \times I_i + \beta_{\text{Courseulles}} \times I_i + \beta_{\text{cuit}} \times I_i + \varepsilon_i$$

$\beta_{0,i}$  : ordonnée à l'origine, suit une loi normale  $(0, \sigma^2_{\beta i})$

$I_i$  : variable indicatrice prenant la valeur de 0 ou 1 pour l'individu  $i$

$\varepsilon_i$  : résidus de l'individu  $i$ , suit une loi normale  $(0, \sigma^2)$

Effet global des variables du modèle M3 dans la chair de bulots

Variables	Degrés de liberté	F-value	p-valeur
(Ordonnée à l'origine)	47	1453	0
Taille	47	15,93	0,000229
Zone de pêche	32	15,12	0,0004783
Etat de cuisson	47	69,12	8,691e-11

Modèles linéaire à effet mixte ajusté par REML

AIC	BIC	logLik
17,82527	32,04196	-2,912635

Effet aléatoire

	Ordonnée à l'origine	Residus
StdDev	0,2233853	0,1658393

Effets fixes

Paramètres	Valeur	Ecart-type	p-valeur
Ordonnée à l'origine ( $\beta_0$ )	-1,6149234	0,06740330	0e+00
taille > 7 cm	0,1809928	0,04708714	4e-04
Courseulles-sur-Mer	-0,3502205	0,08676231	3e-04
cuit	0,3211480	0,03862707	0e+00

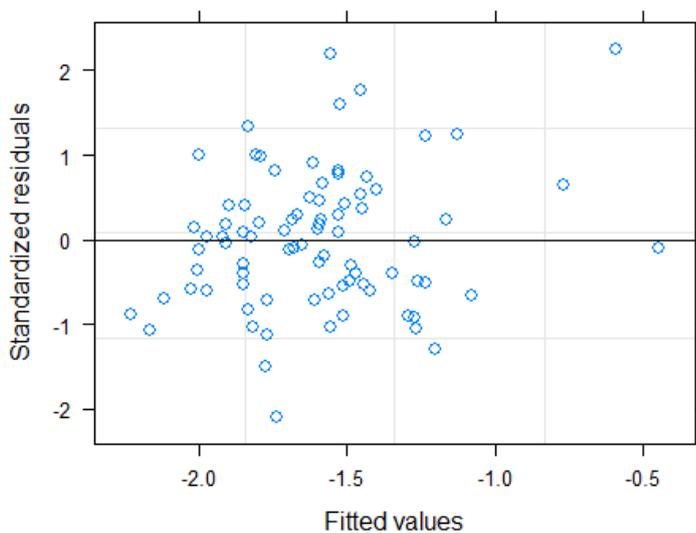
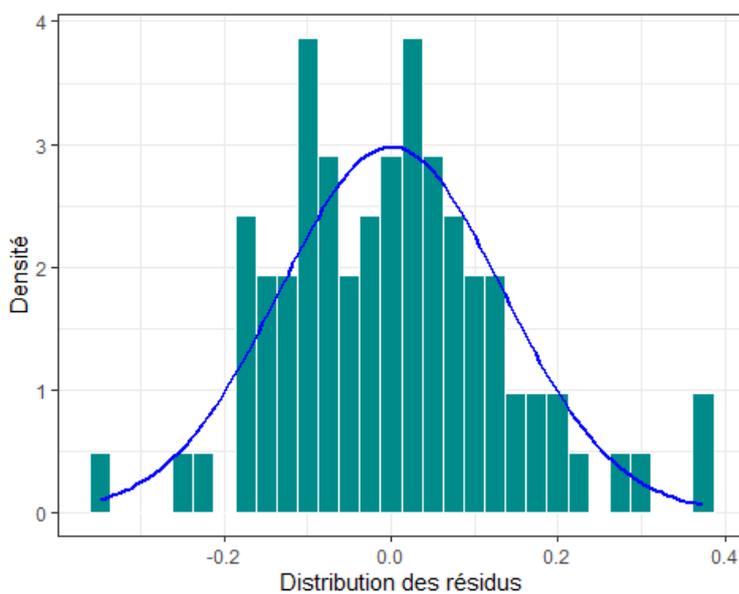
Matrice des corrélations

	Ordonnée à l'origine	taille> 7 cm	Courseulles-sur-Mer
taille> 7 cm	-0,278		
Courseulles-sur-Mer	-0,715	0,130	
cuit	-0,220	0,048	-0,018

Nombre d'observations : 83 / Nombre de groupes : 34

Résidus standardisés intragroupes

Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
-2,10169459	-0,56446119	-0,01860109	0,43979531	2,25774904



## 1.2. Le modèle M4

$$\log(\text{conta chair})_i = \beta_{0,i} \times I_i + \beta_{\text{Courseulles}} \times I_i + \beta_{\text{Iles Chausey}} \times I_i + \beta_{\text{cuit}} \times I_i + \varepsilon_i$$

$\beta_{0,i}$  : ordonnée à l'origine, suit une loi normale  $(0, \sigma^2_{\beta i})$

$I_i$  : variable indicatrice prenant la valeur de 0 ou 1 pour l'individu  $i$

$\varepsilon_i$  : résidus de l'individu  $i$ , suit une loi normale  $(0, \sigma^2)$

Effet global des variables du modèle M4

Variables	Degrés de liberté	F-value	p-valeur
(Ordonnée à l'origine)	63	1805	0
Etat de cuisson	29	58,23	2,056e-08
Zone de pêche	63	7,85	0,0009039

Modèles linéaire à effet mixte ajusté par REML

AIC	BIC	logLik
58,50728	73,63801	-23,25364

Effet aléatoire

	Ordonnée à l'origine	Residus
StdDev	0,2759656	0,1733529

Effets fixes

Paramètres	Valeur	Ecart-type	p-valeur
Ordonnée à l'origine ( $\beta_0$ )	-1,6367937	0,08120098	0,0000
cuit	0,3472868	0,04363394	0,0000
Courseulles-sur-Mer	-0,3360540	0,10746204	0,0027
Iles Chausey	0,0077742	0,09809602	0,9371

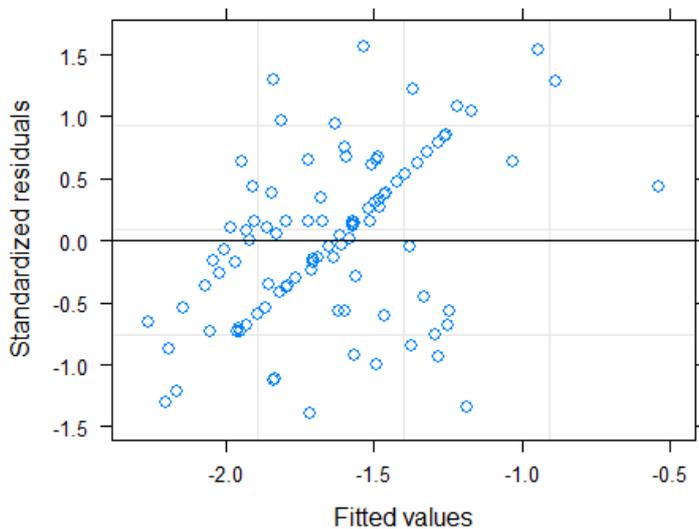
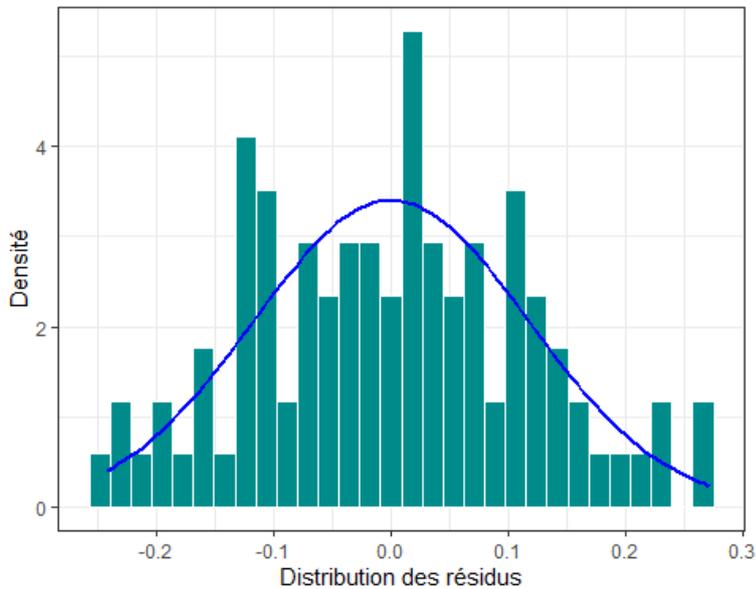
Matrice des corrélations

	Ordonnée à l'origine	cuit	Courseulles-sur-Mer
cuit	-0,205		
Courseulles-sur-Mer	-0,722	-0,008	
Iles Chausey	-0,820	0,131	0,598

Résidus standardisés intragroupes

Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
-1,39838925	-0,54741730	0,02990679	0,44402584	1,56962249

Nombre d'observations : 96 / Nombre de groupes : 66



### 1.3. Le modèle M5

$$\log(\text{conta chair})_i = \beta_{0,i} \times I_i + \beta_{\text{calais}} \times I_i + \beta_{\text{Iles chaussey}} \times I_i + \beta_{\text{cuit}} \times I_i + \varepsilon_i$$

$\beta_{0,i}$  : effet aléatoire placé sur l'Ordonnée à l'origine, suit une loi normale  $(0, \sigma^2_{\beta_i})$

$I_i$  : variable indicatrice prenant la valeur de 0 ou 1 pour l'individu  $i$

$\varepsilon_i$  : résidus de l'individu  $i$ , suit une loi normale  $(0, \sigma^2)$

C'est le même modèle que le modèle M4 mais la modalité de référence de la variable « zone de pêche » change (Courseulles-sur-Mer).

Effets fixes

Paramètres	Valeur	Ecart-type	p-valeur
Ordonnée à l'origine ( $\beta_0$ )	-1,6367937	0,08120098	0,0000
cuit	0,3472868	0,04363394	0,0000
Calais	0,3360540	0,10746204	0,0027
Iles Chausey	0,3438282	0,09251801	0,0004

## 2. Dans le tortillon de bulot

### 2.1. Le modèle M3

$$\log(\text{conta tortillon})_i = \beta_{0,i} \times I_i + \beta_{>7cm} \times I_i + \beta_{\text{Courseulles}} \times I_i + \beta_{\text{cuit}} \times I_i + \varepsilon_i$$

$\beta_{0,i}$  : effet aléatoire placé sur l'Ordonnée à l'origine, suit une loi normale  $(0, \sigma^2_{\beta i})$

$I_i$  : variable indicatrice prenant la valeur de 0 ou 1 pour l'individu  $i$

$\varepsilon_i$  : résidus de l'individu  $i$ , suit une loi normale  $(0, \sigma^2)$

Effet global des variables du modèle M3

Variables	Degrés de liberté	F-value	p-valeur
(Ordonnée à l'origine)	48	203,9	0
Taille	48	42,31	4,234e-08
Zone de pêche	32	18,66	0,0001417

Modèles linéaire à effet mixte ajusté par REML

AIC	BIC	logLik
78,09402	90,00415	-34,04701

## Effet aléatoire

	Ordonnée à l'origine	Residus
StdDev	0,4562818	0,2138897

## Effets fixes

Paramètres	Valeur	Ecart-type	p-valeur
Ordonnée à l'origine ( $\beta_0$ )	1,4746376	0,12474804	0e+00
taille> 7 cm	0,3768077	0,06194513	0e+00
Courseulles-sur-Mer	-0,7162099	0,16581538	1e-04

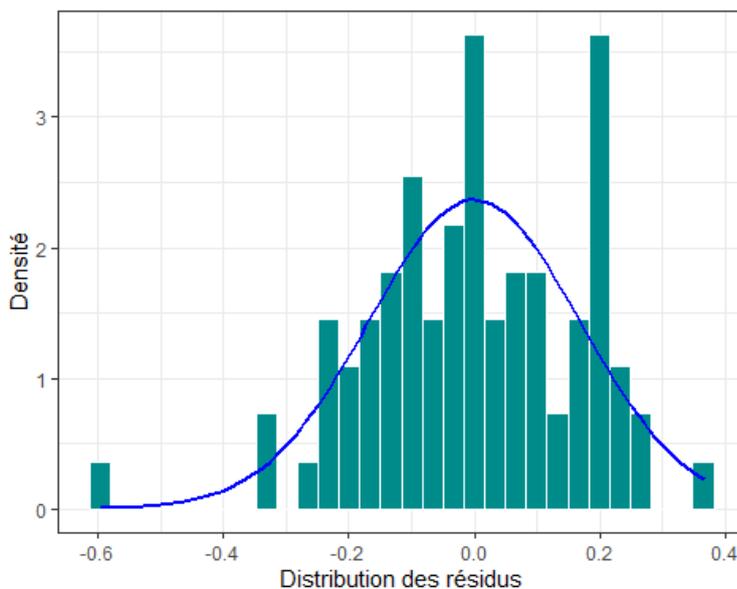
## Matrice des corrélations

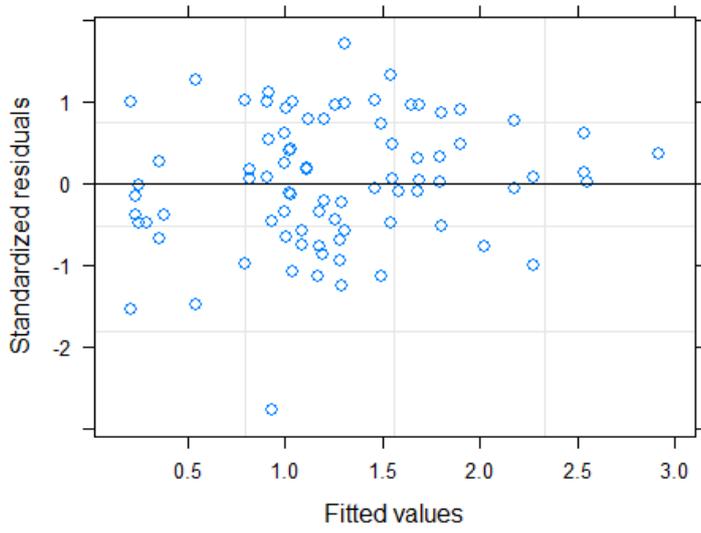
	Ordonnée à l'origine	taille> 7 cm
taille> 7 cm	-0,189	
Courseulles-sur-Mer	-0,743	0,091

Nombre d'observations : 83 / Nombre de groupes : 34

## Résidus standardisés intragroupes

Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
-2,78378142	-0,50717607	0,01987777	0,60354300	1,71360963





## 2.1. Le modèle M4

$$\log(\text{conta tortillon})_i = \beta_0 + \beta_{\text{Courseulles}} \times I + \beta_{\text{Iles Chausey}} \times I + \beta_{\text{cuit}} \times I + \varepsilon$$

$\beta_{0,i}$  : effet aléatoire placé sur l'Ordonnée à l'origine, suit une loi normale  $(0, \sigma^2_{\beta_i})$

$I_i$  : variable indicatrice prenant la valeur de 0 ou 1 pour l'individu  $i$

$\varepsilon_i$  : résidus de l'individu  $i$ , suit une loi normale  $(0, \sigma^2)$

Effet global des variables du modèle M4

Variables	Degrés de liberté	F-value	p-valeur
(Ordonnée à l'origine)	63	451,4	0
Zone de pêche	63	14,98	4,755e-06

Modèles linéaire à effet mixte ajusté par REML

AIC	BIC	logLik
121,0987	133,7617	-55,54937

Effet aléatoire

	Ordonnée à l'origine	Residual
StdDev	0,4733262	0,1999428

Effets fixes

Paramètres	Valeur	Ecart-type	p-valeur
Ordonnée à l'origine ( $\beta_0$ )	0,4548739	0,1288551	0,0000
Courseulles-sur-Mer	-0,6764252	0,1743348	0,0003
Iles Chausey	0,1102068	0,1565439	0,4840

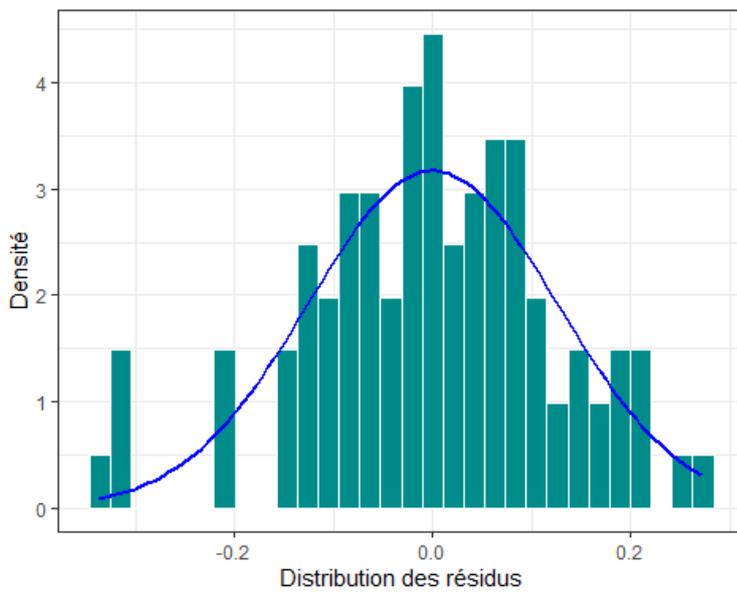
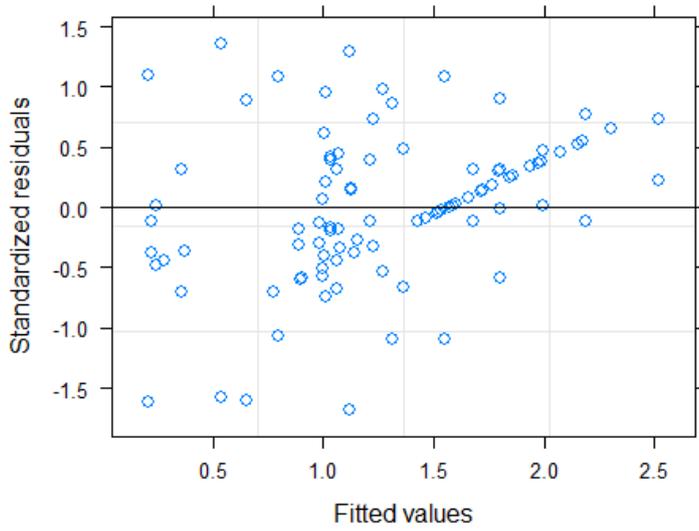
Matrice des corrélations

	Ordonnée à l'origine	Courseulles-sur-Mer
Courseulles-sur-Mer	-0,739	
Iles Chausey	-0,823	0,608

Résidus standardisés intragroupes

Minimum	Q1	Médiane	Q3	Maximum
-1,685766028	-0,374500304	0,005452674	0,388106250	1,362793602

Nombre d'observations : 96 / Nombre de groupes : 66



### 2.3. Le modèle M5

$$\log(\text{conta tortillon}) = \beta_0 + \beta_{\text{calais}} \times I + \beta_{\text{Iles chausey}} \times I + \beta_{\text{cuit}} \times I + \varepsilon$$

$\beta_{0,i}$  : effet aléatoire placé sur l'Ordonnée à l'origine, suit une loi normale  $(0, \sigma^2_{\beta i})$

$I_i$  : variable indicatrice prenant la valeur de 0 ou 1 pour l'individu  $i$

$\varepsilon_i$  : résidus de l'individu  $i$ , suit une loi normale  $(0, \sigma^2)$

C'est le même modèle que le modèle M4 mais la modalité de référence de la variable « zone de pêche » change (Courseulles-sur-Mer).

Effets fixes

Paramètres	Valeur	Ecart-type	p-valeur
Ordonnée à l'origine ( $\beta_0$ )	0,7784487	0,1174266	0e+00
Calais	0,6764252	0,1743348	3e-04
Iles Chausey	0,7866320	0,1472799	0e+00

**ANNEXE 6 : DESCRIPTION ET MODELISATION DES NIVEAUX DE CONTAMINATION EN MERCURE, ARSENIC ET PLOMB**

Les modèles élaborés pour expliquer les niveaux de contamination en cadmium ont également été testés pour l'arsenic, le mercure et le plomb. Le détail de ces modèles et de leurs résultats ne seront pas présentés car l'étude de ces contaminants ne faisait pas partie des questions relatives à cette saisine. Seul le tableau récapitulatif des effets des variables explicatives sur les niveaux de contamination est décrit pour chaque contaminant.

**1. Le mercure****1.1. Description des niveaux de contamination des bulots****Tableau 8 : Description de la contamination des bulots en mercure en fonction de la partie analysée (mg/kg)**

Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
Chair	125	0,015	0,05174	0,02162	0,049	0,112
Tortillon	125	0,068	0,1574	0,04796	0,157	0,302

**Tableau 9 : Description de la contamination des bulots en mercure en fonction de la zone de pêche (mg/kg)**

Zone de pêche	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
Calais	Total	88	0,015	0,1293	0,07198	0,1145	0,302
	Chair	44	0,015	0,06784	0,02149	0,065	0,112
	Tortillon	44	0,117	0,1908	0,04783	0,1785	0,302
Courseulles-sur-Mer	Total	78	0,023	0,09676	0,05655	0,077	0,245
	Chair	39	0,023	0,05164	0,01567	0,05	0,109
	Tortillon	39	0,069	0,1419	0,04535	0,141	0,245
Ravenoville	Total	8	0,036	0,1061	0,05996	0,0965	0,175
	Chair	4	0,036	0,05225	0,01245	0,054	0,065
	Tortillon	4	0,128	0,16	0,0222	0,1685	0,175
Îles Chausey	Total	76	0,017	0,08383	0,05511	0,0625	0,199
	Chair	38	0,036	0,05225	0,01245	0,054	0,065
	Tortillon	38	0,128	0,16	0,0222	0,1685	0,175

Tableau 10 : Description de la contamination des bulots en mercure en fonction de la taille de la coquille (mg/kg)

Taille	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
< 7 cm	Total	200	0,015	0,09639	0,05981	0,0815	0,269
	Chair	100	0,015	0,04567	0,01663	0,045	0,091
	Tortillon	100	0,068	0,1471	0,04145	0,146	0,269
> 7 cm	Total	50	0,037	0,1374	0,07315	0,1165	0,302
	Chair	25	0,037	0,07604	0,0225	0,075	0,112
	Tortillon	25	0,121	0,1987	0,05079	0,192	0,302

Tableau 11 : Description de la contamination des bulots en mercure en fonction de leur état de cuisson (mg/kg)

Etat de cuisson	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
cru	Total	168	0,017	0,0987	0,06425	0,086	0,302
	Chair	84	0,017	0,04551	0,01904	0,0425	0,103
	Tortillon	84	0,068	0,1519	0,04708	0,145	0,302
cuit	Total	82	0,015	0,1166	0,06424	0,099	0,27
	Chair	41	0,015	0,06451	0,02117	0,062	0,112
	Tortillon	41	0,078	0,1688	0,04833	0,165	0,27

## 1.2. Modélisation des niveaux de contamination en mercure des bulots

Le niveau de contamination en mercure dans la chair de bulot est significativement inférieur à celui du tortillon viscéral.

**Tableau 12 : Sélection des modèles en fonction des critères de qualité AIC (Critère d'Information d'Akaïké) et BIC (Critère d'Information Bayésien), qui doivent être les plus petits possibles.**

Variables explicatives testées	N	Concentration dans la chair	Concentration dans le tortillon
Taille + état de cuisson (M1)	121	AIC = 118 / BIC = 131	AIC = -6 / BIC = 8
Taille * état de cuisson <sup>a</sup> (M2)	121	AIC = 121 / BIC = 137	AIC = -1 / BIC = 16
Taille + état de cuisson + zone de pêche <sup>b</sup> (M3)	83	AIC = 61 / BIC = 75	AIC = -6 / BIC = 8
Etat de cuisson + zone de pêche <sup>c</sup> (M4)	96	AIC = 100 / BIC = 115	AIC = -0,1 / BIC = 15
Etat de cuisson + zone de pêche <sup>d</sup> (M5)	96	AIC = 100 / BIC = 115	AIC = -0,1 / BIC = 15

<sup>a</sup> Ce modèle intègre l'interaction entre la taille et l'état de cuisson.

<sup>b</sup> La zone correspond aux modalités « Calais » vs « Courseulles-sur-Mer ».

<sup>c</sup> Ce modèle est appliqué uniquement aux bulots dont la taille de la coquille est inférieure à 7 cm pour inclure dans la variable « zone » la modalité « Îles Chausey ». La modalité « Calais » est la zone référente dans ce modèle.

<sup>d</sup> Ce modèle est appliqué uniquement aux bulots dont la taille de la coquille est inférieure à 7 cm pour inclure dans la variable « zone » la modalité « Îles Chausey ». La modalité « Courseulles-sur-Mer » est la zone référente dans ce modèle.

**Tableau 13 : Effet des modalités de variables sur les niveaux de contamination en mercure dans les modèles M3, M4 et M5 présentés dans le Tableau 12**

Variable testée	Modalité de la variable	Chair	Tortillon
Taille	« Supérieure à 7 cm » vs « inférieure à 7 cm »	Facteur multiplicateur de 1,4 [1,23 ; 1,59] (M3)	Facteur multiplicateur de 1,10 [1,02 ; 1,17] (M3)
Cuisson	« Cuit » vs « cru »	Facteur multiplicateur de 1,27 [1,15 ; 1,42] (M3) 1,34 [1,16 ; 1,54] (M4/M5)	Facteur multiplicateur de 1,08 [1,02 ; 1,14] (M3) 1,12 [1,06 ; 1,18] (M4/M5)
Zone de pêche	« Courseulles-sur-Mer » vs « Calais » (référence)	NS	Facteur multiplicateur de 0,74 [0,61 ; 0,89] (M3) 0,71 [0,6 ; 0,83] (M4)
	« Îles Chausey » vs « Calais » (référence)	Facteur multiplicateur de 0,59 [0,48 ; 0,72] (M4)	Facteur multiplicateur de 0,76 [0,66 ; 0,88] (M4)
	« Îles Chausey » vs « Courseulles-sur-Mer » (référence)	Facteur multiplicateur de 0,7 [0,58 ; 0,86] (M5)	NS

NS : non significatif

## 2. L'arsenic

### 2.1. Description des niveaux de contamination en arsenic des bulots

**Tableau 14 : Description de la contamination des bulots en arsenic en fonction de la partie analysée (mg/kg)**

Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
Chair	125	8,3	46,59	44,34	26,6	203,7
Tortillon	125	12,3	39	31,63	25,7	152,9

**Tableau 15 : Description des niveaux de contamination des bulots en arsenic en fonction de la zone de pêche (mg/kg)**

Zone de pêche	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
Calais	Total	88	28	81,87	41,08	75,05	203,7
	Chair	44	31	91,49	47,03	86,55	203,7
	Tortillon	44	28	72,26	31,84	64,7	152,9
Courseulles-sur-Mer	Total	78	12,2	24,69	12,26	21,3	85,2
	Chair	39	12,2	26,32	14,52	22,7	85,2
	Tortillon	39	13,1	23,05	9,383	20,3	55,2
Ravenoville	Total	8	25,1	32,85	9,784	28,1	53,6
	Chair	4	25,1	34,35	13,1	29,35	53,6
	Tortillon	4	27,7	31,35	6,771	28,1	41,5
Îles Chausey	Total	76	8,3	17,17	4,725	16,2	27,8
	Chair	38	8,3	16,68	4,64	16,35	26,8
	Tortillon	38	12,3	17,65	4,82	16,1	27,8

**Tableau 16 : Description de la contamination des bulots en arsenic en fonction de la taille de la coquille (mg/kg)**

Taille	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
< 7 cm	Total	200	8,3	33	29,05	21,65	173,8
	Chair	100	8,3	35,09	33,31	22,6	173,8
	Tortillon	100	12,3	30,9	24,05	21,15	123,6
> 7 cm	Total	50	19,7	81,97	46,84	73,55	203,7
	Chair	25	22,7	92,56	53,17	90,7	203,7
	Tortillon	25	19,7	71,37	37,68	59,7	152,9

**Tableau 17 : Description de la contamination des bulots en arsenic en fonction de leur état de cuisson (mg/kg)**

Etat de cuisson	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
Cru	Total	168	8,3	47,2	43,49	25,75	203,7
	Chair	84	8,3	52,66	50,37	26,5	203,7
	Tortillon	84	12,3	41,74	34,76	25	152,9
Cuit	Total	82	8,91	33,76	23,73	27,5	97,9
	Chair	41	8,91	34,14	24,35	27,3	97,3
	Tortillon	41	12,3	33,38	23,39	27,7	97,9

## 2.2. Modélisation des niveaux de contamination en arsenic des bulots

Le niveau de contamination en arsenic dans la chair de bulot est significativement supérieur à celui du tortillon viscéral.

**Tableau 18 : Sélection des modèles en fonction des critères de qualité AIC (Critère d'Information d'Akaiéké) et BIC (Critère d'Information Bayésien), qui doivent être les plus petits possibles.**

Variables explicatives testées	N	Concentration dans la chair	Concentration dans le tortillon
Taille + état de cuisson (M1)	121	AIC = 188 / BIC = 202	AIC = 133 / BIC = 147
Taille * état de cuisson <sup>a</sup> (M2)	121	AIC = 191 / BIC = 208	AIC = 138 / BIC = 154
Taille + état de cuisson + zone de pêche <sup>b</sup> (M3)	83	AIC = 62 / BIC = 76	AIC = 25 / BIC = 40
Etat de cuisson + zone de pêche <sup>c</sup> (M4)	96	AIC = 34 / BIC = 50	AIC = 2 / BIC = 17
Etat de cuisson + zone de pêche <sup>d</sup> (M5)	96	AIC = 34 / BIC = 50	AIC = 2 / BIC = 17

<sup>a</sup> Ce modèle intègre l'interaction entre la taille et l'état de cuisson.

<sup>b</sup> La zone correspond aux modalités « Calais » vs « Courseulles-sur-Mer ».

<sup>c</sup> Ce modèle est appliqué uniquement aux bulots dont la taille de la coquille est inférieure à 7 cm pour inclure dans la variable « zone » la modalité « Îles Chausey ». La modalité « Calais » est la zone référente dans ce modèle.

<sup>d</sup> Ce modèle est appliqué uniquement aux bulots dont la taille de la coquille est inférieure à 7 cm pour inclure dans la variable « zone » la modalité « Îles Chausey ». La modalité « Courseulles-sur-Mer » est la zone référente dans ce modèle.

Tableau 19 : Effet des modalités de variables sur les niveaux de contamination en arsenic dans les modèles M3, M4 et M5 présentés dans le Tableau 18

Variable testée	Modalité de la variable	Chair	Tortillon
Taille	« Supérieure à 7 cm » vs « inférieure à 7 cm »	Facteur multiplicateur de 1,44 [1,27 ; 1,65] (M3)	Facteur multiplicateur de 1,31 [1,19 ; 1,45] (M3)
Cuisson	« Cuit » vs « cru »	Facteur multiplicateur de 0,56 [0,50 ; 0,63] (M3) 0,58 [0,53 ; 0,64] (M4/M5)	Facteur multiplicateur de 0,70 [0,64 ; 0,76] (M3) 0,71 [0,67 ; 0,76] (M4/M5)
Zone de pêche	« Courseulles-sur-Mer » vs « Calais » (référence)	Facteur multiplicateur de 0,33 [0,27 ; 0,40] (M3) 0,29 [0,25 ; 0,34] (M4/M5)	Facteur multiplicateur de 0,35 [0,29 ; 0,41] (M3) 0,32 [0,27 ; 0,37] (M4/M5)
	« Îles Chausey » vs « Calais » (référence)	Facteur multiplicateur de 0,19 [0,17 ; 0,23] (M4)	Facteur multiplicateur de 0,26 [0,22 ; 0,30] (M4)
	« Îles Chausey » vs « Courseulles-sur-Mer » (référence)	Facteur multiplicateur de 0,66 [0,58 ; 0,77] (M5)	Facteur multiplicateur de 0,80 [0,70 ; 0,92] (M5)

### 3. Le plomb

#### 3.1. Description des niveaux de contamination en plomb des bulots

Tableau 20 : Description de la contamination des bulots en plomb en fonction de la partie analysée (mg/kg)

Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
Chair	125	0,025	0,05733	0,08708	0,045	0,984
Tortillon	125	0,031	0,2339	0,06981	0,226	0,658

Tableau 21 : Description des niveaux de contamination des bulots en plomb en fonction de la zone de pêche (mg/kg)

Zone de pêche	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
Calais	Total	88	0,031	0,1528	0,1189	0,1395	0,658
	Chair	44	0,031	0,05093	0,02465	0,0455	0,173
	Tortillon	44	0,031	0,2547	0,08209	0,247	0,658
Courseulles-sur-Mer	Total	78	0,029	0,1671	0,1455	0,15	0,984
	Chair	39	0,029	0,08011	0,1515	0,051	0,984
	Tortillon	39	0,142	0,2542	0,06618	0,266	0,387
Ravenoville	Total	8	0,029	0,1069	0,07434	0,096	0,198
	Chair	4	0,029	0,0395	0,008544	0,04	0,049
	Tortillon	4	0,143	0,1743	0,02675	0,178	0,198
Îles Chausey	Total	76	0,025	0,1192	0,08072	0,1255	0,279
	Chair	38	0,025	0,04324	0,01696	0,0375	0,113
	Tortillon	38	0,138	0,1952	0,0327	0,1915	0,279

Tableau 22 : Description de la contamination des bulots en plomb en fonction de la taille de la coquille (mg/kg)

Taille	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
< 7 cm	Total	200	0,025	0,1446	0,1169	0,1415	0,984
	Chair	100	0,025	0,05927	0,09637	0,045	0,984
	Tortillon	100	0,138	0,2298	0,05912	0,221	0,387
> 7 cm	Total	50	0,031	0,1498	0,1255	0,123	0,658
	Chair	25	0,031	0,04956	0,02818	0,041	0,173
	Tortillon	25	0,031	0,25	0,1021	0,234	0,658

Tableau 23 : Description de la contamination des bulots en plomb en fonction de leur état de cuisson (mg/kg)

Etat de cuisson	Partie analysée	N	Minimum	Moyenne	Ecart-type	Médiane	Maximum
Cru	Total	168	0,025	0,1402	0,1246	0,1395	0,984
	Chair	84	0,025	0,05487	0,1052	0,037	0,984
	Tortillon	84	0,031	0,2256	0,0736	0,2095	0,658
Cuit	Total	82	0,037	0,1566	0,1045	0,15	0,387
	Chair	41	0,037	0,06237	0,02211	0,06	0,166
	Tortillon	41	0,144	0,2508	0,05856	0,249	0,387

### 3.2. Modélisation des niveaux de contamination en plomb des bulots

Le niveau de contamination en plomb dans la chair de bulot est significativement inférieur à celui du tortillon viscéral.

**Tableau 24 : Sélection des modèles en fonction des critères de qualité AIC (Critère d'Information d'Akaike) et BIC (Critère d'Information Bayésien), qui doivent être les plus petits possibles.**

Variables explicatives testées	N	Concentration dans la chair	Concentration dans le tortillon
Taille + état de cuisson (M1)	121	AIC = 158 / BIC = 172	AIC = 69 / BIC = 83
Taille * état de cuisson <sup>a</sup> (M2)	121	AIC = 161 / BIC = 177	AIC = 73 / BIC = 90
Etat de cuisson + zone de pêche <sup>c</sup> (M4)	121	AIC = 159 / BIC = 175	AIC = 66 / BIC = 82
Etat de cuisson + zone de pêche <sup>d</sup> (M5)	121	AIC = 159 / BIC = 175	AIC = 66 / BIC = 82

<sup>a</sup> Ce modèle intègre l'interaction entre la taille et l'état de cuisson.

<sup>b</sup> La zone correspond aux modalités « Calais » vs « Courseulles-sur-Mer ».

<sup>c</sup> La modalité « Calais » est la zone référente dans ce modèle.

<sup>d</sup> La modalité « Courseulles-sur-Mer » est la zone référente dans ce modèle.

**Tableau 25 : Effet des modalités de variables sur les niveaux de contamination en plomb dans les modèles M1, M4 et M5 présentés dans le Tableau 24**

Variable testée	Modalité de la variable	Chair	Tortillon
Taille	« Supérieure à 7 cm » vs « inférieure à 7 cm »	NS	NS
Cuisson	« Cuit » vs « cru »	Facteur multiplicateur de 1,43 [1,22 ; 1,68] (M1) 1,36 [1,16 ; 1,63] (M4/M5)	Facteur multiplicateur de 1,15 [1,04 ; 1,27] (M1) NS (M4/M5)
Zone de pêche	« Courseulles-sur-Mer » vs « Calais » (référence)	NS	NS
	« Îles Chausey » vs « Calais » (référence)	NS	Facteur multiplicateur de 0,81 [0,70 ; 0,95] (M4)
	« Îles Chausey » vs « Courseulles-sur-Mer » (référence)	Facteur multiplicateur de 0,81 [0,67 ; 1,0] (M5)	Facteur multiplicateur de 0,83 [0,71 ; 0,97] (M5)

NS : non significatif